

ACTA PRUHONICIANA

97

2011

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



Průhonice 2011

Kolektiv autorů

Ing. Vojtěch Benetka, CSc.

Bc. Jaroslav Bubeník

Ing. Kamila Havlíčková, Ph.D.

Ing. Kateřina Kozlíková

Ing. Petra Štochlová, Ph.D.

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.

Ing. Petr Ošlejšek

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

Ing. Petr Hutla, CSc.

Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně

Ing. Zdeněk Stražil, CSc.

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

prof. RNDr. Jaroslav Boháč, Dr.Sc.

Ing. Ivo Celjak, CSc.

doc. Ing. Jiří Diviš, CSc.

Ing. Pavel Kohout

Ing. Petr Konvalina, Ph.D.

prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

Ing. Jan Moudrý, Ph.D., jr.

Ing. Lenka Pavelcová

Ing. Zdeněk Štěrba, Ph.D.

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Studentská 13, 370 05 České Budějovice

Ing. Miroslav Kajan

Mgr. Richard Lhotský

ENKI, o. p. s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň

Foto na titulní straně: Tříletý pokusný porost ozdobnic (*Miscanthus* sp.) na zemědělské půdě u Lukavce (foto J. Weger)

Photo on the front cover: Three years old experimental plot of *Miscanthus* on farm land close to Lukavec (photo J. Weger)

Copyright © Kolektiv autorů, 2011

ISBN 978-80-85116-79-3 (VÚKOZ, v.v.i. Průhonice)

ISBN 978-80-7415-044-9 (Nová Tiskárna Pelhřimov, s.r.o. Pelhřimov)

ISSN 0374-5651

OBSAH

Porovnání chrastice rákosovité (<i>Phalaris arundinacea</i> L.) a ozdobnice (<i>Miscanthus</i>) z produkčního hlediska	5
Z. Stražil, J. Moudrý, jr.	
Produkční a energetické vlastnosti ozdobnice (<i>Miscanthus</i> sp.) pěstované v podmínkách České republiky	13
J. Weger, Z. Stražil, P. Hutla	
Pěstování kukuřice k energetickým účelům	27
J. Diviš	
Nové klony topolu černého (<i>Populus nigra</i> L.) pro kultury s krátkou dobou obmýtí	33
V. Benetka, K. Kozlíková, P. Štochllová	
Hodnocení výnosu a růstu domácích vrb po 14 letech výmladkového pěstování	39
J. Weger, J. Bubeník	
Ekonomika pěstování energetických travin pro bioplynové stanice	47
J. Knápek, P. Ošlejšek, K. Havlíčková	
Ekonomika pěstování ozdobnice pro energetické účely v České republice	55
K. Havlíčková, J. Knápek	
Produkční, energetické a ekonomické aspekty pěstování fytomasy tritikale pro spalování	61
Z. Štěrba, J. Moudrý, Z. Stražil, J. Moudrý, jr., P. Konvalina	
Anaerobní digesce fytomasy z trvalých travních porostů jako alternativa k energetickým plodinám	69
R. Lhotský, M. Kajan	
Potenciální škůdci energetických dřevin: fytofágní druhy hmyzu (Insecta) na vybraných plantážích v Čechách	77
P. Kohout, J. Boháč, L. Pavelcová, I. Celjak	
Metody studia biodiverzity v porostech energetických rostlin – půdní a epigeičtí brouci	85
J. Boháč, P. Kohout	

POROVNÁNÍ CHRASTICE RÁKOSOVITÉ (*PHALARIS ARUNDINACEA* L.) A OZDOBNICE (*MISCANTHUS*) Z PRODUKČNÍHO HLEDISKA

COMPARISON OF REED CANARY GRASS (*PHALARIS ARUNDINACEA* L.) AND MISCANTHUS FROM PRODUCTION POINT OF VIEW

Zdeněk Stražil¹⁾, Jan Moudrý, jr.²⁾

¹⁾ Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně, strasil@vurv.cz

²⁾ Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Studentská 13, 370 05 České Budějovice, jmoudry@zf.jcu.cz

Abstrakt

V polních pokusech na stanovišti v Lukavci byly v letech 2007–2010 sledovány maloparcelkové polní pokusy s chrasticí rákosovitou a ozdobnicí. Obě plodiny byly porovnávány z produkčního hlediska. Byl sledován vliv počasí a různých termínů sklizně na výnosy fytomasy. V průměru za čtyřleté období bylo dosaženo u chrastice při jednorázové sklizni na podzim, resp. na jaře výnosu sušiny 6,09, resp. 4,73 t.ha⁻¹, u ozdobnice 8,86, resp. 6,77 t.ha⁻¹. Průměrné ztráty fytomasy přes zimní období byly u chrastice 22,3 % a u ozdobnice 25,6 %. Ze získaných výsledků lze z hlediska energetického využití fytomasy doporučit jarní termín sklizně.

Klíčová slova: chrastice rákosovitá, ozdobnice, výnosy, termíny sklizně

Abstract

In field trials at the Lukavec were in the years 2007–2010 observed small plots experiments with reed canary grass and *Miscanthus*. Both crops were compared in the production standpoint. The influence of weather and various terms of harvest on yields of phytomass was monitored. In four-year period average, the yields for single autumn harvest 6.09 t.ha⁻¹ and 4.73 t.ha⁻¹ for single spring harvest were reached for reed canary grass. Yields for *Miscanthus* were 8,86 t.ha⁻¹ for single autumn harvest and 6,77 t.ha⁻¹ for single spring harvest. Average losses of phytomass over the winter period were 22.3% for reed canary grass and 25.6% for *Miscanthus*. From the obtained results from the point of view energy utilization of phytomass can be recommended spring term of harvest.

Key words: reed canary grass, *Miscanthus*, yields, terms of harvest

ÚVOD

Perspektiva vyčerpání fosilních surovin urychlila hledání nových alternativních zdrojů surovin pro průmyslové a energetické využití. Dalším podnětem jsou rovněž stanovené indikativní cíle EU pro oblast obnovitelných zdrojů energie, které mimo jiné předpokládají, že OZE budou do roku 2020 zajišťovat 20 % celkové potřeby energie v rámci EU. Z těchto obnovitelných zdrojů by měla mít nezastupitelný podíl energie pocházející z biomasy. K alternativním plodinám, o jejichž rozšířeném pěstování pro průmyslové a energetické využití se uvažuje, patří chrastice rákosovitá a ozdobnice, které jsou porovnávány v tomto příspěvku z produkčního hlediska.

Jedním z cílů práce bylo zjistit vliv počasí a různých termínů sklizně na výnosy fytomasy sledovaných plodin a porovnat produkční schopnosti sledovaných energetických plodin na daném stanovišti včetně analýzy některých kvalitativních parametrů vyprodukované fytomasy.

Chrastice rákosovitá *Phalaris arundinacea* L. (syn. *Phalaroides arundinacea* (L.) Rauschert; *Baldingera arundinacea* (L.) Dum.) – (podle Kubát a kol., 2002) – nazývána také lesknicí rákosovitá, se botanicky řadí do třídy jednoděložné (*Monocotyledonae*), čeledi lipnicovitě (*Poaceae*). Chrastice rákosovi-

tá je rozšířená téměř po celé Evropě, Asii (kromě jižní části) a v Severní Americe. U nás je cizosprašným autochtonním druhem, rozšířeným na celém území našeho státu (Havlíčková a kol., 2007). Patří mezi vytrvalé výběžkaté trávy. Je to mohutný (výška přes 2 metry), pozdní, vytrvalý druh (Velich a kol., 1994). Přirozeně je rozšířena na stanovištích s přebytkem vody. Snáší přechodné záplavy, ale i přísušky (Šantrůček a kol., 2007).

Je odolná vůči drsným klimatickým podmínkám. Nejlépe se jí daří na těžších půdách. Na půdní reakci není citlivá. Je přizpůsobivá půdní reakci v rozmezí pH od 4 do 7,5 s optimem okolo pH 5. Holomrazy ani pozdní mrazíky jí nevadí. Její předností je široká ekologická amplituda. Vysokých výnosů je dosahováno v letech s vyšším srážkovým úhrnem a na půdách, kde se hranice podzemní vody pohybuje mezi 30–40 cm. Chrastice má po zasetí pomalejší vývoj než ostatní trávy (Šantrůček a kol., 2007).

Ozdobnice (*Miscanthus*) se botanicky řadí do třídy jednoděložné (*Monocotyledonae*), čeledi lipnicovitě (*Poaceae*), tribus vusatkovitě (*Andropogoneae*). Ozdobnici lze obecně charakterizovat jako vytrvalou travu vysokého vzrůstu typu přeměny uhlíku C₄, dosahující za příznivých podmínek přes 30 tun výnosu sušiny. Ozdobnice dobře využívá sluneční energii,

vodu, živiny, je značně odolná proti chorobám a škůdcům. Stébla jsou pevná, dřevnatější, u *Miscanthus × giganteus* vysoká přes 3 metry. Oddenek je krátký, často dřevnatý. Na rozdíl od kořenů se rhizomy ozdobnice vyskytují pouze v povrchové vrstvě půdy.

Ozdobnici se nejlépe daří na lehčích strukturních půdách, spíše v teplejších oblastech s vyšším množstvím srážek. Doporučují se humózní písčité půdy s malým nebo žádným zaplevelením vytrvalými plevele (např. pýrem, šťovíky). Přestože nároky na půdu nejsou příliš vyhraněné, ozdobnici nevyhovují mělké půdy v kombinaci s dlouhým obdobím sucha během léta a také chladné jílovité půdy. Optimální pH půdy je v rozmezí 5,5–6,5. Při pH nad 7,0 byly pozorovány výnosové deprese (Stražil, 2009).

U ozdobnice jsou kladeny vyšší nároky na klimatické podmínky než na půdu. Předpokladem vysokých výnosů fyto-masy jsou, kromě vysokého množství srážek, vyšší teploty vzduchu v průběhu vegetační doby, tj. od konce května do konce září.

Podle GRIN/NPGS taxonomických informací zahrnuje rod *Miscanthus* celkem 33 druhů. Z těchto druhů pouze *Miscanthus tinctorius*, *Miscanthus sinensis* a *Miscanthus sacchariflorus* jsou hlavně využívány pro produkci fyto-masy a průmyslové využití. Největší rozšíření a v současné době asi i největší význam a využití má *Miscanthus sinensis* Andersson. Z hlediska rajonizace je *Miscanthus sinensis* nejvhodnější pro severní Evropu, *Miscanthus × giganteus* pro střední Evropu a *Miscanthus sacchariflorus* vyžadující teplejší podmínky pro jižní Evropu (hlavně pro Středomoří).

Do současné doby bylo vyšlechtěno velké množství klonů ozdobnice. Není jednoduché rozlišit jednotlivé klony od sebe. Nejlepší možnou metodou měření genetické diverzity je stanovení sekvence DNA. Tato metoda je časově náročná a drahá. Jako alternativní metody pro stanovení polymorfizmu lze použít metody využívající PCR, např. AFLP nebo SSR. Jednotlivé klony ozdobnice se od sebe také rozlišují biochemickými markery (Wuehlisch, 1997).

U druhu *Miscanthus sinensis* bylo u některých klonů v našich podmínkách pozorováno dozrávání semen a následné spontánní šíření rostlin do krajiny (Severa, Weger, 2010). Z tohoto důvodu je třeba dávat pozor při výběru jednotlivých klonů *Miscanthus sinensis* i z hlediska, aby nedošlo k jejich nechtěnému křížení. Pro pěstování bez rizik nechtěného šíření rostlin do krajiny se doporučuje klon *Miscanthus × giganteus*. U tohoto klonu se oddenky příliš nerozrůstají, rostliny nejsou agresivní a v našich podmínkách se nevytvářejí zralá semena, která by se mohla nechtěně šířit do krajiny.

Stanoviště Lukavec, kde probíhaly polní pokusy, leží v bramborářské výrobní oblasti, která je z hlediska vlivu teplot a srážek na tvorbu fyto-masy výhodnější pro lesknici rákosovitou než pro ozdobnici, pro kterou by měla být tato oblast hlavně z hlediska teplot okrajovou oblastí.

MATERIÁL A METODIKA

V letech 2007–2010 probíhaly v Lukavci maloparcelkové polní pokusy s energetickými plodinami. Stanovištní podmínky v Lukavci uvádí tab. 1. Plodiny byly založeny na jaře roku 2007. Před založením porostu byly na podzim roku 2006 pozemky jednorázově vyhnojeny u obou plodin fosforečnými a draselnými hnojivy – 50 kg.ha⁻¹ K (draselná sůl) a 30 kg.ha⁻¹ P (superfosfát). Hnojení P, K nebylo během dalšího celého období použito. Obě plodiny byly založeny ve čtyřech opakováních. Příprava půdy proběhla podle běžných agrotechnických opatření. U chřastice byla v prvním roce použita odplevelující seč. U ozdobnice bylo proti plevelům v prvním roce použito mechanické ošetření (ruční plečkování). Ani u jedné z plodin nebyly použity v prvním roce ani v dalších letech pěstování žádné pesticidy.

U chřastice rákosovité byla vybrána odrůda 'Palaton'. Velikost parcely pro porosty určené pro spalování byla 3 × 30 metrů. Šířka řádků činila 12,5 cm. Hloubka setí byla 2–3 cm. Výsev byl proveden na jaře 2007 v čisté kultuře a činil 20 kg.ha⁻¹ semene. Sklizeň byla každoročně ve třech termínech: před metáním, po prvních mrazech a na jaře. Části parcel sklizené před metáním byly sečeny (mulčovány) podruhé ještě na podzim. U ostatních termínů byla provedena pouze jedna seč. Jednotlivé parcelky byly rozděleny na třetiny (3 × 10 m), které se sklízely v jednotlivých termínech. Hnojení N bylo k chřastici použito od druhého roku každoročně v době po jarní seči před obrážením nových listů v dávce 60 kg.ha⁻¹ (močovina).

Do pokusu s ozdobnicí byly vybrány 2 klony: ozdobnice čínská (*Miscanthus sinensis*) a její kříženec (*Miscanthus × giganteus*) původem z Evropského projektu zušlechťování ozdobnic (EMI), které byly vysazeny ve čtyřech znáhodněných opakováních. Pokusy byly založeny z rhizomů ozdobnic dlouhých nejméně 7 cm ve sponu 1 × 1 m, tj. jedna rostlina na 1 m². Na parcele pokusu bylo vysazeno 32 jedinců příslušného klonu. Do izolačního pásu byl použit klon *Miscanthus × giganteus*. Ozdobnice v našich pokusech byla plánována pro energetické využití, proto byl každoročně zařazen pouze jeden termín sklizně buď na podzim, nebo na jaře příštího roku. Hnojení dusíkem v roce založení porostu nebylo použito. Od roku 2008 bylo aplikováno každoroční přihnojení N koncem dubna v dávce 80 kg.ha⁻¹ N (ledek amonný s vápencem). Nadzemní fyto-masa byla sklizena křovinořezem, stejně jako porost chřastice.

Výsledky byly zpracovány pomocí testu analýzy rozptylu – ANOVA (tabulky průměrů) programem UNISTAT 5.1.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Vliv počasí na výnosy nadzemní fyto-masy

Průběhy průměrných teplot a sumy srážek v měsíčních intervalech za sledované období jsou uvedeny v grafech 1 a 2. Z grafů je vidět, že prvním roce bylo relativně příznivé počasí, které umožnilo dobré vzházení plodin. Teploty v Lukavci byly v roce 2007 od začátku roku až do června nad dlouhodobým průměrem. Po založení pokusu spadlo relativně dostateč-

Tab. 1 Stanovištní podmínky pokusného místa Lukavec u Pacova

Ukazatel	
Zeměpisná šířka	49°34'
Zeměpisná délka	14°59'
Nadmořská výška (m n.m.)	570
Půdní druh	písčito-hlinitá
Půdní typ	kambizem
BPEJ	7.29.11
Průměrná roční teplota vzduchu (°C)	7,3
Průměrný roční úhrn srážek (mm)	682
Agrochemické vlastnosti půdy	
Obsah humusu (%)	3,83
pH (KCl)	4,82
Obsah P (Mehlich III, mg/kg půdy)	98,9
Obsah K (Mehlich III, mg/kg půdy)	344

né množství srážek, které také měly pozitivní vliv na poměrně dobré vzcházení porostu. Také přes zimní období 2007/2008 byly teploty na obou stanovištích nad dlouhodobým průměrem, což mělo pozitivní vliv na přezimování rostlin, hlavně ozdobnice. V následujícím roce 2008 byl průběh teplot a srážek až na výjimky podobný dlouhodobému průměru. V tomto roce bylo dosaženo při sklizni na podzim druhého nejvyššího výnosu sušiny fytomasy chřastice za sledované období (tab. 2).

Počasí ve vegetačním období (IV.–X. měsíc) v roce 2009 bylo srážkově normální a teplé. Za vegetační období byly teploty v Lukavci v průměru o 1,1 °C vyšší, srážky o 113 mm (19,5 %) vyšší v porovnání s dlouhodobým průměrem. Mimořádně teplý byl duben. Teploty v měsících červenci až září byly silně nadnormální. V ostatních měsících vegetačního období byly teploty normální v porovnání s dlouhodobým průměrem. Průběh srážek byl velmi nevyrovnaný. Výrazně nižší srážky v porovnání s dlouhodobým průměrem byly zaznamenány v září i v červenci. Oba tyto měsíce byly srážkově podnormální, teplotně silně teplé. Naopak měsíc květen a červen byly srážkově nadnormální. Z uvedených výsledků výnosů (tab. 2) lze konstatovat, že v tomto roce bylo dosaženo za sledované

období nejvyšších výnosů chřastice. Lze tedy předpokládat, že průběh počasí v tomto roce byl za sledované období pro chřastici z hlediska tvorby fytomasy nejvhodnější.

Počasí ve vegetačním období v roce 2010 bylo srážkově silně nadnormální a teplotně normální. Za období duben až říjen byly teploty v Lukavci v průměru o –0,1 °C nižší a srážky o 239,5 mm (53,2 %) vyšší v porovnání s dlouhodobým průměrem. Silně teplý byl červenec. Studeným měsícem bylo září. V ostatních měsících vegetačního období byly teploty v porovnání s dlouhodobým průměrem normální. Průběh srážek byl velmi nevyrovnaný. Výrazně nižší srážky v porovnání s dlouhodobým průměrem byly zaznamenány pouze v říjnu. Velmi bohaté na srážky byly měsíce květen, srpen a září. Mimořádně vlhký byl srpen, kdy jen za tento měsíc spadlo 35,4 % celoročního dlouhodobého průměru srážek.

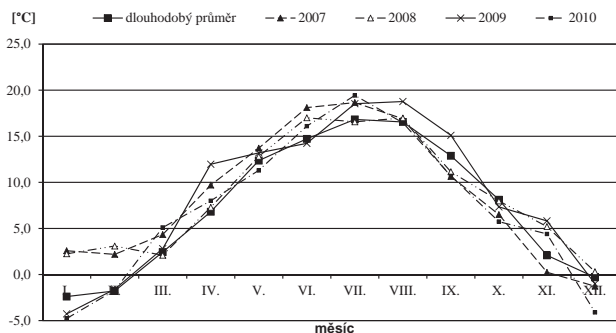
Z výsledků je patrné, že kolísání výnosů chřastice je při stejných agrotechnických opatřeních závislé hlavně na rozdělení srážek během vegetace (hlavně IV.–VI. měsíce) v jednotlivých letech. Vliv ročníku na značné kolísání výnosů chřastice uvádí také Stražil (2002). Ozdobnici v prvních letech z hlediska vlivu počasí na výnosy nelze na jednom stanovišti dobře hodnotit, neboť podle našich údajů (Stražil, 2009) nebo podle dalších autorů (Landstrom a kol., 1996; Nixon, Bullard, 1997) výnosy rostou od prvního roku podle stanovištních podmínek až do 3.–4. roku, kdy se v následujících letech víceméně ustálí.

Clifton-Brown a kol. (2001) uvádí že výnosy plodin včetně vytrvalých plodin jsou závislé na stanovišti. Nedostatek vody během vegetace, většinou způsobuje pokles výnosů.

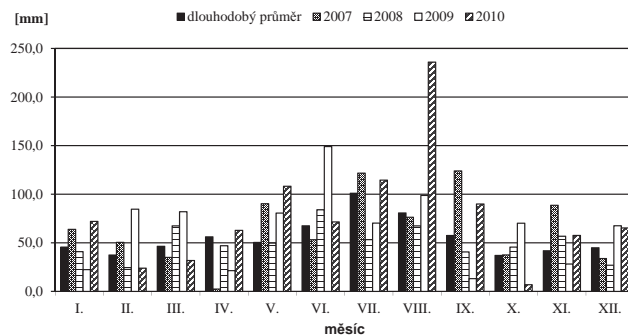
Vliv termínu sklizně na výnosy fytomasy a obsah sušiny

Průměrné výnosy přepočtené na sušinu a obsah sušiny obou plodin na stanovišti v Lukavci za sledované období při různých termínech sklizně uvádí tab. 2.

Z kvalitativního a ekonomického hlediska je důležité, v kterém termínu plodiny sklízet. Zda v době největšího nárůstu fytomasy, pozdě na podzim nebo brzy na jaře. Obecně největší nárůst fytomasy je u většiny plodin v době kvetení nebo těsně po odkvětu. Potom dochází k postupné ztrátě fytomasy. V prvním termínu sklizně je obsah sušiny ve fytomase v rozmezí 20–40 %. Takto vlhká fytomasa se dá z energetického



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

hlediska přímo využít pouze na výrobu bioplynu. Pokud by se měla používat pro účely spalování přímo v kotlích nebo na výrobu pelet či briket, je třeba ji dosušet, za příznivého počasí přímo na poli nebo v sušárnách. V těchto případech je třeba počítat s dalšími náklady, které nejsou, hlavně v případě dosoušení temperovaným nebo horkým vzduchem, nejnižší.

Při prvním termínu sklizně byla chřastice sklizena podle metodiky v době, kdy obsah sušiny byl kolem 30 %. Výnos fytomasy chřastice přepočtený na sušinu dosáhl v tomto termínu v průměru za sledované období 5,26 t.ha⁻¹. Výnosy chřastice přepočtené na sušinu byly v jednotlivých letech i v průměru v tomto prvním termínu nižší v porovnání s podzimním termínem sklizně. Je to dáno hlavně tím, že chřastice byla sklizena dříve, než dosáhla nejvyššího výnosu fytomasy.

Při podzimním termínu sklizně bylo dosaženo v průměru za sledované období výnosu sušiny fytomasy chřastice 6,09 t.ha⁻¹ a obsah sušiny byl v průměru 55,3 %. Výnos fytomasy při podzimním termínu byl vyšší než při letním termínu sklizně. I když se obsah sušiny zvýšil v průměru na 55 %, je při podzimním termínu sklizně stále vysoký. I zde je třeba počítat s dosoušením posekané fytomasy. V tomto pozdním termínu sklizně již nemůžeme počítat s přirozeným dosoušením na poli, ale podle obsahu vody ve fytomase pouze s umělým dosoušením studeným nebo temperovaným vzduchem.

Při jarním termínu sklizně byl zjištěn výnos sušiny chřastice v průměru za sledované období 4,73 t.ha⁻¹ a obsah sušiny 85,2 %. Ztráta fytomasy chřastice přes zimní období tedy představovala v průměru 22,3 %. Ztráty fytomasy chřastice v Lukavci přes zimní období byly obdobné těm, jež uvádí na tomto stanovišti z dřívějších pokusů Stražil (2002) nebo v zahraničí např. Landstrom a kol. (1996). Obsah sušiny byl v tomto termínu relativně vysoký. Z hlediska přímého spalování je proto tento termín nejvýhodnější. Z uvedeného vyplývá, že pro chřastici, podobně jako pro většinu energetických plodin určených pro energetické využití, je výhodnější z hlediska obsahu vody jarní termín sklizně, kdy přes zimu mráz rostliny vysuší. Takto vlhký materiál lze již bez větších potíží skladovat nebo z něj přímo vyrábět pelety nebo brikety. Snížení výnosů fytomasy v porovnání s podzimním termínem sklizně (v našem případě o 22,3 %) je vyváženo zvýšenou kvalitou paliva z hlediska technického i tvorby emisí. Odpadne také dosoušení, které je ekonomicky relativně nákladné.

V okolních zemích dosahuje chřastice výnosů přepočtených na sušinu od 4,5 do 9,0 t.ha⁻¹ a ztráty sušiny přes zimní období se pohybují v rozmezí 25–40 % (Nixon, Bullard, 1997; Stražil a kol., 2005). Yates a kol. (2001) uvádí maximální výnosy chřastice dosažené ve Velké Británii 11,5 t.ha⁻¹. Ve Švédsku (Landstrom a kol., 1996) se uvádějí průměrné výnosy sušiny za 5 let pěstování (od druhého roku) 9 t.ha⁻¹ při dávce 100 kg.ha⁻¹ N na konci vegetační sezóny a 7,5 t.ha⁻¹ na jaře. Ztráty sušiny přes zimní období se zde uvádějí v průměru kolem 25 %.

Snížení výnosů a růst sušiny ve fytomase chřastice s oddalujícím se termínem sklizně potvrzují také Nixon, Bullard (1997), kteří uvádějí průměrné výnosy sušiny fytomasy chřastice v červnu 12,0 t.ha⁻¹, v lednu následujícího roku 7,5 t.ha⁻¹.

Stanoviště Lukavec náleží do marginálních oblastí. Že je možno chřastici pěstovat v marginálních oblastech potvrzuje např. Pedersen (1997). Chřastici do marginálních oblastí doporučují také Frydrych a kol. (2001) jako náhradu spontánních úhorů.

Dosažené výnosy ozdobnice přepočtené na sušinu a obsah sušiny ve fytomase z různých termínů sklizně dokumentuje tab. 2 a grafy 3 a 4. Lze konstatovat, že výnosy fytomasy obou klonů ozdobnice se zvyšovaly od roku výsadby až do čtvrtého roku. Během roku výnosy ozdobnice rostou od vzházení až do období anteze a potom se postupně snižují.

Při podzimním termínu sklizně ozdobnice bylo v prvním roce dosaženo v průměru výnosu sušiny 0,87 t.ha⁻¹, v druhém roce 3,57 t.ha⁻¹, ve třetím roce 11,77 t.ha⁻¹ a ve čtvrtém roce 19,25 t.ha⁻¹ (tab. 2, graf 3). V průměru za čtyřleté období bylo dosaženo v tomto termínu sklizně 8,86 t.ha⁻¹ sušiny. Při tomto termínu sklizně byl v průměru obsah sušiny ve fytomase 57,8 % (tab. 2).

Při jarním termínu sklizně byl zjištěn průměrný výnos za oba klony v roce 2010 14,47 t.ha⁻¹ a výnos v průměru za celé sledované období 6,77 t.ha⁻¹ a obsah sušiny 85,4 %. Ztráta fytomasy ozdobnice přes zimní období tedy představovala v průměru 25,6 % (tab. 2, graf 4).

Z uvedeného vyplývá, že fytomasa ozdobnice není ani koncem listopadu vhodná pro okamžité spalování nebo uskladnění, což je způsobeno vysokým obsahem vody. Při podzimních termínech sklizně je třeba sklizenou fytomasu dosušet. Jarní termín je z hlediska spalování, podobně jako u chřastice, vhodnější.

Porovnáme-li oba klony ozdobnice, rostliny *Miscanthus × giganteus* byly vyšší a vytvářely menší počet silnějších stébel v porovnání s *Miscanthus sinensis*. Pokud jde o porovnání výnosů, ve čtvrtém roce (2010) dosáhl vyššího výnosu sušiny fytomasy na podzim *Miscanthus × giganteus* (22,12 t.ha⁻¹) oproti *Miscanthus sinensis* (16,34 t.ha⁻¹). Také z hodnocení průměrů je patrné, že největší nárůst výnosu za sledované období vykázal *Miscanthus × giganteus* (graf 5). Na jaře následujícího roku byl naopak zjištěn vyšší výnos přepočtený na sušinu u *Miscanthus sinensis* (15,25 t.ha⁻¹) oproti klonu *Miscanthus × giganteus* (13,68 t.ha⁻¹), jak je patrné z tab. 2 a grafu 6. V průměru za sledované období dosáhl *Miscanthus × giganteus* při podzimní, resp. jarní sklizni výnosu 9,28, resp. 6,28 t.ha⁻¹, *Miscanthus sinensis* 8,44, resp. 6,28 t.ha⁻¹ (tab. 2, graf 5, 6). Z uvedeného vyplývá, že nižší ztráty fytomasy přes zimní období vykazoval v průměru *Miscanthus sinensis* (14,0 %) oproti *Miscanthus × giganteus* (32,3 %). Také nárůst tvorby fytomasy byl u *Miscanthus sinensis* během sledovaného období průkazný a plynulejší než u *Miscanthus × giganteus* – viz graf 3, 5.

V polních pokusech v Rakousku (Schwarz a kol., 1994) bylo dosaženo v druhém roce po výsadbě výnosu 8 t.ha⁻¹ sušiny fytomasy a ve třetím roce 22 t.ha⁻¹. Výnosy byly nejvyšší v srpnu a potom neustále klesaly až do února v důsledku opadu listů. V srpnu byl obsah sušiny v rostlinách 40 %, koncem února, v obvyklý čas sklizně, byl obsah sušiny v druhém roce po výsadbě 58 % a ve třetím roce 70 %.

Podle Clifton-Browna a kol. (2001) výnosy *Miscanthus × giganteus* pěstovaném na různých místech Evropy kolísaly po zimě při závlaze mezi 7–26 t.ha⁻¹ sušiny ve třetím roce pěstování. Nejvyšší výnosy nezavlažovaných rostlin byly 15–19 t.ha⁻¹ sušiny. V severní Evropě je horní hranice výnosů mezi 15–25 t.ha⁻¹ sušiny na konci období růstu. Vyšší výnosy jsou zaznamenávány ve střední a jižní Evropě, kde hranice kolísá mezi 25–40 t.ha⁻¹ sušiny. Vyšší výnosy byly zaznamenány při závlaze.

Z grafů 5 a 6 je dále patrné, že chřastice měla výrazný nárůst výnosů v druhém roce po založení porostu a v následujících letech se výnosy fytomasy výrazně neměnily. *Miscanthus × giganteus* i *Miscanthus sinensis* měly na podzim 2009 a v následujícím roce výrazný nárůst výnosů. Navíc měl *Miscanthus × giganteus* ve čtvrtém roce výrazně vyšší nárůst výnosů oproti *Miscanthus sinensis* i chřastici. *Miscanthus sinensis* neměl v posledních dvou letech tak prudký nárůst fytomasy, jaký byl zjištěn u *Miscanthus × giganteus*. Na jaře byly ve čtvrtém roce rozdíly ve výnosech mezi *Miscanthus × giganteus* a *Miscanthus sinensis* málo významné, což bylo způsobeno nižšími ztrátami *Miscanthus sinensis* přes zimní období.

Úroveň maximálních výnosů sušiny fytomasy na podzim v průměru za čtyřleté období, která u chřastice činila 6,09 t.ha⁻¹ a u ozdobnice 8,86 t.ha⁻¹, je na tomto stanovišti vyšší ve srovnání s běžnými výnosy slámy zde pěstovaných obilovin. Výnos je však nižší, než například u tritikale, pokud započteme spolu výnos zrna a slámy. U ozdobnice je však reálný předpoklad, při započtení delšího časového období, že bude dosaženo v průměru podstatně vyšších výnosů.

ZÁVĚR

Z výsledků vyplývá, že pro chřastici nebo ozdobnici určené pro energetické využití je výhodnější z hlediska obsahu sušiny jarní termín sklizně, kdy přes zimu mráz rostliny vysuší natolik, že není třeba používat dosoušení. Takto vlhký materiál lze již bez větších potíží skladovat nebo z něj přímo vyrábět pelety nebo brikety. Snížení výnosů fytomasy chřastice, resp. ozdobnice v průměru o 22 %, resp. 26 % v porovnání s podzimním termínem sklizně je vyváženo zvýšenou kvalitou paliva (z hlediska technického a tvorby emisí). Odpadne také dosoušení, které je ekonomicky relativně nákladné.

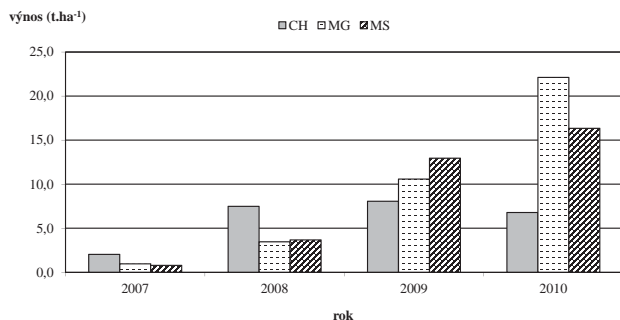
Výnosy chřastice při sklizni na podzim se v průměru za sledované čtyřleté období na stanovišti v Lukavci nepřiblížily průměrným výnosům ozdobnice. Chřastice dosáhla na podzim v průměru výnosu sušiny 6,09 t.ha⁻¹, ozdobnice 8,86 t.ha⁻¹. Z uvedeného vyplývá, že z hlediska výše výnosů je na tomto stanovišti, i při založení porostu na kratší období, výhodnější ozdobnice. Výnosové hledisko však není pouze jediným kritériem pro zakládání a vedení porostu.

Porosty chřastice i ozdobnice, pokud jsou dobře založeny, by měly vydržet na jednom stanovišti bez snížení výnosů fytomasy řadu let. Pro zavádění chřastice a ozdobnice hovoří žádné nebo minimální používání herbicidů nebo pesticidů, i další většinou nízké přímé náklady během pěstování. Nepřehlédnutelnou výhodou pro chřastici je, že se u nás dá pěstovat téměř ve všech klimatických podmínkách od nížin až po podhůří. Lze ji tedy doporučit také do marginálních oblastí, kde může sloužit jako náhrada spontánních úhorů.

Tab. 2 Průměrné výnosy fytomasy chřastice rákosovité a ozdobnice přepočtené na sušinu (t.ha⁻¹) a sušina fytomasy (%) v daných termínech sklizně za sledované období na stanovišti v Lukavci

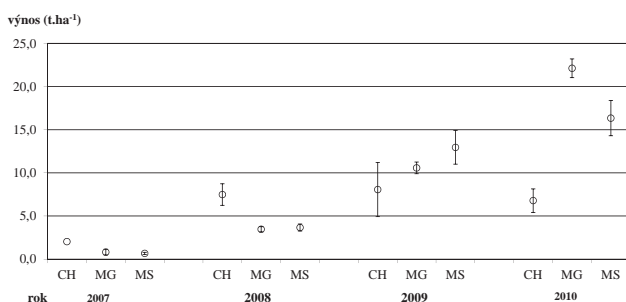
Rok	Termín sklizně	Plodina					
		Chřastice výnos (t.ha ⁻¹)	Chřastice sušina (%)	<i>Miscanthus × giganteus</i> výnos (t.ha ⁻¹)	<i>Miscanthus sinensis</i> výnos (t.ha ⁻¹)	<i>Miscanthus</i> průměr výnos (t.ha ⁻¹)	<i>Miscanthus</i> průměr sušina (%)
2007	1. termín	1,49	23,6	-	-	-	-
	2. termín	2,03	40,6	0,96	0,78	0,87	58,2
	3. termín	2,10	87,6	0,82	0,66	0,74	83,5
2008	1. termín	7,80	42,4	-	-	-	-
	2. termín	7,48	67,4	3,46	3,67	3,57	63,4
	3. termín	4,77	92,7	1,58	2,12	1,85	89,4
2009	1. termín	6,66	26,5	-	-	-	-
	2. termín	8,06	50,2	10,58	12,95	11,77	47,2
	3. termín	5,79	83,7	9,05	11,00	10,03	90,3
2010	1. termín	5,07	28,9	-	-	-	-
	2. termín	6,78	63,1	22,12	16,34	19,23	62,5
	3. termín	6,22	76,8	13,68	15,25	14,47	78,5
Průměr	1. termín	5,26	30,4	-	-	-	-
	2. termín	6,09	55,3	9,28	8,44	8,86	57,8
	3. termín	4,73	85,2	6,28	7,26	6,77	85,4

Poznámky: 1. termín – sklizeň chřastice před metáním
2. termín – sklizeň chřastice a ozdobnice po prvních mrazech
3. termín – sklizeň chřastice a ozdobnice na jaře



Poznámky: CH – chřastice rákosovitá , MG – *Miscanthus × giganteus*, MS – *Miscanthus sinensis*

Graf 3 Průměrné výnosy fytohmoty chřastice a ozdobnice (t. ha⁻¹) v Lukavci na podzim za sledované období



Poznámky: CH – chřastice rákosovitá , MG – *Miscanthus × giganteus*, MS – *Miscanthus sinensis*

Graf 5 Průměrné hodnoty výnosů daných plodin při sklizni na podzim za sledované období (úsečky představují 95% interval spolehlivosti)

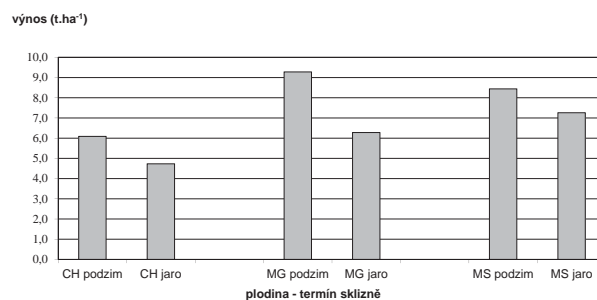
U ozdobnice je zatím nevýhodou, že má vysoké náklady při zakládání porostů zapříčiněné drahou sadbou. Z uvedených klonů ozdobnice nelze zatím jednoznačně doporučit klon, který by byl v dané oblasti z hlediska různých termínů sklizně výnosnější.

Poděkování

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

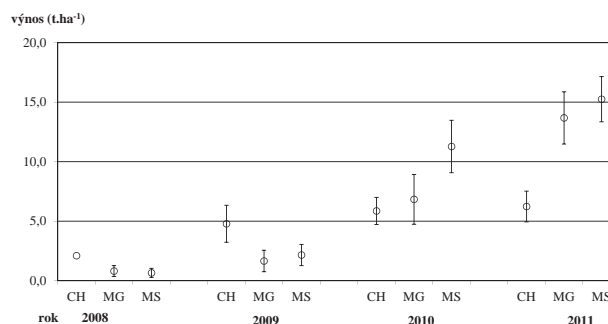
LITERATURA

- 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. 293, no. 5, p. 1013–1019.
- Frydrych, J., Cagaš, B., Machač, J. (2001): Energetické využití některých travních druhů. *Zemědělské informace ÚZPI*, č. 23, 34 s.



Poznámky: CH – chřastice rákosovitá , MG – *Miscanthus × giganteus*, MS – *Miscanthus sinensis*

Graf 4 Porovnání průměrných výnosů sušiny (t. ha⁻¹) daných plodin na podzim a na jaře za sledované období



Poznámky: CH – chřastice rákosovitá , MG – *Miscanthus × giganteus*, MS – *Miscanthus sinensis*

Graf 6 Průměrné hodnoty výnosů daných plodin při sklizni na jaře následujícího roku za sledované období (úsečky představují 95% interval spolehlivosti)

Havlíčková, K., Weger, J., Konvalina, P., Moudrý, J., Stražil, Z. (2007): Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. *Vědecká monografie. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví Průhonice a Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta*, 92 s.

Kubát, K. [ed.] (2002): *Klíč ke květeně České republiky*. Academia, Praha, 927 s.

Landstrom, S., Lomakka, L., Anderson, S. (1996): Harvest in spring improves yield and quality of reed canary grass as a bioenergy crop. *Biomass and Bioenergy*, vol. 11, no. 4, p. 333–341.

Nixon, P. M. I., Bullard, M. J. (1997): The effect of fertilizers, variety and harvesting timing on the yield of *Phalaris arundinacea* L. *Biomass and energy crops. Meeting of the Association of Applied Biologists, 7-8 April 1997, Royal Agricultural College, Cirencester, UK, Aspects of Applied Biology*, no. 49, p. 237–204.

Pedersen, S. (1997): Reed canary grass on marginal land – industrial applications, economics and environmental impact. In *Proceedings of the NJF-seminar on alternative use of agricultural land*, Research Centre Foulum, Denmark, 9-10 June 1997. *SP Rapport Statens Planteavforsong*, no. 18, p. 102–111.

- Severa, M., Weger, J. (2010): Potvrzení generativního šíření vybraných druhů ozdobnic (*Miscanthus* sp.) v přírodních podmínkách České republiky. Acta Pruhoniciana, č. 96, s. 75–78.
- Schwarz, H., Liebhard, P., Ehrendorfer, K., Ruckenbauer, 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. (2002): Porovnání chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea* L.) a kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea* Schreb.) jako možných zdrojů fytomasy pro energetické a průmyslové využití. In Sborník referátů z odborné konference „Energetické a průmyslové rostliny VIII“. Chomutov 1. 8. 2002, s. 42–49.
- Stražil, Z. (2009): Základy pěstování a možnosti využití ozdobnice (*Miscanthus*). Uplatněná metodika pro zemědělskou praxi. VÚZT, Praha, 48 s.
- Stražil, Z., Váňa, V., Káš, M. (2005): Effect of soil and weather conditions, nitrogen fertilization and different times of harvest on yields of phytomass and other characters of the reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) cultivated for energy utilization. Res. Agr. Eng., vol. 51, no. 1, p. 7–12.
- Šantrůček, J., Svobodová, M., Veselá, M., Fuksa, P., Mrkvička, J., Hakl, J., Kocourková, D. (2007): Encyklopedie pícninářství. Skriptum ČZU v Praze, 157 s.
- Velich, J., Petřík, M., Regal, V., Štráfelda, J., Turek, F. a kol. (1994): Pícninářství. Skriptum Vysoké školy zemědělské v Praze, 204 s.
- Yates, N. E., Christian, D. G., Bullard, M. J., Knight, J. D., Lainsbury, M. A., Parker, S. R. (2001): The effect of delayed harvest on the yield and nutrient composition of reed canary grass (*Phalaris arundinacea*). Biomass and Energy Crops II, University of York, York, UK, 18–21 December 2001. Aspects of Applied biology, no. 65, p. 161–166.
- Wuehlis, G. (1997): Identification of *Miscanthus* varieties by their isozymes. In Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry. Book of Abstracts from International Conference, Braunschweig, June 1997, p. 189–190.

Rukopis doručen: 17. 2. 2011

Přijat po recenzi: 16. 3. 2011

PRODUKČNÍ A ENERGETICKÉ VLASTNOSTI OZDOBNICE (*MISCANTHUS* SP.) PĚSTOVANÉ V PODMÍNKÁCH ČESKÉ REPULIKY

PRODUCTION AND ENERGY CHARACTERISTICS OF *MISCANTHUS* (*MISCANTHUS* SP.) GROWN IN CONDITIONS OF THE CZECH REPUBLIC

Jan Weger¹⁾, Zdeněk Stražil²⁾, Petr Hutla³⁾

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

²⁾ Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně, strasil@vurv.cz

³⁾ Výzkumný ústav zemědělské techniky, v. v. i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně, petr.hutla@vuzt.cz

Abstrakt

Príspevek shrnuje výsledky hodnocení čtyřletého polního pokusu s vybranými klony ozdobnic za čtyřleté období na dvou rozdílných lokalitách. Byl sledován zejména výnos fytomasy, průběh počasí a vliv stanoviště na růst jednotlivých klonů. Uvedeny jsou další sledované parametry jako kvetení, počet stébel, výška rostlin a jejich poškození. Je diskutován vliv termínu sklizně na výnosy a další parametry. Hodnoceny jsou emisní a energetické vlastnosti paliva získaného z ozdobnice. Pro produkci biomasy k energetickým účelům v podmínkách ČR je možno na základě výsledků našeho pokusu a laboratorních testů palivářských vlastností doporučit klony M1, M2 a M4 *Miscanthus* × *giganteus*, které budou sklizeny v průběhu nebo lépe na konci zimního období.

Klíčová slova: ozdobnice, biomasa, výnosy, spalování

Abstract

The contribution summarises results of four-year field experiment with selected *Miscanthus* clones grown on two different localities. Biomass yield, climatic conditions and influence of stand conditions on growth of individual clones were evaluated. Other measured parameters include flowering, number of stems, plant height and damages. Influence of date of harvest on yields and other parameters are discussed. Emission and energy parameters of fuels made of *Miscanthus* biomass are evaluated. Clones M1, M2 and M4 of *Miscanthus* × *giganteus*, which would be harvested in winter, can be recommended for biomass production in the Czech Republic based on results of our research.

Key words: *Miscanthus*, biomass, yields, combustion

ÚVOD

Vývojové trendy v okolních západoevropských státech i u nás ukazují, že v evropském zemědělství dochází k nadprodukcii rostlinných komodit (zejm. obilovin) pro nutriční využití. Zemědělství v některých západoevropských státech již nastoupilo nový směr, kdy se kromě klasických plodin pro potravinové využití začínají rozšiřovat alternativní rostliny převážně pro nepotravinové využití. Tento trend je vzhledem k přírodním podmínkám nevyhnutelný i pro naše zemědělství. S ohledem na setrvalý rozvoj zemědělství budeme nuceni přistupovat k radikálnějším inovacím v soustavě hospodaření na půdě. Jednou z možností, jak využít půdu pro nepotravinové využití, je pěstování alternativních plodin uvažovaných pro produkci fytomasy na průmyslové nebo energetické využití, které nahrazují, rozšiřují a doplňují stávající sortiment plodin a přispívají k rozšíření spektra rostlinné produkce. Perspektivní jsou zejména tzv. energetické plodiny druhé generace s výrazně lepším poměrem vložené a získané energie (> 1 : 10) oproti konvenčním plodinám používaným pro výrobu kapalných biopaliv, jako jsou např. řepka a obilí (cca 1 : 2). K těmto plodinám patří i ozdobnice.

Rod *Miscanthus* (ozdobnice) je přirozeně rozšířen převáž-

ně v tropických a mírných oblastech. Zahrnuje celkem 33 taxonů. Původní domovinou ozdobnice je východní Asie. Botanicky se řadí do čeledi lipnicovité (*Poaceae*), tribus voutsatkovité (*Andropogoneae*). Jsou to vytrvalé rostliny vysokého vzrůstu typu fotosyntézy C₄. Současné klony dosahují za příznivých podmínek výnosu přes 30 tun sušiny z hektaru. Dobře využívají sluneční energii, vodu, živiny. Jsou značně odolné proti chorobám a škůdcům. Z uvedených taxonů jsou pouze *M. tinctorius*, *M. sinensis* a *M. sacchariflorus* hlavně využívány pro produkci fytomasy a průmyslové využití. V současné době je v Evropě nejvíce pěstován klon *M. × giganteus* J. M. Greff & Deuter, což je sterilní triploidní hybrid (3n=57) mezi diploidním *M. sinensis* a tetraploidním *M. sacchariflorus*.

S ozdobnicí se ve většině projektů ze západní Evropy počítá hlavně pro energetické účely na výrobu tepla (přímé spalování nebo pyrolyza) – Lewandowski et al. (1995), Venturi et al., (1998), Clifton-Brown et al. (2004) apod. Ozdobnice je také výborný zdroj suroviny pro výrobu buničiny. Má vysoký obsah celulózy kolem 40 % (McCarthy, 1994) a ligninu je více než 24 %. Obsah hemicelulózy kolísá v rozmezí 26,7–27,8 %. Ozdobnici lze dobře využít i ve stavebním průmyslu hlavně pro výrobu panelových desek nebo stavebních bloků. Používá se jí jako materiálu pro výrobu dřevovláknitých desek, dřevi-

tých lepenek, rohoží nebo došků (Harvey, 1994; Walsh and McCarthy, 1998), geotextilií (Venturi et al., 1997). Ozdobnici lze využít při výrobě lehkých přírodních sendvičových materiálů, které mohou nahradit sendvičové materiály vyrobené z lehkých kovů nebo plastů. Fytomasu ozdobnice je možné využít při kompostování spolu s kejdou skotu i prasat (Eiland et al., 2001).

Ozdobnici lze pěstovat jako vhodnou náhradu na půdě, která nemá v současné době využití v oblasti potravinářského průmyslu. Tuto půdu bez potravinářského využití není dobré nechat ležet ladem, ale je třeba ji udržovat v kulturním stavu z důvodů možného bezproblémového návratu zpět k výrobě potravin. Ladem ležící půda je zdrojem plevelů, ale i chorob a škůdců (Frydrych a kol., 2001). Ozdobnice nevyžaduje vysoké dávky průmyslových hnojiv (Schwarz et al., 1994) a je málo náchylná k chorobám a škůdcům (Loeffel, Nentwig, 1997), proto má malé požadavky na používání hnojiv a pesticidů, což omezuje riziko kontaminace podzemních vod a následné riziko pro vodní a půdní organizmy. Výskyt půdní, větrné eroze a výskyt nitrátů je u ozdobnice možný v prvním roce, kdy kořenový systém není plně vyvinut a produkce fytomasy je limitována. V pozdějších letech, kdy se porost zapojí a na povrchu půdy se vyskytuje opad, při obvyklých agrotechnických opatřeních k těmto jevům u ozdobnice již nedochází.

Mezi ekologické důvody pěstování vytrvalých plodin patří například změna teplotních poměrů v půdě (odlišné prohřívání půdy na jaře a na podzim) a také příznivý vliv na strukturní stav půdy (především zvýšení vodostálosti půdních agregátů), zlepšení hospodaření s půdní vodou (zvýšení vododržnosti půdy, omezení neproduktivního výparu vody z půdy mulčem z rostlinných zbytků na povrchu půdy, redukce vodní a větrné eroze, omezení vyplavování pohyblivých forem dusíku při dlouhodobém působení rostlin na jednom stanovišti, zlepšení stavu půdní organické hmoty (obsah a kvality půdního humusu), snížení výskytu plevelů (Hůla, Procházková, 2002).

U vytrvalých rostlin jako ozdobnice se půda kromě roku založení porostu nezpracovává. Prvním rokem lze u trav použít místo herbicidů jednu nebo dvě odplevelující seče. Navíc hustá soustava oddenků a kořenů zpevňuje půdu a prakticky



Obr. 1 Povrch půdy po jarní sklizni ozdobnice pokrytý opadem listů (čtvrtý rok pěstování)

celoroční pokryv půdy zabraňuje erozi půdy. Také opad listů a dalších částí rostlin působí jako mulč, který také zabraňuje erozi půdy a navíc brání růstu nežádoucích plevelů – viz obr. 1 (Stražil, 2005).

Zavedením těchto rostlin se zlepšují fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půd včetně zvýšení jejich organické složky. Po orbě se organická hmota homogenizuje v celém půdním profilu. Po zavedení vytrvalých rostlin je nižší mineralizace, dochází ke zvýšené akumulaci organické hmoty hlavně ve formě humusotvorného transformujícího se materiálu, který tvoří povrchový mulč. Půda se svými vlastnostmi více přibližuje vlastnostem původního optimálního klimaxového stadia (Raus, Šabatka, 1999). Podle našich zkušeností s pěstováním *M. × giganteus* může být půda po ukončení pěstování ozdobnice vrácena původnímu užití použitím obvyklých agrotechnických postupů a bez legislativních potíží.

Sklizeň ozdobnic pro přímé spalování se doporučuje provádět zejména v předjaří a na počátku jara z důvodů palivářských vlastností biomasy. Porosty ozdobnice tak poskytují úkryt zvěři a drobnému ptactvu celé zimní období, čímž dochází k zvyšování biodiverzity zemědělské krajiny.

Pro zemědělskou praxi jsou významné především ekonomické dopady. Ozdobnice i ostatní vytrvalé rostliny přinášejí v porovnání s pěstováním jednoletých zejména úspory práce a energie (Hůla, Procházková, 2002).

K ověřování vhodnosti pěstování ozdobnice v našich podmínkách jsme založili dva maloparcelkové polní pokusy v různých půdně-klimatických podmínkách. Cílem našeho pokusu je porovnání a zhodnocení vhodnosti pěstování včetně možností využití nového sortimentu ozdobnic 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 identifikaci hlavních bariér pro jejich uplatnění v pěstitelské praxi.

MATERIÁL A METODIKA

Polní pokus s ozdobnicí čínskou a jejími kříženci (*Miscanthus sinensis* a *Miscanthus × giganteus*) byl založen na dvou stanovištích v Průhonicích a v Lukavci na jaře 2007 (v Lukavci 4. 5. 2007, Průhonicích 15. 5. 2007).

Stanoviště a počasí

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

Sortiment a schéma pokusu

Pokus byl založen ze 4 klonů ozdobnice čínské (*Miscanthus*

Tab. 1 Stanovištní podmínky pokusných míst

Ukazatel	Průhonice Michovka	Lukavec u Pacova
Zeměpisná šířka	49°59'	49°34'
Zeměpisná délka	14°34'	14°59'
Nadmořská výška (m n.m.)	332	570
Půdní druh	jílovito-hlinitá	píščito-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
Agrochemické vlastnosti půdy		
Obsah humusu (%)	1,30	3,83
pH (KCl)	4,8 *	4,82
Obsah P (Mehlich III, mg.kg ⁻¹ půdy)	67,75	98,9
Obsah K (Mehlich III, mg.kg ⁻¹ půdy)	153	344

* přepočteno z aktivního pH

sinensis Anders.) a 2 klonů triploidního křížence (*Miscanthus* × *giganteus* J. M. Greef & Deuter) 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 7 cm ve sponu 1 × 1 m, tj. jedna rostlina na 1 m². 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. 2.

Dva ze 6 klonů byly založeny s parcelkami o dvojnásobné velikosti (32 ks), tak aby bylo možné provádět srovnání mezi 2 termíny sklizně – podzimním a jarním. Ozdobnice v našich pokusech je plánována pro energetické využití, proto jsme každoročně zařadili pouze jeden termín sklizně. V jarních a doplnkově také podzimních termínech také probíhala hodnocení (měření) vybraných růstových a výnosových parametrů ozdobnic – zejm. výnosu nadzemní fytomasy, počtu stébel, výšky rostlin, procenta přežívání, kvetení a výskytu biotického a abiotického poškození.

Založení a údržba pokusu

Před výsadbou (květen/2007) byly na podzim v roce 2006

dobře odplevelené pozemky celoplošně připraveny orbou a na jaře 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 7 cm ve sponu 1 × 1 m, tj. jedna rostlina na 1 m². U klonů *M. 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.

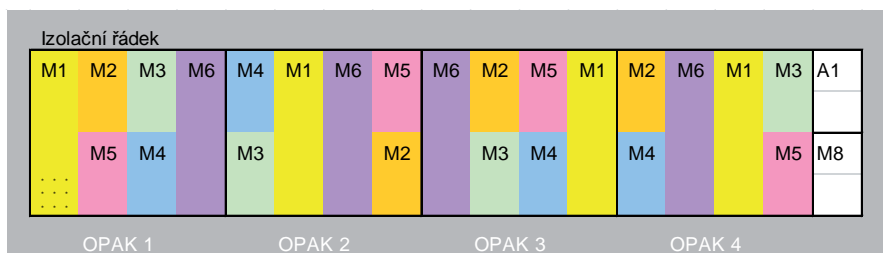
Výsadby byly po založení odplevelovány na obou lokalitách pouze manuálně – ručně, případně okopávkou. Herbicidy nebyly v průběhu pokusu používány. V následujících letech, kdy došlo k rozrůstání rostlin ozdobnic, již bylo manuální odplevelování prováděno pouze lokálně a podle potřeby, např. v místech po odumřelých rostlinách.

Pozemky v Lukavci byly před výsadbou jednorázově vyhnojeny P, K: 70 kg.ha⁻¹ K (draselná sůl), 40 kg.ha⁻¹ P (superfosfát). Hnojení dusíkem v roce založení porostu nebylo použito. Od roku 2010 je aplikováno každoroční přihnojení N koncem dubna v dávce a 80 kg.ha⁻¹ N (ledek amonný s vápenecem). Během sledovaného období nebylo aplikováno žádné další hnojení ani na jedné lokalitě.

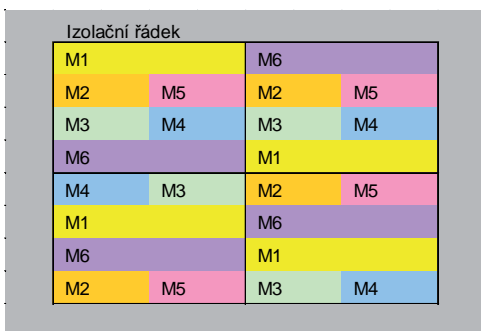
Tab. 2 Sortiment ozdobnic v pokusu

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

PRŮHONICE – Michovka



LUKAVEC – Bezděkov



Rozměry pokusu:

Spou: 1 × 1 m

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

Parcelka malá: 3 × 6 metrů; 18 ks

Obr. 2 Schéma založení pokusu s ozdobnicí (*Miscanthus*) v Průhonících a Lukavci (2007)

Hodnocení růstových, produkčních a dalších charakteristik

Na rostlinách v pokusných porostech byly měřeny následující kvantitativní parametry: počet stébel, výška rostlin a výnos surové biomasy. Dále byly hodnoceny zdravotní stav, poškození porostu škůdci a počasím (sníh) atd.

Všechny uvedené parametry byly stanoveny pro každou rostlinu v pokusech. Počet stébel byl stanoven před sklizní (podzim a jaro) pro každou rostlinu zvlášť a pak jako průměr za jednotlivé parcely. Od roku 2010 byla měřena výška pro každou rostlinu zvlášť na podzim a na jaře před jednotlivými termíny sklizně. Výška jedince byla měřena od země do přirozené výšky rostlin.

Sklizně probíhaly přibližně současně na obou lokalitách ve dvou termínech – podzimním (X.–XI.) a jarním (III.–IV.). Rostliny se v jednotlivých termínech sklizně na podzim a na jaře sklízely celé křovinořezem a na poli byla stanovena jejich čerstvá hmotnost. Výnos fytomasy byl zjišťován standardní metodikou (viz Weger, Stražil, 2009). Na jaře 2008 byla provedena 1. (jarní) sklizeň nadzemní fytomasy a vypočteny jarní výnosy sušiny za rok (2007) u jednotlivých klonů. 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.

Kvetení a další uvedené parametry byly stanovovány od prvního roku po celou dobu sledování. Kvetení bylo sledováno 2× ročně (srpen a září) a bylo stanoveno jako procentický průměr všech rostlin za jednotlivé parcely. Zdravotní stav a případné poškození porostů bylo sledováno nejméně 3× během vegetace (srpen, říjen, březen).

Kvantitativní data získaná měřeními z polních pokusů byla

statisticky hodnocena metodou ANOVA, resp. MP-ANOVA (test Duncan a MPD $p < 0,05$). Homogenita (rozptylu) dat byla hodnocena Levenovým testem ($p > 0,500$). V případě potřeby byla data logaritmována.

Hodnocení palivoenergetických a emisních vlastností fytomasy

Byly ověřovány vlastnosti tuhých paliv připravených z ozdobnice. Ověřovaly se palivoenergetické vlastnosti briket a pelet vytvořených z ozdobnice z různých termínů sklizně (podzimní a jarní). Dále byly stanoveny emisní parametry vytvořených paliv z ozdobnice na vybraných spalovacích zařízeních.

Z fytomasy ozdobnice (*Miscanthus × giganteus*) z různých termínů sklizně byly vytvořeny brikety na briketovacím lisu HLS 50 (výrobce Briklis, s. r. o.) Brikety jsou válcového tvaru o průměru 65 mm. Z ozdobnice byly dále vytvořeny topné pelety. Před lisováním byly rostliny dezintegrovány v kladívkovém šrotovníku ŠV 15 se sítím s otvory průměru 4 mm. Z materiálu byly vytvořeny topné pelety o průměru 6 mm na granulaci lince MGL 200 (výrobce KOVO Novák).

Vytvořená paliva, tj. topné brikety i pelety, byly následně spalovány v různých typech spalovacích zařízení. Pro spalování topných briket byla použita akumulární kamna SK-2 (výrobce RETAP, s. r. o.) a kotel na biopaliva V 25 od výrobce firmy VERNER, a. s. Jako standardní palivo byly rovněž proměřeny dřevěné brikety Turbohard (výrobce BIOMAC, s. r. o.). Topné pelety vytvořené z ozdobnice byly spalovány v kamnech KNP (výrobce KOVO NOVÁK) a v automatickém kotli na pelety A 25 (výrobce VERNER, a. s.).

Pro měření emisí ve spalínách byl použit analyzátor Testo 350 XL. Každých 6 sekund byl měřen obsah CO a NO_x. Naměřené

hodnoty CO byly pak přepočteny na 13% obsah kyslíku a porovnány s normou ČSN EN 13229. Měření každého vzorku bylo prováděno po dobu 2 hodin. Naměřené hodnoty obsahu NO_x byly rovněž přepočítávány na 13% obsahu kyslíku a porovnány se směrnicí MŽP č. 13-2006 definující požadavky pro propůjčení ochranné známky „Ekologicky šetrný výrobek“ pro teplovodní kotle na spalování biomasy do tepelného výkonu 0,3 MW. Směrnice udává emisní limitní hodnotu (250 mg·mN⁻³) obsahu NO_x při 11% obsahu O₂. Po přepočítání na 13% obsah O₂ je emisní limitní hodnota obsahu NO_x rovna 211,5 mg·mN⁻³.

VÝSLEDKY A DISKUZE

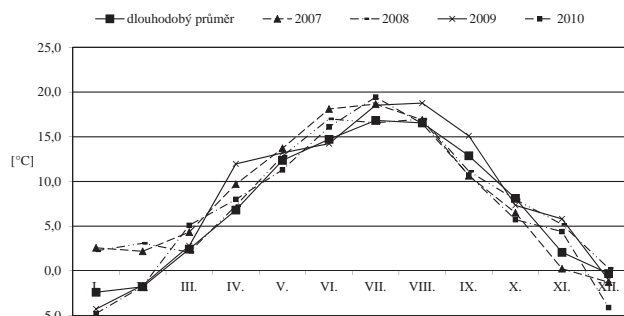
Průběh počasí za sledované období

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 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 (grafy 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.

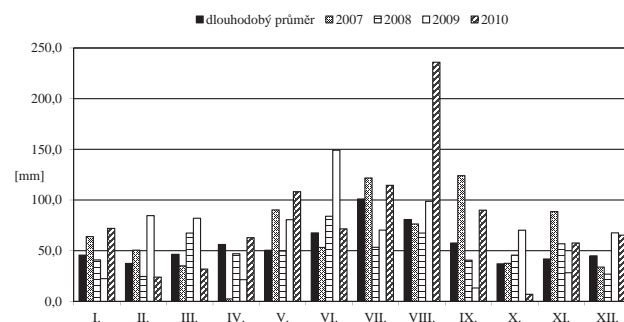
Počasí ve vegetačním období (IV.–X. měsíc) v roce 2009 bylo podle hodnocení WMO v porovnání s dlouhodobým průměrem v Lukavci srážkově normální a teplé, v Průhonicích normální. Porovnání teplot a srážek v roce 2009 s dlouhodobými průměry na daných stanovištích je uvedeno v grafech 1, 2, 3, 4. Za vegetační období byly teploty v Lukavci, resp. v Průhonicích v průměru o 1,1, resp. 0,5 °C vyšší, srážky o 113 mm, resp. 9 (19,5 %) vyšší v porovnání s dlouhodobým průměrem. Mimořádně teplý v Lukavci a silně teplý v Průhonicích byl duben. Teploty v měsících červenci až září byly silně nadnormální. V ostatních měsících vegetačního období byly teploty normální v porovnání s dlouhodobým průměrem. Průběh srážek byl velmi nevyrovnaný. Výrazně nižší srážky v porovnání s dlouhodobým průměrem byly zaznamenány v září i v červenci. Oba tyto měsíce byly srážkově podnormální, teplotně silně teplé. Naopak měsíc květen a červen byl srážkově nadnormální.

Počasí ve vegetačním období (IV.–X. měsíc) v roce 2010 bylo podle hodnocení WMO v porovnání s dlouhodobým průměrem v Lukavci, resp. Průhonicích srážkově silně vlhké a teplotně normální, resp. silně studené. Porovnání průměrných hodnot teplot a srážek v roce 2010 s dlouhodobými průměry na daných stanovištích je uvedeno v grafech 1, 2, 3, 4.

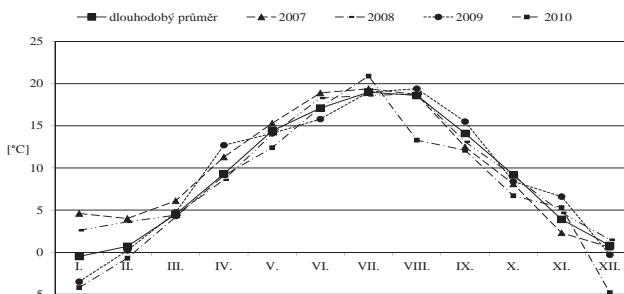
Za období IV.–X. v roce 2010 byly teploty v Lukavci, resp. Průhonicích v průměru o -0,1 °C nižší, srážky o 239,5 (45 %), resp. 138,6 mm (25%) vyšší v porovnání s dlouhodobým průměrem. Silně teplý byl v Lukavci červenec. Studeným mě-



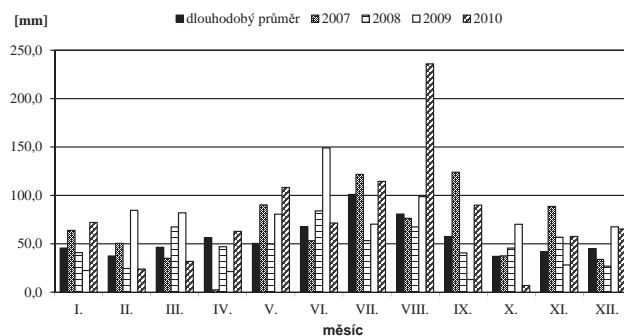
Graf 1 Průběh teplot za sledované období a dlouhodobý průměr teplot na stanovišti v Lukavci



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

sícem v Lukavci bylo září. V ostatních měsících vegetačního období byly teploty normální v porovnání s dlouhodobým průměrem. Průběh srážek byl velmi nevyrovnaný. Výrazně nižší srážky v porovnání s dlouhodobým průměrem byly zaznamenány pouze v říjnu. Velmi bohaté na srážky byly v Lukavci měsíce květen, srpen a září, v Průhonicích červenec až říjen. Mimořádně vlhký, resp. silně vlhký byl v Lukavci, resp. Průhonicích srpen (graf. 2, 4). V Lukavci jen za měsíc srpen spadlo 35,4 % celoročního dlouhodobého průměru.

Ujímavost a procento přežívání

Inventarizace živých jedinců byla v pokusných porostech provedena poprvé na podzim 2007 (po 1. vegetaci). V Lukavci nevyšlo u jednotlivých klonů 6–25 % rostlin a v Průhonicích 5–16 %. V Lukavci měl nejhorší ujímavost (procento přežívání) *Miscanthus × giganteus* původem z Dánska (M2 – 75 %) a nejlepší klony *Miscanthus sinensis* (M3, M5 – 94 %). V Průhonicích vykázal největší ujímavost *Miscanthus sinensis* z Německa (M6 – 95 %) a nejmenší *Miscanthus × giganteus* z Německa (M1) a *Miscanthus sinensis* z Dánska (M5 – 84 %). Rostliny přezimovaly první zimu v podstatě beze ztrát. V následujícím roce byly porosty dosaženy ročními sazenicemi 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 %.

Počet stébel a kvetení

Počet stébel v trsu (jedince) byl hodnocen v jednotlivých letech po jarní slizni. Z výsledků je zřejmý významný rozdíl mezi klony *Miscanthus sinensis* a *Miscanthus × giganteus* (tab. 3). Zatímco klony prvního druhu M3, M5 a M6 vytvářejí kompaktní trsy tenkých stébel (tzv. trstnaté ozdobnice) a například v roce 2010 vytvořily v průměru 102 ks v trsu. Klony druhého genotypu naproti tomu vyvářejí řídké trsy se silnými i vyššími stébly (tzv. výběžkaté ozdobnice). V roce 2010 měly v průměru 40 ks stébel v trsu. Klon M4, který byl v listu původu označován jako *Miscanthus sinensis*, se způsobem růstu podobá spíše klonům *Miscanthus × giganteus* (v roce 2010 měl v průměru 39 stébel v trsu). Rozdíly mezi uvedenými skupinami jsou statisticky průkazné (MP ANOVA provedena v roce 2008 a 2010 – tab. 3). Homogenity rozptylu v roce 2010 bylo dosaženo logaritmováním dat (Levenův test $p=0,204$).

Na stanovišti v Lukavci vytvořily ozdobnice v průměru za 4 roky o 16 % více stébel než v Průhonicích. Je to způsobeno zejména rozdíly v růstu klonů trstnatých ozdobnic. Nejvyšší počet stébel v celkovém průměru však byl zaznamenán v Lukavci i v Průhonicích u klonu M6 (v průměru 59, resp. 63 stébel na rostlinu). Tento klon ve srovnání s ostatními zvýšil výrazně v roce 2010 počet stébel (v průměru na 125, resp. 152 ks na rostlinu), která však byla zřejmě slabší a trpěla poléhavostí při sněhové pokrývce.

U některých klonů se ukazují výrazné rozdíly v počtu stébel

dosažených na jedné a druhé lokalitě, které by mohly ukazovat na rozdílné adaptace a reakce klonů na odlišné stanovištní podmínky pokusných lokalit. Výrazně větší počet stébel vytvořily v Lukavci klony *Miscanthus sinensis* M3 a M5 původem z dánských výběrů oproti Průhonicím, kde zase nejvíce stébel dosáhl klon M6 z výběrů německých. Klony *Miscanthus × giganteus* zase dosahovaly mírně vyššího počtu stébel v Průhonicích.

Kvetení rostlin bylo zaznamenáno již na podzim po založení porostu u některých rostlin ozdobnice čínské (*Miscanthus sinensis*). V Lukavci i v Průhonicích kvetly na podzim klony M3, M5, M6. Bylo zjištěno, že u klonu M3 kvetlo v Lukavci 20 % rostlin, u klonu M5 53 % rostlin, u klonu M6 20 % rostlin. Od druhého roku bylo zaznamenáno 100% kvetení rostlin uvedených klonů na obou lokalitách. U ostatních klonů nebylo doposud v Lukavci zaznamenáno kvetení. V Průhonicích bylo od roku 2010 zaznamenáno kvetení, resp. vytváření květů také u klonů *Miscanthus × giganteus*. Při laboratorní zkoušce byla klíčivá pouze semena klonů *Miscanthus sinensis* (M3, M5, M6) (Severa, Weger, 2010).

Výška rostlin

Průměrné hodnoty výšky jednotlivých klonů při jarní inventarizaci na obou stanovištích v jednotlivých letech uvádí tab. 4. Z výsledků je patrné, že v prvním roce 2007 (v roce založení porostu) nebyly na stanovišti v Lukavci průkazně rozdíle ve výšce porostů při porovnání jednotlivých klonů. Výška v průměru kolísala podle jednotlivých klonů od 0,47 do 0,57 m. V následujícím roce porosty vyrostly v Lukavci v průměru na výšku od 1,74 (klon M2) do 2,34 m (klon M6). Také v roce 2009 vyrostly rostliny ještě výše. Výška rostlin kolísala v tomto roce při jarní inventarizaci v Lukavci, resp. v Průhonicích podle klonů v průměru od 2,24, resp. 2,09 m (klon M3) do 2,59 m, resp. 3,02 m (klon M1). V průměru za všechny klony bylo v roce 2009 dosaženo v Průhonicích výšky 2,60 m, v Lukavci 2,45 m. V roce 2010 byla u všech klonů zaznamenána na obou stanovištích ještě větší výška porostu oproti roku 2009. V průměru za všechny klony bylo v roce 2010 dosaženo v Průhonicích výšky 3,01 m, v Lukavci 2,58 m. V tomto roce byla zjištěna největší průměrná výška na obou stanovištích u klonu M1 (v průměru 3,16 m). Nejmenší výšky dosáhl v tomto roce na obou stanovištích klon M6 (2,37 m) (tab. 4), což je o 0,11 metru méně než v předcházejícím roce. Příčinou poklesu je silné polehnutí tohoto klonu vlivem opakované sněhové pokrývky v průběhu zimního období.

Z výsledků je patrné, že vývoj výšek jednotlivých klonů není obdobný, porovnáme-li jednotlivá léta. Z výsledků je dále patrné, že výška rostlin jednotlivých klonů rostla po letech od založení porostu včetně čtvrtého roku sledování, a že je závislá také na průběhu počasí, na které reagují jednotlivé klony při růstu každoročně odlišně.

Výnosy fytomasy

Průměrný výnos ozdobnic za čtyři sklizně je na obou lokalitách přibližně stejný – 6,46 t(suš.)·ha⁻¹·rok⁻¹ v Lukavci

Tab. 3 Průměrné počty stébel (ks/rostlina) u sledovaných klonů ozdobnice při jarní inventarizaci v Lukavci a Průhonicích (2008–2011)

Stanoviště	Klony ozdobnice						Průměr
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	
Lukavec	4,2	5,0	5,9	5,4	6,4	6,2	5,52
Průhonice	3,4	2,8	3,0	2,5	4,1	4,7	3,42
Průměr 2007	3,8	3,9	4,5	3,9	5,3	5,5	
Lukavec	10,0 ^a	11,2 ^a	45,3^d	12,9 ^a	41,2 ^c	24,9 ^b	24,25
Průhonice	15,1 ^{ab}	13,8 ^a	28,0 ^{bc}	13,9 ^a	30,5 ^c	44,5^d	24,3
Průměr 2008	12,55	12,5	36,65	13,4	35,85	34,7	
Lukavec	26,6	27,4	71,3	49,6	73,9	86,3	55,85
Průhonice	42,5	29,7	31,8	26,4	31,8	69,8	38,67
Průměr 2009	34,6	28,6	51,6	38,0	52,9	78,0	
Lukavec	38,5	38,6	99,0	37,5	107,7	124,5	74,3
Průhonice	42,4	42,1	64,8	41,3	65,7	151,6	67,98
Průměr 2010	40,5^a	40,4^a	81,9^b	39,4^a	86,7^b	138,1^c	

^{a,b,c,d} statisticky průkazné rozdíly hodnot v řádcích (MP ANOVA, test Duncan a MPD $p < 0,05$; homogenita rozptylu Levenův test $> 0,05$)

Tab. 4 Průměrné výšky jedinců (m) sledovaných klonů ozdobnice při jarní inventarizaci v Lukavci a Průhonicích (2008–2010)

Stanoviště	Klony ozdobnice					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Lukavec	0,53	0,55	0,47	0,49	0,57	0,54
Průhonice	neměřeno					
Průměr 2007	0,53	0,55	0,47	0,49	0,57	0,54
Lukavec	1,74	1,74	2,08	1,86	2,24	2,34
Průhonice	neměřeno					
Průměr 2008	1,74	1,74	2,08	1,86	2,24	2,34
Lukavec	2,59	2,45	2,24	2,53	2,51	2,35
Průhonice	3,02	2,56	2,09	2,88	2,41	2,61
Průměr 2009	2,80	2,51	2,16	2,70	2,46	2,48
Lukavec	2,88	2,56	2,47	2,59	2,80	2,22
Průhonice	3,44	3,34	2,57	3,36	2,85	2,53
Průměr 2010	3,16	2,95	2,52	2,97	2,82	2,37

a 6,63 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹ v Průhonicích. Dosažené výnosy u testovaných klonů v jednotlivých letech jsou uvedeny v tab. 5.

Nejvýnosnější za celé sledované období byly v Průhonicích klony *Miscanthus × giganteus* M1 a M2, které dosáhly shodného průměrného výnosu 9,25 t(suš.)/ha/rok. V Lukavci byl kromě klonu M2 (7,83 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹) velmi výnosný také klon M6 (7,26 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹). Nejnižší výnosy dosáhly v průměru klony *Miscanthus sinensis* (M3-M6), ale jejich výnosy se liší podle lokality (viz tab. 5).

Výnosy jednotlivých klonů v průběhu experimentu postupně stoupaly až do 3 roku. Ve čtvrtém roce výnos zvýšily již jen klony *Miscanthus × giganteus* (M2, M1) a klon M4, který byl původně hodnocen jako *Miscanthus sinensis*, ale podle výsledků hodnocení ploidie se jedná o triploid podobně jako *Miscanthus × giganteus* (Severa, Weger, 2010). Výnosy klonů *Mis-*

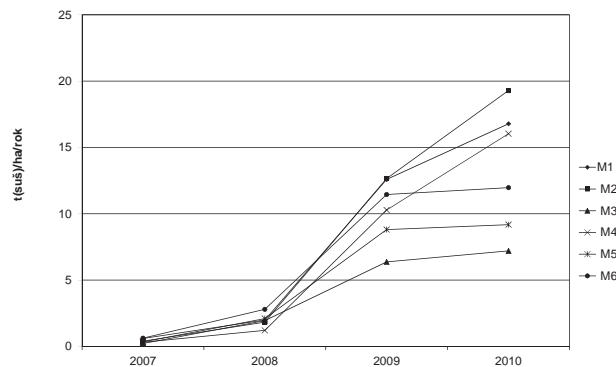
canthus sinensis ve čtvrtém roce již spíše stagnovaly. Rozdíly mezi výnosy klonů v roce 2010 (sklizeň III/2011) jsou statisticky průkazné (MP ANOVA – tab. 5). Homogenity rozptylu bylo dosaženo logaritmováním dat (Levenův test $p=0,1144$). Statistické hodnocení průměrných výnosů za dobu pokusu nemohlo být provedeno z důvodů nehomogenity dat (rozptylu). Dynamika výnosů fytomasy jednotlivých klonů je znázorněna v grafu 5.

V první roce byly výnosy všech klonů nízké, kolísaly v průměru od 0,225 (M3) do 0,622 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹ (M6). Nejvyšší výnos dosáhly některé klony, které byly hodnoceny jako nejlepší i po 4 letech pokusu (M1, M2, M6). V druhém roce všechny klony oproti prvnímu roku výrazně zvýšily výnos sušiny (2–9×), a to na obou lokalitách. Zatímco v Lukavci měly v druhé sklizni nejlepší výnos klony M3 a M5 (výběry z Dán-

ska), v Průhonicích to byly klony M6 a M1 (výběry z Německa). Dosažený průměrný výnos všech klonů v druhém roce růstu na jaře 2009 byl v Lukavci – 1,92 a Průhonicích – 2,04 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹. Nejvyšší výnos přepočtený na sušinu byl na jaře 2009 dosažen u klonu M6 v Průhonicích (3,48 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹). Nárůst výnosů byl zaznamenán u všech sledovaných klonů také na jaře 2010. Klon M3 podobně jako v předchozích letech dal na obou stanovištích nejnižší výnos sušiny fyto­masy (v průměru 6,37 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹).

Nejvýnosnější ze sledovaných klonů byl na obou stanovištích klon M1, kde byl v průměru zaznamenán výnos 12,59 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹ (tab. 5). Při sklizni na jaře 2010 byl v průměru za všechny klony zjištěn podobný výnos sušiny fyto­masy. V Průhonicích byl tento průměrný výnos 10,56 t.ha⁻¹ a v Lukavci 10,16 t.ha⁻¹. Také na jaře roku 2011 byl zaznamenán nárůst výnosů u všech klonů oproti jaru roku 2010. Nejvýnosnější byl v Lukavci klon M2 (v průměru 17,65 t.ha⁻¹ v přepočtu na sušinu), nejméně výnosný klon M3 (8,43 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹). V Průhonicích byl nejvýnosnější klon *Miscanthus × giganteus* (M2), který dosáhl doposud nejvyššího výnosu 20,93 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹. V průměru za všechny klony bylo dosaženo v Lukavci, resp. v Průhonicích výnosu 13,27, resp. 13,56 t(suš.).ha⁻¹.rok⁻¹, což je o 23 %, resp. 28 % více než v předchozím roce 2010.

V SRN 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. Strašil, Jevič (2006), Strašil, Weger (2008).



Graf 5 Dynamika výnosů fyto­masy jednotlivých klonů v průměru z obou lokalit

Tab. 5 Průměrné výnosy sušiny (t.ha⁻¹.rok⁻¹) u sledovaných klonů ozdobnice při jarní sklizni v Lukavci a Průhonicích (2008–2011) při přepočtu na rostlinu

Ukazatel	Stanoviště	Klony ozdobnice					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
2008 – jaro							
Průměrný výnos	Lukavec	0,82	0,44	0,26	0,42	0,35	0,66
	Průhonice	0,39	0,36	0,19	0,23	0,34	0,58
	Průměr	0,61	0,40	0,23	0,33	0,35	0,62
2009 – jaro							
Průměrný výnos	Lukavec	1,58	1,76	2,39	1,33	2,36	2,12
	Průhonice	2,41	1,91	1,51	1,10	1,83	3,48
	Průměr	2,00	1,84	1,95	1,22	2,10	2,80
2010 – jaro							
Průměrný výnos	Lukavec	10,88	11,45	7,68	9,20	10,75	11,00
	Průhonice	14,30	13,16	5,06	11,36	6,86	11,90
	Průměr	12,59	12,31	6,37	10,28	8,81	11,45
2011 – jaro							
Průměrný výnos	Lukavec	13,68	17,65	8,43	13,12	11,48	15,25
	Průhonice	19,89	20,93	5,98	18,95	6,89	8,69
	Průměr	16,79 ^a	19,29 ^a	7,21 ^c	16,04 ^a	9,18 ^{bc}	11,97 ^b
Průměr 2008–2011							
Průměrný výnos	Lukavec	6,74	7,83	4,69	6,02	6,24	7,26
	Průhonice	9,25	9,26	3,19	7,91	3,98	6,16
	Průměr	8,00	8,55	3,94	6,97	5,11	6,71

^{a, b, c, d} statisticky průkazné rozdíly výnosů v roce 2010 (MP ANOVA, test MPD p<0,05; homogenita rozptylu Levenův test > 0,05)

Tab. 6 Porovnání výnosů sušiny (t.ha⁻¹.rok⁻¹) na podzim a na jaře při přepočtu na rostlinu u sledovaných klonů v Lukavci a Průhonicích (2007–2011)

Ukazatel	Rok	M1		M1	M6		M6
		Lukavec	Průhonice	průměr	Lukavec	Průhonice	průměr
Průměrný výnos podzim	2008/2009	3,46	3,16	3,31	3,67	3,38	3,53
	2009/2010	10,58	16,6	13,59	12,95	13,41	13,18
	2010/2011	22,12	23,07	22,59	16,34	15,37	15,86
	průměr	12,05	14,28	13,17	10,99	10,72	10,86
Průměrný výnos jaro	2008/2009	1,58	2,41	1,2	2,12	3,48	2,75
	2009/2010	10,88	14,3	12,59	11	11,9	11,45
	2010/2011	13,68	19,89	16,785	15,25	8,69	11,97
	průměr	8,71	12,2	10,455	9,45	8,02	8,74
Rozdíl t(suš.)	podzim – jaro	3,34	2,08	2,71	1,54	2,70	2,12
Rozdíl (%)	podzim – jaro	27%	15%	21%	14%	25%	20%

Hodnocení výnosů a dalších parametrů při různých termínech sklizně

Při 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, resp. v Průhonicích byly ztráty za sledované období v průměru a u M1 27,3 % u M6 14,0 % a v Průhonicích 15 % a 25 % (tab. 6). Jednou z příčin těchto rozdílů by mohl být drsnější průběh zimního počasí v Lukavci oproti Průhonicím. Na sněhové srážky nadprůměrná zima v Průhonicích způsobila pravděpodobně silné poléhání klonu M6. 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 fytomasy ozdobnice v Lukavci přes zimní období jsou v daném období vyšší než uvádí na tomto stanovišti z dřívějších pokusů s *Miscantus × giganteus* Stražil (1999) – v průměru 30 %.

Zdravotní stav a poškození ozdobnic

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

Zatím nejvážnějším biotickým poškozením testovaných klonů byla poléhavost stébel pod tíhou sněhu přes zimní období, 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 2008, na rozdíl od Průhonic, poléhavost stébel.

V období od 13. 10. do 17. 10. 2009 napadlo na stanovišti v Lukavci cca 30 cm sněhu. Jelikož všechny klony byly v tuto dobu ještě zeleně olistněné, došlo k značnému polehnutí (85–95 %) porostu následujících klonů M3, M5 a M6. U ostatních klonů jsme polehnutí nezaznamenali. Po roztátí sněhu se polehlé klony částečně narovnaly, proto je bylo mož-

no na podzim celkem dobře sklízet. Polehnuté porosty byly však při sklizni vlhčí, v Lukavci měly v průměru o 6,5 % nižší obsah sušiny.

Riziko invazního šíření ozdobnic

V průběhu roku 2009 byl v okolí genového archivu ozdobnic v Průhonicích zjištěn a zdokumentován výskyt generativních potomstev (semenáčů) ozdobnic až do vzdálenosti 80 metrů (Severa, Weger, 2010). Archiv byl založen v roce 2002 jako klonový test širšího sortimentu ozdobnic a dnes slouží také jako matečný porost pro pokusné účely a poprvé byla tvorba semen u některých jedinců zaznamenána ve věku 4 let. V archivu jsou soustředěny zejména genotypy *Miscanthus sinensis*, *M. sacchariflorus* a *M. × giganteus*. Na základě provedeného sledování kvetení, tvorby semen a jejich klíčivosti bylo zjištěno, že se jedná téměř výhradně o potomstva *M. sinensis*, který jako jediný vytváří klíčivá semena. U zbývajících dvou taxonů nebylo kvetení zjištěno nebo semena nebyla klíčivá (Severa, Weger, 2010). Také v našich pokusných porostech (Michovka a Lukavec) bylo ve čtvrtém roce zaznamenáno bohaté kvetení všech genotypů *M. sinensis*, které všechny pocházejí z uvedeného archivu.

Výskyt spontánních kříženců mezi různými druhy a klony ozdobnice čínské (*M. sinensis*) byl dokumentován i v zahraničí, a to zejména v druhově pestrých porostech (genových sbírkách), a to i v oblastech mírného pásma (Scally et al., 2007; UNM, 2011). Možnost invazního šíření ozdobnic v naší krajině by mohl být vážným problémem z hlediska ochrany přírody a české legislativy. Podle zákona o ochraně přírody a krajiny č. 114/1992 Sb. je schopnost invazivního chování důvodem pro zákaz, resp. nepovolení pěstování nepůvodního druhu v krajině.

Riziku invazního chování ozdobnic je třeba věnovat ve výzkumu do budoucna větší pozornost. Za současných znalostí lze proto pro pěstování z hlediska minimalizace rizika invazního šíření doporučit zejména sterilní klony a odrůdy jako je nap. triploidní *M. × giganteus*. V pokusném sortimentu jsou to klony M1, M2 a M4, které jsou současně nejvýnosnější.

Tab. 7 Obsah prvků v rostlinách ozdobnice v různých termínech sklizně

Termín sklizně	Obsah prvků v % sušiny				
	N	P	K	Ca	Mg
Podzim	1,505	0,086	0,631	0,358	0,103
Jaro	0,650	0,079	0,292	0,228	0,086
Průměr	1,078	0,083	0,462	0,293	0,095

Hodnocení palivových vlastností fytomasy ozdobnic

Byla také sledována vhodnost sklizené fytomasy pro spalování, skladování a následné zpracování (briketizaci, peletizaci). Jedním z cílů bylo sledování vlivu termínu sklizně (podzim a jaro) na výnosy, obsah vody a obsah prvků ve fytomase. U ozdobnice se s pozdějším termínem sklizně snižoval výnos fytomasy (tab. 6), klesal obsah prvků ve fytomase (tab. 7) a obsah vody (tab. 8).

Fytomasa ozdobnice není ani koncem listopadu vhodná pro okamžité spalování nebo uskladnění, což je hlavně zapříčiněno vysokým obsahem vody. Při podzimních termínech sklizně je třeba sklizenou fytomasi dosušet, neboť má v průměru kolem 50 % vody (tab. 8). Jarní termín je vhodnější. Z výsledků je patrné, že obsah vody se snižuje se stářím rostlin a je ovlivněn (pokud jsou rostliny sklizeny až na jaře) také zimními mrazy, které rostliny vysuší.

Snížení výnosů fytomasy v porovnání s podzimním termínem sklizně je vyváženo zvýšenou kvalitou paliva (z hlediska technického a tvorby emisí). Při jarním termínu sklizně byl zjištěn nižší obsah prvků při porovnání s podzimním termínem sklizně (tab. 7), což je také výhodné pro samotný proces spalování. Při sklizni na jaře odpadne dosoušení, které je ekonomicky relativně nákladné.

Byl sledován také energetický obsah fytomasy ozdobnice. Energetický obsah se příliš nemění vlivem termínu sklizně, hnojením, stanovištěm (Stražil, 2007). Energetický obsah je hlavně závislý na obsahu vody ve fytomase. Jak se energetický obsah fytomasy ozdobnice zvyšuje se snížením obsahu vody, je znázorněno v grafu 6, ze kterého je patrné, že energetický obsah při spalování je silně závislý na vlhkosti fytomasy. Při vlhkosti 50 % je energetická hodnota pouze 9,97 GJ.t⁻¹ (tab. 8). Při vlhkosti 18 %, vhodné pro přímé spalování ve většině kotlů s nižším výkonem, je spalné teplo 16,21 GJ.t⁻¹, což je

Tab. 8 Vliv termínu sklizně na obsah vody (%) a spalné teplo (MJ.kg⁻¹) u ozdobnice *Miscanthus x giganteus* (průměrné hodnoty)

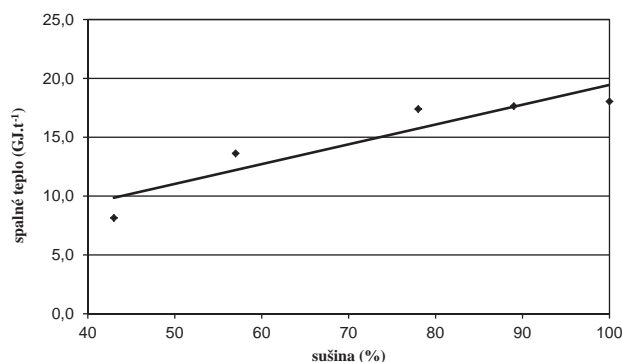
Termín sklizně	Obsah vody	Spalné teplo (MJ.kg ⁻¹)
1. termín	67	5,76
2. termín	50	9,97
3. termín	18	16,21
suchý vzorek	0	18,23

Poznámky:

1 termín sklizně = odběr v době největšího nárůstu fytomasy (srpen–září)

2 termín sklizně na podzim (listopad)

3 termín sklizně po zimním období (konec února, počátek března)



Graf 6 Vliv obsahu vody ve fytomase ozdobnice na spalné teplo

více než u hnědého uhlí horší kvality používaného v našich tepelných elektrárnách.

Emisní a energetické vlastnosti paliva získaného z ozdobnice

Z naměřených hodnot je zřejmé, že palivoenergetické vlastnosti topných briket z ozdobnice sklizené v různých termínech se významně neodlišují (tab. 9). Energetický obsah paliva je závislý hlavně na obsahu vody ve spalované fytomase.

Obsah popela v rostlinách ozdobnice je kolem 5 %, resp. do 6,5 % (tab. 9), což odpovídá hodnotám typickým pro paliva z bylin. Vzájemný poměr prchavé a neprchavé hořlaviny je 3,9 : 1 a je obdobný jako u jiných paliv na bázi bylinné fytomasy (cca 4 : 1). Porovnáme-li termíny sklizně, potom z tabulky 7 je zřejmý pokles obsahu dusíku a dalších prvků oproti hodnotám v materiálu sklizeném na podzim, což je výhodné pro samotný proces spalování a hlavně pro nižší tvorbu emisí NO_x. Hodnoty odpovídají i výsledkům, kdy byly při polních pokusech v závislosti na lokalitě, hnojení a termínu sklizně zjišťovány obsah vody, chloru a prchavé hořlaviny (Lewandowski, Kicherer, 1997). Uvádí se zde, že ozdobnice je velmi dobrým palivem ve srovnání s jinými lignocelulozovými rostlinami. Odklad sklizně do jara příštího roku má pozitivní vliv na kvalitu biomasy, snižuje se obsah vody i minerálních prvků.

Teplota tavení je poměrně nízká (tab. 10), což je negativní vlastnost paliv, která jsou z tohoto materiálu vytvořena. U topných briket, kde se předpokládá průběžná obsluha kotle, nemusí být nízká teplota tavení na závadu, negativně se však zřejmě projeví při spalování topných pelet v automatických kotlích. Při použití ozdobnice pro výrobu pelet bude zřejmě vhodné tento materiál kombinovat s jinou fytomasou,

Tab. 9 Palivoenergetické parametry topných briket na bázi ozdobnice sklizené ve dvou termínech sklizně z let 2007 a 2008

Palivo	Rok	Voda %	Popel %	Prchavá hořlavina %	Neprchavá hořlavina %	Spalné teplo MJ/kg	Výhřevnost MJ/kg
Brikety	2007	6,29	6,42	70,00	17,29	17,65	16,38
<i>Miscanthus</i> – jarní sklizeň	2008	6,38	5,81	69,93	17,88	17,41	16,22
Brikety	2007	6,18	4,62	71,35	17,85	17,81	16,49
<i>Miscanthus</i> – podzimní sklizeň	2008	6,21	5,22	70,57	17,99	17,85	16,53

Tab. 10 Vlastnosti popelů topných briket na bázi ozdobnice sklizené ve dvou termínech sklizně z let 2007 a 2008

Palivo	Rok	t_A °C	t_B °C	t_C °C
Brikety	2007	720	780	1040
<i>Miscanthus</i> – jarní sklizeň	2008	710	770	1060
Brikety	2007	700	780	1050
<i>Miscanthus</i> – podzimní sklizeň	2008	710	780	1040

čímž bude dosaženo zvýšení teploty tavení popela. Výskyt problémů se spékáním popela při spalování paliv na bázi travin uvádí také např. Slavík a kol. (2006).

Dále byly stanoveny emisní parametry vytvořených paliv z ozdobnice na vybraných spalovacích zařízeních (tab. 12, 13). Pro měření emisí ve spalínách byl použit analyzátor Testo 350 XL. Naměřené hodnoty CO byly pak přepočteny na 13% obsah kyslíku a porovnány s normou ČSN EN 13229, jejíž požadavky jsou uvedeny v tabulce 11. Pro porovnání byly vzaty jako standardní palivo dřevěné brikety z hoblin a pilin. Jedná se o komerční výrobek Turbohard (výrobce BIOMAC, s. r. o.). Průměr briket je 90 mm, délka je 280 mm. Ve vybraných spalovacích zařízeních byly pro srovnání spalovány rovněž standardní topné pelety ze dřeva.

Z měření emisí vyplývá, že kvalita průběhu hoření, která je charakterizovaná obsahem CO ve spalínách, je u briket z obou materiálů z různých termínů sklizně obdobná. Z tabulky 12 je zřejmé, že nejsou rozdíly v emisích CO při spalování briket z ozdobnice sklizené na jaře a na podzim. Výrazně nižší jsou však emise NO_x . Při srovnání s emisemi dřevěných briket jsou tyto oproti emisím z ozdobnice nižší. Přesto však topné pelety z ozdobnice splňují emisní normy CO i NO_x . Tyto závěry odpovídají i dřívě zjištěným hodnotám, kdy ozdobnice jako palivo ve formě hranatých balíků byla zkoušena v kotli pro spalování slámy spolu s energetickým štovíkem, chrasticí a křídlatkou (Hutla et al., 2005). Emise CO zcela zásadně závisí na druhu rostliny, přičemž u ozdobnice byly zjištěny výrazně vyšší hodnoty oproti obilní slámě a křídlatce. Srovnatelné hodnoty byly naměřeny u paliva z chrasticí.

Při spalování pelet z ozdobnice v kamnech KNP docházelo ke spékání popela v takové míře, že po cca 20 min. byl přerušen jejich provoz. Průběh spalovacího procesu byl nestabilní, což se projevilo ve vysokém obsahu emisí CO. Obdobné výsledky byly zjištěny při spalování travin ve formě topných briket v kotli malého výkonu, kdy především emise paliva vytvořené z ovsíku vyvýšeného několikrát převyšovaly hodnoty dosahované u standardních paliv ze dřeva (Andert a kol., 2006).

Rovněž při spalování pelet v automatické kotli A 25 docházelo ke spékání popela. Jelikož konstrukce roštu umožňuje jeho částečné rozrušení a odstranění, nedošlo k úplnému přerušení provozu. Spalování však muselo být kontrolováno a není možný trvalý automatický provoz. Hodnoty koncentrace NO_x byly při použití kotle A 25 výrazně vyšší při spalování pelet vytvořených z podzimní sklizně oproti peletám ze sklizně jarní (tab. 13). Opět je zde potvrzena závislost koncentrace emisí NO_x na obsahu dusíku v palivu a možnost ovlivnění tohoto parametru s přínosem pro ekologii. Při použití kamen KNP nebylo možno provést seriózní měření vlivem již zmíněného spékání popela a nestability spalovacího procesu.

Obecným závěrem při použití biopaliv vytvořených z ozdobnice je nevhodnost tohoto paliva v těch případech, kdy je kritickou vlastností spékání popela vlivem jeho nízké teploty tavení, tj. při automatickém provozu. Řešením je zřejmě použití ve směsném biopalivu s jiným materiálem, ať již fytomasou, nebo např. s uhelnými aditivami.

Tab. 11 Třídy emisí oxidu uhelnatého pro lokální spotřebiče na pevná paliva podle ČSN EN 13229

Třída CO spotřebiče	Spotřebiče s uzavřenými dvířky
	Mezní hodnoty tříd emisí CO (při 13 % O_2) %
Třída 1	≤ 0,3
Třída 2	> 0,3 ≤ 1,0

Tab. 12 Emisní parametry topných briket vytvořených z ozdobnice z různých termínů sklizně na vybraných spalovacích zařízeních

Palivo	Spalovací zařízení	CO mg.m ⁻³	NO _x mg.m ⁻³
Ozdobnice – jarní sklizeň	SK-2	2 791	83
Ozdobnice – podzimní sklizeň	SK-2	2 702	128
Turbohard	SK-2	1 905	67
Ozdobnice – jarní sklizeň	V 25	923	102
Ozdobnice – podzimní sklizeň	V 25	861	168
Turbohard	V 25	701	107

Tab. 13 Emisní parametry topných pelet vytvořených z ozdobnice z různých termínů sklizně na vybraných spalovacích zařízeních

Palivo	Spalovací zařízení	CO mg.m ⁻³	NO _x mg.m ⁻³
Ozdobnice – jarní sklizeň	KNP	2 820	210
Ozdobnice – podzimní sklizeň	KNP	1 934	238
Turbohard	KNP	335	222
Ozdobnice – jarní sklizeň	A 25	398	178
Ozdobnice – podzimní sklizeň	A 25	450	240
Turbohard	A 25	210	230

ZÁVĚR

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

1. Vzcházivost a procento přežívání testovaných klonů bylo kromě klonu M4 uspokojivé. Průběh zimního počasí byl však velmi příznivý pro přežívání oddenků a mladých rostlin.
2. Po čtyřech letech hodnocení je možné konstatovat, že pokus plní svůj metodický cíl – byly nalezeny rozdíly ve sledovaných ukazatelích (výnos, počet stébel, výška rostlin) mezi klony i lokalitami.
3. Mezi testovanými klony ozdobnic *Miscanthus sinensis* a *Miscanthus × giganteus* jsou výrazné rozdíly v tvorbě stébel – první mají trsnatý růst s mnoha tenkými stéblky a druhé jsou spíše oddenkaté s nižším počtem silných stébel.
4. Nejvýnosnější za celé čtyřleté období byly v Průhoncích klony *Miscanthus × giganteus* M1 a M2, které dosáhly shodného průměrného výnosu 9,25 t(suš.)/ha/rok. V Lukavci byl kromě klonu M2 (7,83 t(suš.)/ha⁻¹.rok⁻¹) velmi výnosný také klon M6 (7,26 t(suš.)/ha⁻¹.rok⁻¹).
5. Ztráty fytomasy ozdobnice při jarní sklizni oproti sklizni podzimní byly 21 % v průměru za celé sledované období.
6. Pro minimalizaci rizik invazního šíření ozdobnic do krajiny můžeme doporučit používat klony *M. × giganteus*. U tohoto taxonu se oddenky příliš nerostají, rostliny nevytvářejí zralá semena, která by se mohla nechtěně šířit do krajiny.

7. Palivové vlastnosti má ozdobnice srovnatelné s dalšími lignocelulózními energetickými plodinami (spalné teplo suché fytomasy je v průměru 18,23 MJ.kg⁻¹). Obsah popela v rostlinách ozdobnice je kolem 5%.
8. Teplota tavení fytomasy ozdobnice je poměrně nízká, což se negativně projevilo při ověřování paliv (pelet, briket) ve vybraných malých spalovacích zařízeních, neboť docházelo k spékání popela. Nebyly zjištěny podstatné rozdíly v emisích CO při spalování ozdobnice sklizené na jaře a na podzim. Výrazně nižší byly však emise NO_x při spalování fytomasy z jarní sklizně. Proto je vhodné ověřit vhodnost spalovacího zařízení pro spalování ozdobnice.
9. Pro produkci biomasy k energetickým účelům v podmínkách ČR je možno na základě výsledků našeho hodnocení doporučit klony M1, M2 a M4 (*Miscanthus × giganteus*), které budou sklizeny v průběhu nebo lépe na konci zimního období.

Ozdobnice se jeví jako perspektivní rostlina pro energetické využití nejen v teplejších oblastech. Při jejím pěstování je možno využít mnoha výhod jako je dosahování každoročních vysokých výnosů sušiny fytomasy, vysoce efektivní využívání vody, vysoce efektivní využívání živin včetně dusíku, sklizeň běžně používanými sklizňovými mechanizmy apod. Naše dosavadní výsledky jsou obdobné jako výsledky uváděné v zahraničí.

Poděkování

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

LITERATURA

- Andert, D., Juchelková, D., Frydrych, J. (2006): Spalování travin. In Zemědělská technika a biomasa 2006, Praha, VÚZT, s. 15–19.
- Bullard, M. J. (2001): Economics of *Miscanthus* production. In Jones, M. B. - Walsh, M. [eds] *Miscanthus for energy and fibre*. James & James Ltd, London, 192 p.
- Clifton-Brown, J. C., Neilson B., Lewandowski, I., Jones, M. B. (2000): The modelled productivity of *Miscanthus* × *giganteus* (GREEF at DEU) in Ireland. *Industrial Crops and Products*, vol. 12, p. 97–109.
- Clifton-Brown, J. C., Stampfl, P. F, Jones, M. B. (2004): *Miscanthus* biomass productivity for energy in Europe and potential contribution to decreasing fossil fuel carbon emissions. *Global Change Biology*, vol. 10, p. 509–518.
- Eiland, F., Leth, M., Klamer, M., Lind, A. M., Jensen, H. E. K., Iversen, J. J. L. (2001): C and N turnover and lignocellulose degradation during composting of *Miscanthus* straw and liquid pig manure. *Compost Science and Utilization*, vol. 9, no. 3, p. 186–196.
- Frydrych, J., Cagaš, B., Machač, J. (2001): Energetické využití některých travních druhů. *Zemědělské informace ÚZPI*, č. 23, 34 s.
- Harvey, J. J. (1994): Progress in commercial development of *Miscanthus* in England. In European conference on biomass for energy, environment, agriculture and industry. Book of Abstracts from International Conference. Vienna, Austria, October 1994, p. 195.
- Havlíčková, K., Knápek, J., Stražil, Z. (2009): Metodika ekonomického hodnocení pěstování víceletých energetických plodin. Certifikovaná metodika č. 6/2009-057 pro Energetický regulační úřad, VÚKOZ Průhonice, 25 s.
- 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.
- Hůla, J., Procházková, B. (2002): Vliv minimalizačních a půdoochranných technologií na plodiny, půdní prostředí a ekonomiku. *Zemědělské informace ÚZPI*, č. 3, 103 s.
- Hutla, P., Jevič, P., Mazancová, J., Plíštil, D. (2005): Emission from energy herbs combustion. *Res. Agr. Eng.*, vol. 51, no. 1, p. 28–32.
- Christian, D. G., Yates, N. E., Riche, A. B. (2005): Establishing *Miscanthus sinensis* from seed using conventional sowing methods. *Industrial Crops and Products*, 21, p. 109–111.
- Kára, J., Stražil, Z., Hutla, P., Ušák, S. (2005): Energetické rostliny, technologie pro pěstování a využití. VÚZT Praha-Ruzyně, 81 s.
- Kavka, M. a kol. (2006): Normativy pro zemědělskou praxi. ÚZPI, Praha, 376 s.
- Lewandowski, I., Kircherer, A., Vonier, P. (1995): CO₂ – balance for the cultivation and combustion of *Miscanthus*. *Biomass and Bioenergy*, vol. 8, p. 81–90.
- Lewandowski, I., Kicherer, A. (1997): Combustion quality of biomass: practical relevance and experiments to modify the biomass quality of *Miscanthus* × *giganteus*. *European Journal of Agronomy*, vol. 6, no. 3–4, p. 163–177.
- Loeffel, K., Nentwig, W. (1997): Ecological assessment of the cultivation of *Miscanthus sinensis* by faunistic investigations. *Agrarökologie*, vol. 26, 133 p.
- McCarthy, S. (1994): European *Miscanthus* network. In European conference on biomass for energy, environment, agriculture and industry. Book of Abstracts from International Conference. Vienna, Austria, October 1994, p. 28–29.
- Papatheofanous, M. G., Koukis, E. G. (1996): Characterization of *Miscanthus sinensis* Potential as an Industrial and Energy Feedstuck. In Abstracts from 9th European Bioenergy Conference and 1st European Energy from Biomass Technology Exhibition. 24-27 June, 1996, Copenhagen, Denmark, p. 136.
- Raus, A., Šabatka, J. (1999): Vliv půdoochranného zpracování půdy na půdní organickou hmotu. (The Effect of Soil Protection Treatment on Soil Organic Matter) *Úroda*, roč. 47, č. 6, s. 16–17.
- Scally, L., Hodkinson, T. et Jones, M. B. (2007): Origin and Taxonomy of *Miscanthus*. In Jones, B. M., Walsh, M. [eds.], *Miscanthus for Energy and Fibre*, 2nd edition. Earthscan, London, p. 1–20.
- Semere, T., Slater, F. M. (2007): Ground flora, small mammal and bird species diversity in giant miscanthus (*Miscanthus* × *giganteus*) and reed canary grass (*Phalaris arundinacea*) fields. *Biomass and Bioenergy*, vol. 31, no. 1, p. 20–29.
- Severa, M., Weger, J. (2010): Potvrzení generativního šíření vybraných druhů ozdobnic (*Miscanthus* sp.) v přírodních podmínkách České republiky. *Acta Pruhoniana*, č. 96, s. 75–78.
- Slavík, J., Hutla, P., Pastorek, M. (2006): Vlastnosti topných briket z biomasy travních porostů. In Zemědělská technika a biomasa, VÚZT, Praha, s. 15–19.
- Stražil, Z. (1999): Production of above-ground biomass in *Miscanthus sinensis* in the Czech Republic. *Rostl. Vyr.*, roč. 45, č. 12, s. 539–543.
- Stražil, Z. (2007): Study of *Miscanthus sinensis* – source for energy utilization. Proceedings of the International

Conference from 15th European Biomass Conference and Exhibition from Research to Market Deployment. Berlin, 7-11 May 2007, p. 824–827.

Stražil, Z. (2007): Vliv stanoviště a některých agrotechnických opatření na obsah popele a energetický obsah fytohmoty vybraných plodin. In Sborník příspěvků z 29. Mezinárodního českého a slovenského kalorimetrického semináře, hotel Medlov, Českomoravská vrchovina, 28. 5.–1. 6. 2007, s. 151–154.

Stražil, Z., Jevič, P. (2006): Ověřování ozdobnice čínské – zdroje fytohmoty pro energetické a průmyslové využití. 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 of 10th European Conference and Technology Exhibition „Biomass for Energy and Industry“. Würzburg, Germany, 8-11 June, 1998, p. 947–950.

UNM (2011): dostupný na [www http://miscanthus.cfans.umn.edu/](http://miscanthus.cfans.umn.edu/)

Venturi, P., Huisman, W., Atzema, A. (1997): The effect of harvest methods of *Miscanthus × giganteus* on available harvest time. In Book of abstracts from International conference „Sustainable Agriculture for Food, Energy and Industry, Braunschweig, June, 1997, p. 45.

Venturi, P., Huisman, W., Molenaar, J. A. (1998): The effect of harvest of *Miscanthus × giganteus* on available harvest time. In Sustainable agriculture for food, energy and industry. Proceedings of the International conference, Braunschweig, Germany, June 1997, James & James (Science publishers) Ltd, London, p. 819–824.

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

Weger, J., Stražil, Z. (2009): Hodnocení polního pokusu s ozdobnicemi (*Miscanthus* sp.) po dvou letech růstu na různých stanovištích. Acta Pruhonicensia, č. 92, s. 27–34.

Werf, van der H. M. G., Meijer, W. J. M., Mathijssen, E. M. J. M., Darwinkel, A. (1993): Potential dry matter production of *Miscanthus sinensis* in the Netherlands. Industrial Crops and Products, vol. 1, p. 203–210.



Obr. 3 Poléhavost klonu M6 (*Miscanthus sinensis*) způsobená opakovanou sněhovou pokrývkou v porostu v Průhonících. Vpravo klon M1 (*Miscanthus × giganteus*) před čtvrtou jarní sklizní (III/2011, foto J. Weger)



Obr. 4 Pokusný porost ozdobnic v Lukavci v průběhu třetí sezony (VIII/2009; foto J. Weger)

Rukopis doručen: 11. 3. 2011

Přijat po recenzi: 21. 3. 2011

PĚSTOVÁNÍ KUKUŘICE K ENERGETICKÝM ÚČELŮM

MAIZE GROWING FOR ENERGETIC PURPOSES

Jiří Diviš

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, katedra rostlinné výroby a agroekologie, Studentská 13, 370 05 České Budějovice, divis@zf.jcu.cz

Abstrakt

V nadmořské výšce 380 m a 620 m byly založeny pokusy se silážním hybridem kukuřice Latizana a hybridem pro energetické účely Atletico. Zvolená hustota porostu 100 000 rostlin/ha. Dusík aplikován v dávce 100 kg/ha⁻¹. Hodnocen byl výnos biomasy, obsah sušiny a výnos sušiny. Na obou stanovištích byl dosažen výnos sušiny na úrovni výsledků státních odrůdových zkoušek ÚKZÚZ (380 m – Atletico 16,1 t/ha⁻¹, Latizana 14,1 t/ha⁻¹, 620 m – Atletico 18,5 t/ha⁻¹, Latizana 16,1 t/ha⁻¹). Dosažené výsledky ukázaly na možnost dosažení vysokého a ekonomického výnosu biomasy i ve vyšší nadmořské výšce. Ve vyšší nadmořské výšce může být problém s dosažením požadovaného obsahu sušiny v biomase. Výsledky ukázaly na problém s dosažením vhodného obsahu sušiny biomasy na podzim a snížení výnosu sušiny při jarní sklizni pro možnost spalování biomasy. Při sklizni na jaře došlo k poklesu výnosu sušiny u hybridu Atletico o 4,9 t/ha⁻¹ (380 m) a 6,1 t/ha⁻¹ (620 m) a u hybridu Latizana o 3,6 t/ha⁻¹ (380 m) a 4,8 t/ha⁻¹ (620 m).

Klíčová slova: kukuřice, výnos biomasy, obsah sušiny, výnos sušiny

Abstract

Field experiments with maize hybrids (FAO 300) assigned for silage purposes (cv. Latizana) and for energy purposes (cv. Atletico) were conducted on two experimental sites with different altitudes (380 and 620 m) in 2008–2010. The used crop density was 100,000 plants ha⁻¹. The nitrogen was applied in dose of 100 kg ha⁻¹. The parameters such as yield of biomass, content of dry matter and yield of dry matter were evaluated for the experiment. The yield of dry matter were on both experimental sites comparable with the results of ÚKZUZ cultivar tests (380 m – yield of dry matter – Atletico 16.1 t/ha⁻¹, Latizana 14.1 t/ha⁻¹, 620 m – yield of dry matter – Atletico 18.5 t/ha⁻¹, Latizana 16.1 t/ha⁻¹). The results of the field experiment showed the possibility of high and economically favourable yield of maize biomass production in higher altitude. However, the higher altitude can also cause problems with production of required content of dry matter in maize biomass. The field experiments showed the problems with obtaining of suitable maize dry matter content in autumn and reduce yield dry matter in spring for maize biomass burning. At harvest in spring got decline yield of dry matter at hybrid Atletico about 4.9 t/ha⁻¹ (380 m) and 6.1 t/ha⁻¹ (620 m) and at hybrid Latizana about 3.6 t/ha⁻¹ (380 m) and 4.8 t/ha⁻¹ (620 m).

Key words: maize, biomass yield, dry matter content, dry matter yield

ÚVOD

V podmínkách České republiky patří kukuřice mezi plodiny s nejvyšším produkčním potenciálem celkové sušiny. Při využití kukuřice k energetickým účelům lze sušinu přeměnit na energii využitím kukuřičné siláže na výrobu bioplynu nebo spalováním biomasy po úpravě sušiny. Spalování biomasy kukuřice je nejjednodušší způsob přeměny na tepelnou energii. Náročná je úprava sušiny biomasy – sušení biomasy nebo zmrazení porostu s následnými ztrátami sušiny (Diviš, 2009). Kukuřice na výrobu bioplynu ze siláže musí být zdrojem levné energie (Diviš, Kajan, 2010). Vedle tradičních bioplynových stanic navazující na čistírny odpadních vod nebo na využití odpadů se budují bioplynové stanice zemědělského typu, kde substrátem je vypěstovaná a konzervovaná biomasa (Petříková, 2008). Při pěstování kukuřice k energetickým účelům na výrobu bioplynu nejde o vysoký podíl paliv v biomase při optimálním obsahu sušiny 28–32 % (Prokop, 2008). Podle Prokeše (2011) se dnes za ideální obsah sušiny pro bioplynové stanice považuje 32–35 %. Pro výrobu bioplynu musí

být biomasa o stejném obsahu sušiny tvořena sušinou snadno degradovatelnou na bioplyn (Havlíčková a kol., 2008). Bioplyn je produkt anaerobního rozkladného procesu, při kterém vzniká bioplyn s obsahem cca 50–60 % metanu (Zachová, 2010) a fermentační zbytek – digestát s využitím jako významné dusíkaté hnojivo polních plodin (Lošák, 2011). V programech šlechtitelských firem je i „energetická kukuřice“ s vysokým výnosovým potenciálem, kdy dnes nejnovější energetické hybridy mají výnosový potenciál 23 t/ha⁻¹ sušiny snadno degradovatelné na bioplyn (Prokeš, 2011). Energetický potenciál kukuřice, který dosahuje kolem 320 000 MJ/ha⁻¹, je až o třetinu vyšší v porovnání s ostatními obilninami. Právě tato energetická výhodnost je důvodem využívání kukuřičné biomasy konzervované ve formě siláže jako nosného substrátu pro výrobu bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích. V současné době je na pěstitele, jak v rámci půdních a klimatických podmínek dovede využít výnosového potenciálu současných hybridů kukuřice vhodných k využití k energetickým účelům.

Pěstitelské plochy a výnosy kukuřice na siláž v ČR

Podle statistické ročenky České republiky poklesly plochy kukuřice na siláž od roku 1990 do roku 2010 více jak o polovinu, a to z 381 525 hektarů na 176 732 hektarů v roce 2010. Přestože průměrný výnos biomasy vzrostl za uvedenou dobu cca o 8 tun z 1 hektaru, tak celková produkce klesla přibližně o 40 %. Pokles ploch kukuřice na siláž je ovlivněn výrazným poklesem stavu skotu v ČR.

Mírný nárůst průměrných výnosů kukuřice na siláž v po-

Plocha a výnos kukuřičné siláže v ČR (Statistická ročenka)

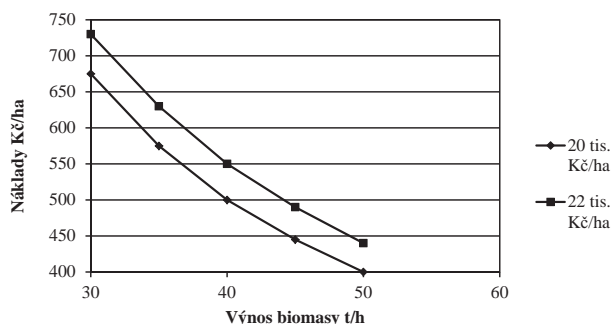
Rok	1990	2000	2005	2007	2010
Plocha ha	381 525	232 407	210 565	180 481	176 732
Výnos t.ha ⁻¹	27,62	33,13	35,69	34,40	34,80
Celkem mil. tun	10,538	7,700	7,515	6,208	6,150

Výsledky zkoušek ÚKZÚZ u hybridů kukuřice k silážním účelům (výnos sušiny t.ha⁻¹)

Rok	Velmi raný sortiment	Raný sortiment	Středně raný sortiment	Středně pozdní sortiment
2009	19,8	22,5	21,0	19,7
2010	16,2	17,4	18,7	18,5

Zdroj: www.ukzuz.cz

účelům. Čím vyšší bude dosažený výnos biomasy, tím nižší budou náklady na jednotku produkce. V současné době při pěstování kukuřice na siláž jsou uváděny náklady v rozmezí 20–22 tis. Kč.ha⁻¹. Závislost ceny tuny kukuřičné siláže na výnosu je uvedena v následujícím grafu.



Graf Náklady na 1 tunu biomasy silážní kukuřice

MATERIÁL A METODIKA

Pro porovnání výnosu biomasy, obsahu sušiny a výnosu sušiny byly v roce 2008–2010 založeny pokusy se dvěma hybridy kukuřice: ATLETICO – středně raný hybrid určený k energetickým účelům a LATIZANA – středně pozdní hybrid – stay green silážní hybrid s možností využití k energetickým účelům. Oba hybridy byly pěstovány na dvou různých lokalitách, a to v nadmořské výšce 380 m (České Budějovice) a 620 m (Lukavec). Hustota porostu byla 100 000 jedinců.ha⁻¹, řádky 750 mm, 4 opakování u každého hybridu. Před

sledních 10 letech je dán hlavně nabídkou nových hybridů s vyšším výnosovým potenciálem a částečně s poklesem ploch je věnovaná větší péče agrotechnice. Přesto při porovnání průměrných výnosů sušiny s výsledky dosahovanými ve státních odrůdových zkouškách ÚKZÚZ jsou vidět rezervy ve využití výnosového potenciálu současných hybridů pro zvyšování produkce biomasy a sušiny.

Stabilní a vysoké výnosy biomasy jsou základním předpokladem ekonomického pěstování kukuřice k energetickým

setím byla aplikovaná jednorázová dávka dusíku – 150 kg N.ha⁻¹ (hnojivo Ureastabil). Sklizeň kukuřice byla provedena ve třech termínech. První termín – sklizeň při optimálním obsahu sušiny 28–34 %. Druhý termín po zmrznutí na podzim a třetí termín sklizeň v časném jaru po zimním období (únor, březen). Druhý a třetí termín sklizeň má ukázat na změny v obsahu sušiny v biomase a výnosu sušiny ve vztahu k možnosti spalování biomasy.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Dosažené výsledky prokázaly poměrně silnou reakci kukuřice na podmínky průběhu počasí v ročníku. Dosažený výnos sušiny a biomasy za období 3 let v I. termínu sklizeň – sklizeň s požadovaným obsahem sušiny pro silážování – je u obou hybridů dosaženo téměř stejného výnosu sušiny, které u skupiny středně raných hybridů na siláž uvádí ÚKZÚZ. Potvrzuje to údaj uváděný Divišem a Kajanem (2010), že kukuřice může být, a je zdrojem levné energie. Při porovnání výnosu biomasy s údaji Statistické ročenky je v pokusech dosažen vyšší výnos biomasy silážní kukuřice o více jak 40 %, a ukazuje to na rezervy v pěstitelské praxi ve využití výnosového potenciálu současných hybridů kukuřice. Na stanovišti s nižší nadmořskou výškou (České Budějovice) je dosahován požadovaný obsah sušiny, který uvádí Prokop (2008) v polovině září. V nadmořské výšce 620 m (Lukavec) se obsah sušiny, který uvádí Prokop (2008), dosahuje výrazně opožděnou sklizní, kdy již je nebezpečí poškození rostlin kukuřice mrazem. Na obou stanovištích není dosažen obsah sušiny, který uvádí a doporučuje Prokeš (2011). Ve vyšší nadmořské výšce

je pak na zvážení, zdali je vhodné ve vztahu k riziku zmrznutí porostů kukuřice před sklizní volit ze středně rané skupiny hybridů kukuřice, ale volit hybridy s kratší vegetační dobou (Havlíčková, 2008; Zachová, 2010) a tak zabezpečit požadovaný obsah sušiny pro vysokou produkci bioplynu. Při porovnání výsledků u zvolených hybridů Atletico a Latizana dosažených v nadmořské výšce 380 m a 620 m jsou rozdíly minimální s trendem lepších výsledků u hybridu Atletico. Výsledky II. a III. sklizně zaměřené na možnost využití biomasy kukuřice na spalování jsou ve shodě s názorem Diviše (2009) a ukazují, že vhodného obsahu sušiny je možné dosáhnout teprve v jarním období s poměrně výraznou ztrátou na výnosu sušiny a je diskutabilní perspektivnost využití biomasy kukuřice ke spalování. Zde se mohou projevit i další problémy jako např. vysoká prašnost a nebezpečí alergií.

ZÁVĚR

Výsledky dosažené v pokusech ukázaly na možnosti využití výnosového potenciálu hybridů kukuřice. Při pěstování kukuřice na bioplyn je vhodné se orientovat na energetické hybridy.

V nadmořské výšce 380 m byl u zvolených hybridů kukuřice, které patří do skupiny středně raných hybridů, dosažen požadovaný obsah sušiny v termínu sklizně, kdy nebezpečí poškození porostů mrazem je minimální. Potvrdila se možnost dosahovat vysokých výnosů biomasy a sušiny i ve vyšší nadmořské výšce. Zde je nutné ve vztahu k dosažení požadovaného obsahu sušiny volit hybridy s kratší vegetační dobou, a tím i s nižším výnosovým potenciálem. Při hodnocení možnosti využití biomasy ke spalování se prokázalo, že ke ztrátě vody

Výnos biomasy t.ha⁻¹ – České Budějovice

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
2008	51,7	49,2	32,5	31,7	11,2	10,6
2009	58,8	51,3	48,5	44,7	15,7	15,4
2010	46,2	40,1	37,9	33,1	14,5	14,0
průměr	52,2	46,9	39,6	36,5	13,8	13,3

Výnos biomasy t.ha⁻¹ – Lukavec

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
2008	65,2	66,1	24,3	17,5	-	-
2009	69,3	66,1	51,8	48,0	18,4	16,8
2010	47,9	46,6	40,1	39,1	14,7	13,7
průměr	60,8	59,6	38,7	34,8	16,5	15,2

Obsah sušiny % – České Budějovice

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
2008	29,4	30,5	34,2	35,5	81,1	80,2
2009	31,3	31,5	36,1	35,7	78,5	78,0
2010	28,6	28,1	34,2	33,7	76,5	78,0
průměr	29,8	30,0	34,8	34,9	78,7	78,7

Obsah sušiny % – Lukavec

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
2008	30,8	26,5	43,4	37,7	-	-
2009	30,9	26,5	35,5	35,6	77,3	78,8
2010	29,7	28,9	34,4	33,8	72,5	69,6
průměr	30,5	27,3	37,8	35,7	74,9	74,2

Výnos sušiny t.ha⁻¹ – České Budějovice

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
2008	15,2	15,0	11,1	11,2	9,1	8,5
2009	18,4	16,1	17,5	15,9	12,3	12,0
2010	14,9	11,3	13,0	11,1	11,1	10,9
průměr	16,1	14,1	13,9	12,7	11,2	10,5

Výnos sušiny t.ha⁻¹ – Lukavec

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
2008	20,1	17,5	10,5	6,6	-	-
2009	21,4	17,5	18,3	17,0	14,2	13,2
2010	14,2	13,5	13,8	13,2	10,6	9,5
průměr	18,5	16,1	14,2	12,3	12,4	11,3

Výnos biomasy t.ha⁻¹, obsah sušiny %, výnos sušiny t.ha⁻¹ – České Budějovice 2008–2010

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
Výnos biomasy	52,2	46,9	39,6	36,5	13,8	13,3
Obsah sušiny	29,8	30,0	34,8	34,9	78,7	78,73
Výnos sušiny	16,1	14,1	13,9	12,7	11,2	10,5

Výnos biomasy t.ha⁻¹, obsah sušiny %, výnos sušiny t.ha⁻¹ – Lukavec 2008–2010

Rok	I. termín sklizně		II. termín sklizně		III. termín sklizně	
	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana	Atletico	Latizana
Výnos biomasy	52,2	46,9	39,6	36,5	13,8	13,3
Obsah sušiny	29,8	30,0	34,8	34,9	78,7	78,73
Výnos sušiny	16,1	14,1	13,9	12,7	11,2	10,5

z biomasy dochází teprve v průběhu zimy a sklizeň biomasy pro spalování přichází teprve v jarním období. Výsledky ukazují na výraznou ztrátu sušiny během zimního období do jarního termínu sklizně a na neperspektivnost spalování biomasy kukuřice. Rozdíly mezi zvolenými hybridy Atletico a Latizana byly minimální s trendem lepších výsledků u energetického hybridu Atletico.

Poděkování

Výsledky byly získány za finanční podpory projektu MŠMT ČR 2B60131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“.

LITERATURA

- Diviš, J. (2010): Kukuřice – zdroj energie. In Kukuřice v praxi 2010, Mendlova univerzita v Brně, KWS Osiva, s. r. o., s. 24–27.
- Diviš, J., Kajan, M. (2009): Energie využitelná z kukuřice. Úroda, roč. LVII, č. 8, s. 26–28.
- Havlíčková, K., Weger, J., Boháč, J. a kol. (2008): Rostlinná biomasa jako zdroj energie. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice, 83 s.
- Hofmanová, D. (2006): Budoucnost patří energii z bioplynu. Úroda, roč. LIV, č. 12, s. 14–15.
- Lošák, T., Hlušek, J. (2011): Jak přistupovat k výživě a hnojení kukuřice při snižujících zásobách živin v půdě. In Kukuřice v praxi 2011. Mendlova univerzita v Brně, KWS Osiva, s. r. o., s. 48–54.

- Petříková, V. (2008): Biomasa pro plynové stanice zemědělského typu. *Úroda*, roč. LVI, č. 9, s. 92.
- Prokeš, K. (2011): Otevíráme nové možnosti s produktem KWS. In *Kukuřice v praxi 2011*. Mendelova univerzita v Brně, KWS Osiva, s. r. o., s. 6–16.
- Prokop, M. (2008): Sklizeň kukuřice na siláž v roce 2008. *Agromanuál*, roč. 3, č. 9, s. 44–45.
- Zachová, J. (2010): Základy biologie fermentace. In *Úspěch ve stáji*. Mezinárodní odborný magazín skupiny SCHAUMANN, s. 22–23.

Rukopis doručen: 18. 2. 2011

Přijat po recenzi: 15. 3. 2011

NOVÉ KLONY TOPOLU ČERNÉHO (*POPULUS NIGRA* L.) PRO KULTURY S KRÁTKOU DOBOU OBMÝTÍ

NEW CLONES OF BLACK POPLAR (*POPULUS NIGRA* L.) FOR SHORT ROTATION COPPICE CULTURES

Vojtěch Benetka, Kateřina Kozlíková, Petra Štochlová

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

Abstrakt

S 29 klony topolu černého (T.Č.) a 3 mezidruhovými hybridy ('Blanc du Poitou'; 'NE-42' a 'MAX-4') byl založen srovnávací pokus na 3 lokalitách. Lokalita Bystřice (BY) se nacházela v klimatické oblasti chladné, Smilkov (SM) v mírně teplé a Rosice (RO) v teplé oblasti. V BY a SM byla hustota porostu 2 222 rostlin.ha⁻¹ a v RO 7 407 rostlin.ha⁻¹. Během vegetace byla hodnocena tloušťka kmínku, počet výhonů a rezistence ke rzi. V intervalu 3, 4 a 3 roky byly pokusy sklizeny ve SM a BY a v intervalu 3, 2 a 3 v RO. Nejvyšší výnos sušiny při 3. sklizni byl v BY 7,2 t.ha⁻¹.rok⁻¹, t.j. 79 % z výnosu 'NE-42', ve SM 9,7 t.ha⁻¹.rok⁻¹, t.j. 85 % z výnosu 'NE-42' a v RO 13,4 t.ha⁻¹.rok⁻¹, t.j. 71 % z výnosu 'NE-42'. Rozdíly ve výnosu mezi klony T.Č. a mezidruhovými hybridy byly vyšší v optimálních podmínkách (RO) a zmenšovaly se v méně příznivých podmínkách (SM). Větší rozdíly jsou důsledkem lepší realizace heterozního efektu hybridních klonů v příznivějších podmínkách. Nejlepší klony jsou 107, 202, 206, 301, případně 311. Hlavní uplatnění těchto klonů je na územích podléhajících zákonu o ochraně přírody a krajiny a pro opláštění a rozčlenění monokultur alochtonních druhů topolů.

Klíčová slova: kultury s krátkou dobou obmýti, rajonizace, výnos biomasy, nové klony, *Populus nigra* L.

Abstract

Twenty-nine clones of black poplar and 3 interspecific hybrid clones (Blanc du Poitou; 'NE-42' a 'MAX-4') were used for comparative trials in 3 localities. The locality Bystřice (BY) is situated in moderately cold climatic region, Smilkov (SM) in moderately warm and Rosice (RO) in warm climatic region. The plant density of trial in BY and SM was 2,222 plant.ha⁻¹ whereas it was 7,407 plant.ha⁻¹ in RO. The shoot diameter, number of shoots and resistance to the rust disease *Melampsora larici-populina* were evaluated during the vegetation periods. The trials in SM and BY were harvested at interval of 3, 4 and 3 years whereas the trial in RO was harvested at interval of 3, 2 and 3 years. At the third harvest, the highest dry matter yield was 7.2 t.ha.yr⁻¹ (i.e. 79% of 'NE-42' yield) in BY, 9.7 t.ha.yr⁻¹ (i.e. 85% of 'NE-42' yield) in SM and 13.4 t.ha.yr⁻¹ (i.e. 71% of 'NE-42' yield) in RO. The yield differences among black poplar clones and interspecific hybrid clones were higher in optimal conditions (RO) and decreased in less favourable conditions (SM). The difference is the result of better realization of heterose effect of hybrid clones in more favourable conditions. The black poplar clones 107, 202, 206, 301 and 311 are highly suitable for further growing mainly in regions where it is not legal to plant allochthonous species (e.g. national parks).

Key words: short rotation coppice culture, biomass yield, new clones, *Populus nigra* L.

ÚVOD

Nejčastěji pěstovanými klony v kulturách s krátkou dobou obmýti jsou mezidruhové hybridy typu *P. × euroamericana*, *P. × interamericana* a kříženci mezi asijským druhem *P. maximowiczii* Henry a druhem *P. trichocarpa* Torr. & A. Gray nebo *P. nigra* (FAO, 2000). Tyto klony se vyznačují lepšími pěstitelskými vlastnostmi ve srovnání s genotypy patřícími k jednomu druhu podobně jako u mnoha dalších rodů (Heilman, Stettler, 1985). Tento jev označujeme jako heterozní efekt.

Nevýhodou mezidruhových hybridů jako alochtonních genotypů je nebezpečí devastace původních populací *P. nigra* (Cagelli, Lefèvre, 1995; Benetka et al., 2002b; Smulders et al., 2008). U klonů, které pocházejí z vnitrodruhového křížení jedinců druhu *P. nigra* domácího původu, toto riziko odpadá.

Problémem je, že šlechtění v rámci druhu *P. nigra* se doposud

věnovala malá pozornost a několik známých klonů se v našich podmínkách neosvědčilo (Čížek, ústní sdělení). První dostupné výsledky z výnosových zkoušek s topolem černým (Laureysens et al., 2005; Al Afas et al., 2008) a naše první výsledky (Benetka et al., 2007) prokázaly, že klony topolu černého se výnosem biomasy blíží výnosům hybridních klonů.

Pro pěstování biomasy jako obnovitelného zdroje energie, není vhodné využívat úrodné pozemky. Naopak je žádoucí, aby se pro pěstování biomasy využívaly pozemky, které jsou méně příznivé pro intenzivní zemědělství.

Cílem práce bylo na základě devíti- až desetiletých výsledků vybrat klony topolu černého vhodné pro pěstování v kulturách s krátkou dobou obmýti, které je možné pěstovat mimo hlavní zemědělské oblasti. Specifickým posláním těchto klonů je jejich použití v oblastech chráněných dle zákona č. 114/1992 Sb. v platném znění a pro opláštění a k rozčlenění monokultur

alochtonních druhů topolů s cílem přispět k zlepšení biodiverzity takto obhospodařovaných území.

MATERIÁL A METODIKA

Lokality, půdní a klimatické podmínky

Pokus byl založen na 3 lokalitách (Bystřice, Smilkov a Rosice) s různou úrovní půdních a klimatických podmínek (tab. 1).

Lokalita Bystřice (BY) je situována v mírně chladné a vlhké klimatické oblasti. Hladina podzemní vody je asi 30–50 cm hluboko. Voda je sváděna do blízkého potoka. Půdní typ je histosol. Půdní reakce je silně kyselá (pH/CaCl₂ = 4,95). Parcela byla před založením pokusu ladem asi 50 let.

Lokalita Smilkov (SM) je situována v mírně teplé a vlhké klimatické oblasti. Parcela je na orné půdě s poměrně vysokým obsahem humusu a živin, se slabě kyselou půdní reakcí (pH/CaCl₂ = 6,75), půdní typ je kambisol.

Lokalita Rosice (RO) je situována v klimatické oblasti teplé, mírně suché a s mírnou zimou. Hladina podzemní vody je ovlivněna sousedící řekou, a proto měly vodní srážky význam pro růst rostlin pouze v prvním roce. Parcela je na aluviálních půdách. Před založením pokusu byla asi 50 let ladem.

Srážky v průběhu vegetační sezóny (měsíce IV.–IX.) byly měřeny na lokalitě SM. Na lokalitách BY a RO měla rozhodující význam podzemní voda.

Materiál

Do srovnávacích zkoušek bylo zařazeno 29 klonů topolu černého a 3 mezidruhovité hybridy jako kontrolní klony. Klon 'Blanc du Poitou' patří k hybridnímu druhu *P. × canadensis*, klon 'NE-42' je kříženec mezi druhy *P. maximowiczii* a *P. trichocarpa* a klon 'MAX-4' je kříženec mezi druhy *P. maximowiczii* a *P. nigra*.

Klony topolu černého byly vybrány ze souboru 200 výběrových stromů, které se nacházely v různých půdních a klimatických podmínkách (Benetka et al., 2002a; Benetka et al., 2007).

Organizace a ošetření

Na lokalitě Smilkov (SM) a Bystřice (BY) byl pokus založen s hustotou 2 222 rostlin.ha⁻¹ ve sponu 3 × 1,5 m a v lokalitě

Rosice (RO) s hustou 7 407 rostlin.ha⁻¹ ve sponu 1,8 × 0,75 m. Pokus na lokalitě SM a BY byl založen v roce 1998 a v RO v roce 2002.

Experiment byl založen metodou náhodných bloků ve čtyřech opakováních, na lokalitě BY po čtyřech rostlinách a ve SM po pěti rostlinách v opakování. V RO byl pokus v pěti opakováních po šesti rostlinách v opakování. Pozemky byly oploceeny, aby nedošlo k poškození zvěří.

Použitý výsadbový materiál, tj. jednoleté rostliny pocházející z řízkování v předchozím roce, byl vysazen ručně. Ve SM následovala po výsadbě zálivka. Všechny rostliny byly po výsadbě zastřiženy ve výšce 0,4 m. Ve SM byl na jaře aplikován herbicid a poté bylo dvakrát během léta provedeno plečkování v meziřádcích. Plevely byly v BY a RO pouze posekány. Výsadba ve SM byla hnojena ve třetím roce po výsadbě dávkou 50 kg N; 50 kg P₂O₅; 50 kg K₂O.ha⁻¹. Stejná dávka zde byla použita vždy po sklizni.

V BY a SM byla první sklizeň uskutečněna po třech letech v únoru 2001. Druhá sklizeň se uskutečnila v březnu 2005 a třetí v březnu 2008. V RO se první sklizeň uskutečnila po třech letech v únoru 2005, druhá v únoru 2007 a třetí v březnu 2010. Rostliny byly při první sklizni seříznuty ručně ve výši 0,1 m, při dalších ve výši 0,2 m.

Měření

Během vegetace byla hodnocena rezistence ke rzi *Melampsoara larici-populina* Kleb. podle šestibodové stupnice: 0 – bez napadení; 5 – maximální napadení (Benetka et al., 2007). Na konci vegetace byl měřen průměr hlavního výhonu ve výšce 0,5 m. Před sklizněmi byl spočítán počet výhonů silnějších než 0,01 m. Před poslední uvedenou sklizní byly měřeny průměry (tloušťky) výhonů a stanovena suma plochy těchto výhonů ve výšce 0,5 m.

Při sklizni byly zváženy všechny rostliny a stanovena jejich sušina. Pro stanovení sušiny byly odebrány vzorky z hlavního a z postranních výhonů zvlášť. Sušina byla stanovena ze vzorků o váze 400–1200 g čerstvé biomasy. Vzorky byly sušeny při teplotě 105 °C do konstantní váhy. Hmotnost jedné rostliny byla vyjádřena jako průměrná hmotnost sušiny jedné rostliny. Celková hmotnost sušiny z jednotky plochy byla vypočtena z hmotnosti sušiny jedné rostliny násobené skutečným počtem přeživších rostlin na jednotce plochy. Výnos z jednotky plochy tedy zahrnuje výnos jedné rostliny i vliv úhynu rostlin na konečnou velikost výnosu.

Tab. 1 Charakteristika pokusných míst

Lokalita	Zeměpisná šířka	Zeměpisná délka	Nadmořská výška	Klimatická oblast	Průměrná teplota > 10 °C počet dní	Průměrná teplota		
	s. š.	v. d.	m n. m.			Leden	Duben	Červen
BY	49°21'	12°48'	551	mírně chladná a vlhká	120–140	-3 až -4	4–6	15–16
SM	49°36'	14°36'	515	mírně teplá a vlhká	140–160	-2 až -3	6–7	16–17
RO	50°03'	15°42'	219	teplá a mírně suchá	160–170	-2 až -3	8–9	18–19

Statistická analýza

Získaná data byla statisticky vyhodnocena pomocí Statistica 8.0 statistical software package (StatSoft Inc., Tulsa, OK). K vyhodnocení byla použita analýza rozptylu (ANOVA, MANOVA), případně její neparametrická obdoba (Kruskal-Wallisův test). Výsledky jsou uváděny na hladině významnosti $\alpha < 0,05$.

Výsledky statistického hodnocení celého pokusu jsou uvedeny v předchozích pracích (Benetka et al., 2002a; Benetka et al., 2007).

VÝSLEDKY

V této práci jsou uvedeny pouze výsledky nejlepších klonů topolu černého ze zkoušených 29 klonů. Zdravotní stav hodnocený především jako rezistence ke rzi *Melampsora larici-populina* Kleb. byl u nejlepších klonů na všech lokalitách dobrý, kromě klonu 311. Celkové zhodnocení měřených výsledků

vychází ze znaků: průměrná hmotnost sušiny 1 rostliny za rok (tab. 2); výnos sušiny na ploše jednoho ha za rok přepočítaný ze skutečně sklizených rostlin na ploše (tab. 3) a průměrná tloušťka všech výhonů (s průměrem větším než 0,01 m) měřená ve výšce 0,5 m na rostlinu před poslední provedenou sklizní (v tab. 4 přepočtená na průměrnou sumu ploch těchto výhonů na rostlinu). Výsledky jsou uspořádány podle jednotlivých lokalit, na kterých byly pokusy vysazeny.

Bystřice (nejméně příznivé podmínky)

Nejvyšší hmotnosti jedné rostliny při třetí sklizni dosáhly klony 107 (3,22 kg), 202 (3,41 kg) a 309 (2,69kg). Při druhé sklizni se nejlépe umístily klony 202 (2,07 kg) a 309 (1,94 kg). Při druhé sklizni byly nejvyšší hodnoty u topolu černého na úrovni 47 % a při třetí sklizni na úrovni 81 % hodnot kontrolního klonu 'NE-42'.

Podobně i podle výsledků výnosu z plochy byl nejlepší výnos při třetí sklizni u klonů 107 (7,2 t.ha⁻¹.rok), 202 (6,6 t.ha⁻¹.rok)

Tab. 2 Hmotnost sušiny [kg.rostlina⁻¹.rok⁻¹] přepočtená na rostlinu a rok pro jednotlivá obmytí

Lokalita	BY			SM			RO		
	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Klon	kg.rostlina ⁻¹ .rok ⁻¹			kg.rostlina ⁻¹ .rok ⁻¹			kg.rostlina ⁻¹ .rok ⁻¹		
107	0,14	0,99	3,22	0,54	3,01	4,37	0,94	1,45	2,33
202	-	2,07	3,41	-	3,02	4,25	-	-	-
206	-	1,21	1,90	-	3,44	4,06	-	-	-
210	0,34	1,00	1,81	0,57	3,29	3,59	1,05	1,61	1,98
301	0,19	1,54	2,61	0,43	3,57	4,50	0,69	1,44	1,90
309	-	1,94	2,69	-	-	-	-	-	-
311	0,40	-	1,41	-	3,23	4,35	-	-	-
NE-42	0,63	4,41	4,23	0,48	4,24	5,15	1,16	2,34	2,93
MAX-4	-	-	-	-	-	-	1,88	2,69	5,04
Blanc du Poitou	-	-	-	0,38	4,05	3,38	1,44	-	3,11

Tab. 3 Výnos sušiny [t.ha⁻¹.rok⁻¹] na ploše 1 ha za rok, přepočítaný ze skutečně sklizených rostlin

Lokalita	BY			SM			RO		
	I.	II.	III.	I.	II.	III.	I.	II.	III.
Klon	t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹			t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹			t.ha ⁻¹ .rok ⁻¹		
107	0,3	1,9	7,2	1,1	6,7	9,7	6,5	8,7	13,4
202	-	4,1	6,6	-	6,4	8,9	-	-	-
206	-	2,5	2,8	-	7,6	9,0	-	-	-
210	0,8	2,2	3,8	1,3	7,3	8,0	7,5	11,0	9,6
301	0,4	2,7	4,1	0,9	7,6	9,5	4,3	9,8	10,5
309	-	1,7	4,5	-	-	-	-	-	-
311	0,9	-	3,1	-	7,2	9,7	-	-	-
NE-42	1,4	9,8	9,1	1,0	9,4	11,4	8,3	15,4	18,9
MAX-4	-	-	-	-	-	-	13,9	19,9	37,3
Blanc du Poitou	-	-	-	0,9	9,0	7,5	10,2	-	17,7

Tab. 4 Průměrná suma ploch [mm²] všech výhonů před poslední provedenou sklizní (s průměrem větším než 0,1 m) ve výšce 0,5 m na rostlinu

Lokalita	BY	SM	RO
Sklizeň	I.	II.	III.
Klon	mm ²	mm ²	mm ²
107	8 214	15 478	5 449
202	9 862	15 578	-
206	-	11 730	-
210	5 466	14 063	4 677
301	7 598	14 371	4 552
311	-	11 954	-
NE-42	15 677	15 974	5849
MAX-4	-	-	11 241
Blanc du Poitou	-	8 911	-

a u 309 (4,5 t.ha⁻¹.rok). Nejvyšší výnos byl na úrovni 79 % hodnot kontrolního klonu 'NE-42'. U klonu 107 je hodnocení z menšího počtu rostlin. Při druhé sklizni byl nejvyšší výnos u klonu 202 (4,1 t.ha⁻¹.rok) a 301 (2,7 t.ha⁻¹.rok). Podle tloušťky všech výhonů na rostlině se dá předpokládat nejvyšší výnos při čtvrté sklizni u klonů 107 (suma ploch 8 214 mm²) a 202 (suma ploch 9 862 mm²). K výsledkům z první sklizně se na této lokalitě nepřihlíželo vzhledem k dosaženým velmi malým výnosům.

Smilkov (lokalita charakteristická pro pěstování RRD)

Nejvyšší hmotnost jedné rostliny při třetí sklizni měly klony 301 (4,50 kg), 311 (4,35 kg), 107 (4,37 kg) a 202 (4,25 kg). U klonu 301 tato hodnota dosahuje 87 % z hodnoty kontroly. Při druhé sklizni byla nejvyšší hmotnost jedné rostliny též u klonu 301 (3,57 kg) – 84 % z hodnoty kontroly. Na druhém místě byl klon 206 (3,44 kg) a menší byl výnos u klonů 107 (3,01 kg) a 202 (3,02 kg).

Nejvyšší plošný výnos při třetí sklizni byl u klonů 107 a 311 (9,7 t.ha⁻¹.rok). U klonu 301 byl výnos 9,5 t.ha⁻¹.rok a u klonu 206 byl výnos 9,0 t.ha⁻¹.rok. Při druhé sklizni byl nejvyšší výnos u klonu 206 a 301 (7,6 t.ha⁻¹.rok) a u klonu 311 (7,2 t.ha⁻¹.rok). Klony 202 (6,4 t.ha⁻¹.rok) a 107 (6,7 t.ha⁻¹.rok) dosáhly nižšího výnosu. Klon 210 dosáhl výnosu 7,3 t.ha⁻¹.rok, ale výkon měl sestupnou tendenci. Výnos nejlepších klonů topolu černého byl při třetí sklizni vyšší než u kontrolního klonu 'Blanc du Poitou', který měl výnos 7,5 t.ha⁻¹.rok. Podle tloušťky všech výhonů na rostlině se dá předpokládat nejvyšší výnos při čtvrté sklizni u klonů 107 (suma ploch 15 478 mm²), 301 (suma ploch 14 371 mm²) a 206 (suma ploch 11 730 mm²). K výsledkům z první sklizně se na této lokalitě nepřihlíželo vzhledem k dosaženým velmi malým výnosům.

Rosice (lokalita s optimálními podmínkami pro růst topolu)

Podle tloušťky všech výhonů před třetí sklizní byl nejlepší klon 107 (suma ploch 5 449 mm²), který měl také nejvyšší hmotnost jedné rostliny (2,3 kg) při třetí sklizni. Mezi klo-

ny s nejvyšší hmotností jedné rostliny dále patřily klony 210 (2 kg) a 301 (1,9 kg). Tyto hodnoty byly na úrovni 78 % klonu 'NE-42' a 74 % klonu 'Blanc du Poitou'. Při druhé sklizni byla nejvyšší hmotnost naměřena u klonu 210 (1,61 kg) a 107 (1,45 kg). Při první sklizni byla hmotnost jedné rostliny celkově vyšší než u lokalit BY a SM, což odpovídá podmínkám této lokality. Nejlepší byly klony 210 (1,05 kg) a 107 (0,94 kg). Hmotnost jedné rostliny měla klesající tendenci proti hodnotám na lokalitách BY a SM v důsledku vyšší hustoty rostlin.

Plošný výnos při třetí sklizni byl nejvyšší u klonu 107 (13,4 t.ha⁻¹.rok) a u klonu 301 (10,5 t.ha⁻¹.rok). U klonu 210 (9,6 t.ha⁻¹.rok) se výnos snížil vlivem vyššího úhynu rostlin. Na této lokalitě byl výnos klonů topolu černého nižší i proti klonu 'Blanc du Poitou' o 24 %. Při druhé sklizni měl nejvyšší výnos klon 210 (11,0 t.ha⁻¹.rok) a klon 301 (9,8 t.ha⁻¹.rok). Klon 107 byl méně výnosný (8,7 t.ha⁻¹.rok). Při první sklizni měl nejvyšší výnos klon 210 (7,5 t.ha⁻¹.rok) a klon 107 (6,5 t.ha⁻¹.rok). Na vyšším výnosu sušiny se podílel vyšší počet rostlin na jednotce plochy ve srovnání s lokalitou SM a BY.

Na této lokalitě nebyly vysazeny klony 202 a 206, protože se zdály být před založením této pokusné plochy z prvních pozorování na lokalitách BY a SM neperspektivní.

DISKUZE

Předložené výsledky ze tří lokalit byly získány ve třech odlišných klimatických a půdních podmínkách. Toto umožnilo rozlišit vlastnosti zkoušených klonů s ohledem na různé pěstitelské oblasti.

Výsledky u klonů topolu černého ve srovnání s klony mezidruhových hybridů je nutné posuzovat z několika hledisek. Zkoušené klony pocházejí z pouhého výběru mezi 200 výběrovými stromy, zatím co klony 'NE-42' a 'MAX-4' jsou výsledkem mezidruhového křížení a následného výběru v rozsáhlém potomstvu těchto křížení. Důležitým požadavkem je najít vhodné klony topolu černého pro oblasti, kde je pěstování alochtonních druhů nežádoucí. Významný je i výsledek, že rozdíl mezi klony topolu černého a klony z mezidruhového křížení ('Blanc du Poitou', ale i 'NE-42') jsou větší v optimálních podmínkách pro růst topolu než v podmínkách méně příznivých, v našem případě v bramborářské výrobní oblasti (viz lokalita SM). Toto zřejmě souvisí s heterozním efektem hybridních klonů, kdy se výkon takovýchto genotypů projeví především v příznivých (optimálních) podmínkách (Acquaah, 2007). Přitom lokalita SM zastupuje oblast, kde se nejvíce počítá s pěstováním rychle rostoucích dřevin pro energetické využití.

Předností našich výsledků je skutečnost, že pocházejí z relativně dlouhodobého pozorování a zachycují vývoj výnosu jednotlivých genotypů (Benetka et al., 2007). Toto je důležité, neboť se počítá s pěstováním těchto kultur pro více opakujících se sklizní. Přesto je třeba dosažené výsledky posuzovat jako částečné, neboť se v dalších sklizních může projevit především negativní vliv seřezávání rostlin při sklizni.

Pro podmínky zamokřených půd s mírně kyselou reakcí a chladnějším klimatem lze doporučit klony 107, 202 a 309. Produktivita klonu 202 má mírně stoupající tendenci. Pro bramborářskou výrobní oblast s méně úrodnými půdami, případně i méně příznivým klimatem, se jeví jako nejúspěšnější klony 301, 206, 202, případně 311. Klon 301 má vyrovnaný výnos s přihlédnutím k vývoji jednotlivých sklizní. Klon 202 má stoupající trend ve výnosu. Klon 107 měl kolísající výnos. V nejlepších půdních a klimatických podmínkách se nejlépe osvědčil klon 107, méně klon 301. Klony 202 a 206 zde nebyly zkoušeny.

Výše uvedené doporučené klony jsou dočasným řešením hlavně pro oblasti zvláště chráněné dle zákona o ochraně přírody a krajiny. Lze předpokládat, že budou nahrazeny klony z intenzivního šlechtitelského programu, který v současné době probíhá.

Popis doporučených klonů topolu černého

Klon 107

Vhodný pro všechny podmínky od marginálních oblastí až po optimální podmínky. Výnos biomasy dosahoval při třetí sklizni okolo 80 % výnosu klonu 'NE-42', v optimálních podmínkách pouze okolo 70 %. Klon méně odnožuje, ale tvoří silnější kmínky. Odolnost ke rzi je vysoká.

Klon 202

Vhodný především pro marginální podmínky, kde svým výkonem předčí ostatní klony. Má pravděpodobně větší nároky na vláhu, proto se méně uplatnil v sušší bramborářské lokalitě. Výnos biomasy se pohyboval při třetí sklizni okolo 70–80 % výnosu klonu 'NE-42'. Vytváří středně velké množství středních až silnějších kmínků. Odolnost ke rzi je vysoká.

Klon 206

Vhodný pro bramborářskou výrobní oblast. V optimálních podmínkách nebyl zkoušen. Výnos biomasy dosahoval při třetí sklizni okolo 80 % výnosu klonu 'NE-42'. Tvoří velké množství slabších kmínků. Odolnost ke rzi je vysoká.

Klon 301

Vhodný především pro bramborářskou výrobní oblast, ale i pro optimální podmínky. Výnos biomasy dosahoval při třetí sklizni okolo 80 % výnosu klonu 'NE-42', v optimálních podmínkách okolo 50 %. Tvoří velké množství středně silných výhonů. Odolnost ke rzi je vysoká.

Klon 311

Vhodný především pro bramborářskou výrobní oblast. Nebyl zkoušen v optimálních podmínkách. Má vyrovnané výnosy. Výnos biomasy dosahoval při třetí sklizni okolo 80 % výnosu klonu 'NE-42'. Tvoří méně výhonů. Odolnost ke rzi je střední.

ZÁVĚR

- Bylo vybráno 5 klonů topolu černého vhodných pro pěstování v kultuře s krátkou dobou obmytí na zemědělských půdách. Výnos biomasy těchto klonů se pohyboval v méně příznivých podmínkách okolo 70–85 % z výnosu mezidruhového hybridu 'NE-42'. V optimálních podmínkách pro růst topolu výnos klonů topolu černého dosahoval 50–70 % z výnosu klonu 'NE-42'.
- Rozdíl ve výnosu biomasy mezi klony topolu černého a hybridními klony byl větší v optimálních podmínkách než v podmínkách méně příznivých.
- Nové klony jsou určeny pro oblasti, kde hrozí devastace původních populací *P. nigra* ze strany alochtonních genotypů a do zvláště chráněných území podle zákona o ochraně přírody a krajiny.
- Vybrané klony topolu černého lze využít při opláštění nebo k rozčlenění monokultur alochtonních druhů topolů mimo chráněná území.

Poděkování

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

LITERATURA

- Acquaah, G. (2007): Principles of plant genetics and breeding. Blackwell Publishing, Oxford, UK.
- 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.
- Benetka, V., Bartáková, I., Mottl, J. (2002a): Productivity of *Populus nigra* L. ssp. *nigra* under short-rotation culture in marginal areas. Biomass and Bioenergy, vol. 23, p. 327–336.
- Benetka, V., Vacková, K., Bartáková, I., Pospíšková, M., Rásl, M. (2002b): Introgression in black poplar (*Populus nigra* L. ssp. *nigra*) and its transmission. Journal of Forest Science, vol. 48, no. 3, p. 115–120.
- 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.
- Cagelli, L., Lefèvre, F. (1995): The conservation of *Populus nigra* L. and gene flow with cultivated poplars in Europe. Forest Genetics, vol. 2, no. 3, p. 135–144.
- FAO – International Poplar Commission (2000): Directory of poplar and willow experts. Register of *Populus* L. cultivars. [CD-ROM]. Casale Monferrato, Italy: Istituto di Sperimentazione per la Pioppicoltura.

- Heilmann, P. E., Stettler, R. F. (1985): Genetic variation and productivity of *Populus trichocarpa* T. & G. and its hybrids. II. Biomass production in a 4-year plantation. Canadian Journal of Forest Research, vol. 15, no. 2, p. 384–388.
- 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.
- Smulders, M. J. M., Beringen, R., Volosyanchuk, R., Vanden Broeck, A., Van der Schoot, J., Arens, P., Vosman, B. (2008): Natural hybridisation between *Populus nigra* L. and *P. × canadensis* Moench. Hybrid offspring competes for niches along the Rhine river in the Netherlands. Tree Genetics and Genomes, vol. 4, p. 663–675.

Rukopis doručen: 17. 2. 2011

Přijat po recenzi: 15. 3. 2011

HODNOCENÍ VÝNOSU A RŮSTU DOMÁCÍCH VRB PO 14 LETECH VÝMLADKOVÉHO PĚSTOVÁNÍ

THE EVALUATION OF YIELD AND GROWTH OF NATIVE WILLOWS AFTER 14 YEARS OF SHORT ROTATION COPPICE

Jan Weger, Jaroslav Bubeník

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

Abstrakt

Článek shrnuje výsledky hodnocení pokusného porostu s klony domácích druhů vrb a jejich přírodními kříženci (*Salix alba*, *Salix × rubens*, *Salix viminalis* a *Salix × smithiana*) pěstovaných ve 3letém obmýtu na lokalitě s příznivými stanovištními podmínkami. Byl hodnocen výnos biomasy ve 4 sklizních a dále výška jedince, počet a tloušťka kmene, procento přežívajících jedinců. Výnosy byly porovnány analýzou variance a zjištěny průkazné rozdíly mezi klony. Čtyři nejlepší klony vrb v pokusu dosáhly výnosu 13,1–18,9 t(suš.)/ha/rok v průměru za dobu experimentu. Z dosažených výsledků je možné shrnout, že domácí druhy vrb, resp. jejich vybrané klony mohou mít na příznivých stanovištích velmi dobrý výnos srovnatelný se zahraničními odrůdami topolů a vrb pěstovanými v podobných podmínkách. Klony domácích vrb a jejich kříženců mohou být použity ve zvláště chráněných územích v souladu s podmínkami zákona o ochraně přírody a krajiny (č. 114/1992 Sb.) a také do opláštění výmladkových plantáží s nepůvodními druhy.

Klíčová slova: vrby, biomasa, výnos, výmladkové plantáže

Abstract

The article comprises the results of evaluation of experimental plantation with clones of native willows and their natural hybrids (*Salix alba*, *Salix × rubens*, *Salix viminalis* and *Salix × smithiana*), which were grown in 3-year rotation on locality with suitable growing conditions. Biomass yield in four harvests and tree height, number and diameter of stems and survival rate were measured as well. Yields were statistically evaluated and significant differences were found. Four best willow clones reached yields 13.1–18.9 t(DM)/ha/year in average from whole experiment. It is possible to conclude from collected results that native willows can reach very good biomass yields on suitable sites, which are comparable with foreign cultivars of poplar and willow grown in similar conditions.

Key words: willows, biomass, yield, short rotation coppice

ÚVOD

Většina odrůd topolů a vrb pěstovaných ve výmladkových plantážích na zemědělské půdě a určených pro produkci biomasy se řadí k alochtonním druhům nebo jejich křížencům. Jejich pěstování je limitováno zákonem o ochraně přírody a krajiny č. 114/92 Sb., který zakazuje použití geograficky nepůvodních druhů ve zvláště chráněných územích a podmiňuje jejich pěstování v ostatní krajině souhlasem orgánu ochrany přírody. Povolení k pěstování bývá obvykle podmíněno i určitými pěstebními opatřeními anebo může být pěstování zamítnuto, například pokud hrozí riziko křížení s domácími druhy. Použití domácích druhů vrb do výmladkových plantáží je vhodné jak z hlediska legislativního, tak ekologického, pokud budou mít vhodné produkční a technické vlastnosti.

Na území České republiky se vyskytuje několik domácích druhů vrb (např. *Salix alba*, *Salix viminalis*), potenciálně vhodných pro výmladkové pěstování na zemědělské půdě, které je využíváno pro produkci biomasy k energetickému, případně průmyslovému využití. Z hodnocení klonových testů topolů a vrb ve VÚKOZ, v. v. i., na různých lokalitách bylo zjištěno, že mezi nejlépe rostoucí patří vybrané klony, příp. odrůdy domácích vrb, z nichž některé dosahovaly srovnatelného výnosu jako zahraniční odrůdy vrb, případně topolů (Weger, 2009).

Vrba bílá (*Salix alba* L.) dorůstá výšky až 30 m a v průměru kmene dosahuje 1 m i více. Je široce rozšířena po Evropě, Malé Asii, západní Sibiři a je též přítomna v severní Africe. Vrba bílá je základním stromovým prvkem tzv. měkkého luhu a břehových porostů řek, kde příležitostně tvoří až kilometry široké háje. Jedním z přírodních kříženců vrby bílé využitelných pro výmladkové plantáže je *S. × rubens* Schr. (*S. alba × fragilis*).

Vrba košíkařská (*Salix viminalis* L.) je vysoký keř nebo mnohokmenný strom dorůstající do výšky 6–8 m s dlouhými pružnými větvemi. Vrba košíkařská je rozšířena po širokých oblastech Eurasie s výjimkou Dálného východu. Roste na čerstvých alluviálních substrátech podél říčních břehů, krajnic a na dostatečně provlhčených písčinych půdách (Dickmann, Kuzovkina, 2008).

Vrba Smithova (*Salix × smithiana* Willd.) je robustním keřem či malým stromem dosahujícím výšku až 9 m, s úzce rýhovanou kůrou a rozkladitým větvením. Podle taxonomické klasifikace FAO (Dickmann, Kuzovkina, 2008) je to přírodní křížencec *Salix cinerea* a *Salix viminalis*. Kříženci jsou růstově i vzhledově velmi proměnliví, přičemž samčí vrby *S. × smithiana* jsou výrazně méně početní než samičí. Uniformita někte-

rých populací naznačuje možnost záměrného šíření kříženců. Běžně se používá jako podnož pro okrasné vrby. V Evropě je *Salix* × *smithiana* široce rozšířená, zde se nachází především v hybridu *S. cinerea* ssp. *cinerea* × *S. viminalis* (Meikle, 1984). Naproti tomu podle taxonomické klasifikace Květeny ČR (Hejný, Slavík, 1990), je *Salix* × *smithiana* Willd. popisována jako přírodní kříženec *Salix caprea* × *S. viminalis*. Vyskytuje se roztroušeně až vzácně po celém území ČR. Je také často vysazovaná jako medonosná dřevina a v prutnicích, tzv. „francouzská jíva“ (Hejný, Slavík, 1990). Podle rozlišovacích morfologických znaků (zejm. rýhy ve dřevě) jsme předběžně určili klony vrby Smithovy testované v porostu v Dešné jako přírodní křížence *Salix caprea* × *S. viminalis*. Pro podrobnější taxonomické určení testovaných klonů by bylo nutné provést analýzu s využitím DNA metod.

Cílem toho článku je vyhodnocení pokusu s výmladkovým pěstováním 12 vybraných klonů domácích druhů vrby a jejich přírodních kříženců (zejm. *Salix alba*, *Salix viminalis* a *Salix* × *smithiana*) na příznivé lokalitě, a to zejména z hlediska dynamiky a setrvalosti výnosu biomasy využitelné k energetickým účelům.

MATERIÁL A METODIKA

Hodnocení vybraných klonů vrby probíhalo v pokusném porostu, který byl založen v roce 1996 na okraji intravilánu obce Dešná u Dačic (48°57'27" N, 15°32'27" E) ve spolupráci s místním úřadem za účelem výběru vhodných klonů vrby a topolů pro produkci štěpky pro místní teplárnu spalující biomasu. Celková rozloha porostu je 0,1 ha (topoly a vrby dohromady). Porost sledovaných vrby se rozkládá na ploše 0,07 ha s rozměry 20 × 35 metrů. Spon výsadby je jednořádkový o rozměrech 1,5 × 0,5 m a hustota porostu je tedy 13 333 ks/ha. Jednotlivé klony jsou vysazeny v řádcích, ve kterých byly vytyčeny zkusné plochy pro měření růstových a výnosových parametrů.

Porost byl v prvních dvou letech po výsadbě kvalitně odplevován v rámci sociálního programu pro nezaměstnané v obci.

Po úspěšném ujetí výsadby vrby a vytvoření korunového zápoje byla údržba porostu omezena na minimum, např. v případě nutnosti po sklizni. Porost nebyl nikdy hnojen ani zaléván, což ostatně nebylo potřeba s ohledem na vyšší hladinu spodní vody. Porost nebyl oplocen.

Sortiment

V pokusném porostu bylo vysazeno celkem 36 klonů topolů a vrby vybraných z domácích genových sbírek odborníky z VÚLHM, v. v. i. a VÚKOZ, v. v. i. Sortiment topolů, který obsahoval výhradně nepůvodní a hybridní taxony, byl vysazen v samostatném bloku. Nemohl však být hodnocen z důvodu vysokých ztrát a špatného růstu způsobených pravděpodobně nekvalitní sadbou. Sortiment vrby obsahoval klony téměř výhradně domácích druhů vrby a jejich přírodních kříženců (zejm. *Salix alba*, *Salix viminalis* a *Salix* × *smithiana*). Z celkových 27 vysazených klonů vrby bylo hodnoceno 12 nejlépe rostoucích – viz tab. 1.

Podmínky stanoviště

Pokusný porost se nachází v údolní nivě potoka (horní tok Blatnice) v nadmořské výšce 370 m. Půdním typem je dle bonitací půdně-ekologické jednotky pozemku (BPEJ č. 51100) hnědozem se slabě oglejenými formami na sprašových hlínách se středně těžkou až těžší spodinou (Kolektiv, 1990; Němec, 2001). Hydrologický režim půdy je příznivý až vlhký s poměrně vysokou hladinou podzemní vody. Obsah půdních živin byl zjišťován vždy po sklizni porostu – celkem 5× v průběhu 14 let dosavadního hodnocení. Výsledky jsou znázorněny v tab. 2.

Pozemek patří dle BPEJ do klimatického regionu MT2 – teplý, mírně vlhký (Kolektiv, 1990; Němec, 2001). Průměrná roční teplota a průměrný roční úhrn srážek v průběhu experimentu byly $\theta^t = 7,77$ °C a $\Sigma P = 639$ mm (měření v období let 1996–2009), což odpovídá příslušnému klimatickému regionu. Pro zjištění ročních průměrů teplot a sum srážek v lokalitě výsadby byla použita měření z nejbližší profesionální meteorologické stanice Kostelní Myslová (graf 1.), vzdálené

Tab. 1 Seznam hodnocených klonů vrby

Kód klonu	Taxonomické zařazení	Původ
S-albMLR-456	<i>S. alba</i> L.	Maďarsko
S-albwin-131	<i>S. alba</i> L. × wind	Kunovice, ČR
S-capwin-706	<i>S. caprea</i> L. × wind	Kunovice, ČR
S-rubens-391	<i>S.</i> × <i>rubens</i> Schr.	Veselí nad Lužnicí, ČR
S-rubLip-195	<i>S.</i> × <i>rubens</i> Schr.	Liptov, Slovensko
S-smiBrn-218	<i>S.</i> × <i>smithiana</i> Willd.	Brno, ČR
S-smiDob-417	<i>S.</i> × <i>smithiana</i> Willd.	Dobšínská řadová jaskyňa, Slovensko
S-smiPha-206	<i>S.</i> × <i>smithiana</i> Willd.	Praha, ČR
S-smithD-383	<i>S.</i> × <i>smithiana</i> Willd.	Bušovice, ČR
S-smiVal-237	<i>S.</i> × <i>smithiana</i> Willd.	Valov, ČR
S-vimMoš-264	<i>S. viminalis</i> L.	Horní Moštěnice, ČR
S-vimPek-699	<i>S. viminalis</i> L.	Pekařov u Šumperka, ČR

Tab. 2 Základní údaje, koncentrace živin v půdě na lokalitě Dešná (Melich III, VÚMOP, v. v. i.)

Datum odběru	Hloubka odběru	pH aktivní	Vápník mg/kg	Fosfor mg/kg	Draslík mg/kg	Hořčík mg/kg	COx %
1996	A horizont	5,00	1800	–	70	–	–
2000	20–30	6,05	1263	2,5	51	370	–
2000	60–70	6,57	1653	3,9	66	468	–
2004	5–15	5,77	2063	6,5	84	287	1,51
2004	60–70	6,50	2460	7,5	83	397	0,51
2006	5–15	5,52	1483	21,1	127	260	1,79
2006	50–60	6,27	2319	12,3	79	290	0,58
2009	5–15	5,73	2059	26,2	167	365	2,48
2009	50–60	6,58	2355	7,7	84	451	0,59

25 km severně od obce Dešná. Jelikož se meteorologická stanice nachází o 200 m výše, je pravděpodobné, že průměrná teplota vzduchu v místě plantáže bude nepatrně vyšší a srážky nižší.

Podle rámcové typologie zemědělských půd pro pěstování rychle rostoucích dřevin (Weger, Havlíčková, 2007) je stanoviště hodnoceno jako nadprůměrně příznivé s očekávaným ročním výnosem suché biomasy 10 t(suš.)/ha/rok v průměru za existenci výmladkové plantáže.

Metodika sběru dat

Plantáž byla od roku 1998 sklizena v pravidelném tříletém obmytí, tzn. první sklizeň proběhla v roce 2000, další sklizeň následovaly v letech 2003, 2006, 2009. První dva roky existence plantáže nebyl porost sklizen a hodnocen, resp. byl pěstován v jednoletém obmytí pro produkci sadebního materiálu. Sklizeň nadzemní biomasy probíhaly fakticky v únoru až březnu následujícího roku (např. pro obmytí 1998–2000 v únoru 2001). Byly prováděny ruční pilou, 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 každé pokusné parcelky byly svázané do snopků a zváženy přímo na místě dvěma digitálními vahami (max. nosnost 30 kg; přesnost ± 20 g). Hmotnost surové hmoty snopků [kg (sur.)] byla odečítána současně na obou vahách s přesností na dekgramy. Po zvážení surové biomasy byly z každého bloku odebrány vzorky o hmotnosti 1–3 kg pro zjištění obsahu vody ve dřevě. Hmotnost vzorku čerstvé biomasy byla určena na digitální váze s přesností ± 5g. Sušení bylo prováděno v sušičce při maximální teplotě 105 °C až do konstantní hmotnosti. Podíl sušiny v surové biomase v okamžiku sklizně 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 (čerstvé) hmotnosti všech snopků a procenta sušiny ve vzorku.

Hektarový výnos sušiny se z údajů polního vážení na parcelce počítal dle vzorce:

$$Y_{\text{d}} = W_{\text{w}} * D / A_{\text{p}} / N_{\text{yr}} * C$$

Y_{d} výnos sušiny z hektaru za rok [t(suš.)/ha/rok]

W_{w} hmotnost surové biomasy [kg (sur.)]

D podíl sušiny v surové hmotnosti vzorku [%]

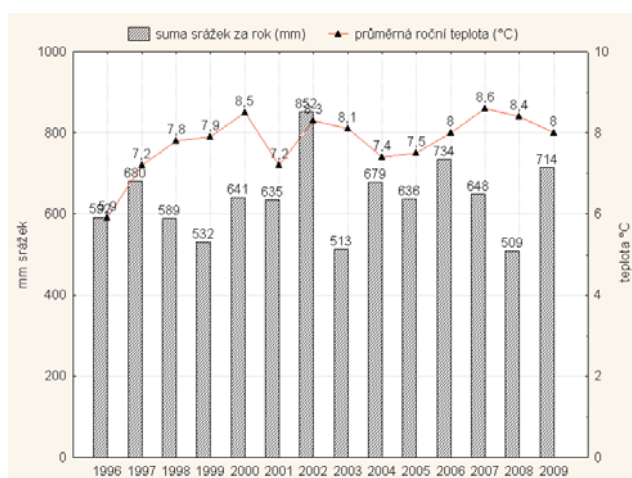
A_{p} výměra zkusných ploch na kterých byl sledovaný klon sklizen [m²]

N_{yr} délka obmytí [v pokusu 3 roky]

C koeficient přepočtu hmotnostních a plošných jednotek [v pokusu 10]

Vypočtený hektarový výnos slouží především k porovnání testovaných vrub mezi sebou. Z hlediska dalšího praktického využití takto vypočteného výnosu je nutno uvést, že může být zatížen některými nepřesnostmi (přepočet z relativně malého počtu jedinců, nahodilé vlivy atd.) a je proto možné očekávat, že se výnosy na podobných stanovištích budou v reálných podmínkách odlišovat, např. podle kvality pěstební péče nebo proměnlivosti pozemku a počasí.

Kromě sklizní bylo v pokusech prováděno měření růstových parametrů (tloušťka a počet kmenů, výška jedince, procento živých jedinců) a sledován zdravotní stav porostu. Od roku



Graf 1 Průměrné roční teploty a roční sumy srážek získané na lokalitě Dešná nejbližší meteorologické stanice Kostelní Myslová

2006 byla měřena tloušťka kmenů digitální průměrkou (Mantax Digitech, Haglöf) s přesností na 1 mm. Měření tloušťky kmenů v roce 2006 (2009) bylo provedeno na 2–3 (5) jedincích od každého klonu. Výška jedinců byla měřena od počátku existence porostu měřicími latěmi s přesností na 5 cm (dřevěná lať do 4 m, hliníková teleskopická tyč Nestle telefix do 8 m). Z poměru vysazených a aktuálně živých jedinců bylo vypočteno procento živých jedinců. Hlavní výsledky jsou uvedeny v tabulce 2.

Naměřená a vypočtená data z hodnocení byla zpracována statisticky parametrickými metodami analýzy rozptylu (ANOVA) s využitím programu Unistat 5.5 a grafy výnosů byly zpracovány v programu Statistica 7.1.

VÝSLEDKY

Výnos biomasy

Průměrný roční výnos 12 klonů vrb v pokusném porostu je po 4 sklizních 11,8 t(suš.)/ha/rok. Průměrný výnos biomasy v prvních 3 sklizních postupně stoupal z 7,0 na 10,3 a 15,6 t(suš.)/ha/rok. Při čtvrté a zatím poslední sklizni výnos mírně poklesl na 14,2 t(suš.)/ha/rok.

Při srovnání výnosů druhů vrb v pokusu je možno konstatovat, že nejlépe rostou klony vrby Smithovy (*Salix × smithiana*). S výjimkou S-smithD-383 dosáhly všechny klony *Salix × smithiana* v pokusu nadprůměrných výnosů. Výrazně nejlepších výnosů biomasy bylo dosaženo u klonu S-smiBrn-218. Dobře též rostly oba klony *Salix viminalis* S-vimMoš-264 a S-vimPek-699. Z okruhu vrby bílé (*Salix alba*) je třeba upozornit na klon S-albwin-131, který má dobrou dynamiku nárůstu

sklizené biomasy, třebaže v prvních dvou sklizních nedosahoval příliš dobrých výsledků. Další klony *Salix alba* a *S. × rubens* rostly hůře. Dosažené výnosy 12 vrbových klonů včetně výsledků statistického hodnocení jsou uvedeny v tab. 3.

Výnosy jednotlivých klonů ze čtyř sklizní jsme mezi sebou statisticky porovnávali. Homogenity rozptylu bylo dosaženo logaritmizací dat zjištěných výnosů (Levenův test $p=0,1043$). Pro prokázání rozdílů ve výnosech byla použita analýza variance (ANOVA, resp. MP-ANOVA).

Logaritmizací výnosových dat pro statistické zpracování došlo k zohlednění plynulosti rozdělení výnosů v po sobě jdoucích sklizních u jednotlivých klonů. V důsledku toho se, např. klon S-vimMoš-264, který měl velké rozdíly mezi zjištěnými výnosy, umístil ve statistickém srovnání (s logaritmovanými výnosy) až na čtvrtém místě, za klony S-vimPek-699 a S-smiPha-206, které měly výrazně plynulejší průběh výnosů v jednotlivých letech.

Dynamika výnosu jednotlivých klonů

Výnosy hodnocených klonů vrb *Salix alba*, *Salix viminalis* a *Salix × smithiana* v průběhu čtyř sklizní v letech 2000, 2003, 2006 a 2009 jsou přehledně znázorněny v grafech 2, 3 a 4. Pro jednotlivé klony jsou též proloženy kvadratické polynomicke křivky s regresním koeficientem naznačující dynamiku jejich produkční schopnosti v průběhu pokusu.

Na základě srovnání dynamiky druhů vrb v pokusu je možno konstatovat, že pouze 3 klony si zachovaly rostoucí trend výnosu i ve čtvrtém obmýtí. Zejména klony S-smiBrn-218 a S-smiPha-206 vrby Smithovy (*Salix × smithiana*) ukazují velmi dobrou výnosovou dynamiku i absolutní výnos. U ostatních klonů se zdá, že v daných podmínkách dosáhly vrcholu výnosu již při třetí sklizni.

Tab. 3 Průměrný roční výnos biomasy 12 klonů vrb v Dešné v jednotlivých obmýtích

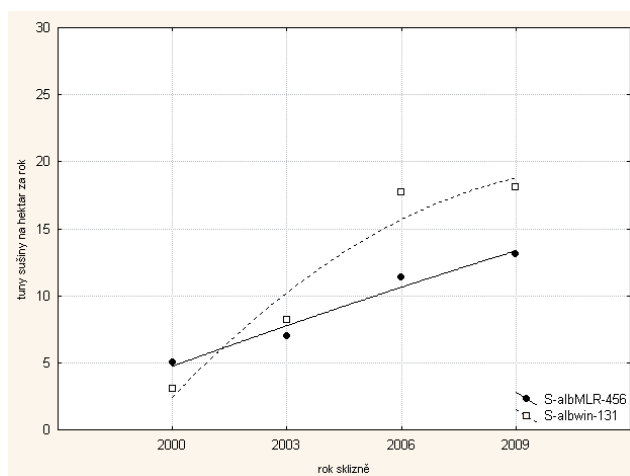
Rok	2000	2003	2006	2009	Průměr	Ln	Statistické rozdíly	Homolog. skupiny
Klony vrb	(t(suš.)/ha/rok)							
S-rubens-391	4,0	9,4	6,5	8,1	7,00	1,89		C
S-albMLR-456	5,0	7,0	11,4	13,1		2,14		BC
S-smithD-383	8,2	7,9	8,8	12,2	9,13	2,21		BC
S-rubLip-195	6,5	10,5	14,5	7,4		2,22		BC
S-albwin-131	3,1	8,2	17,7	18,1	9,26	2,24		ABC
S-capwin-706	6,5	14,1	11,8	9,6	9,72	2,31		ABC
S-smiDob-417	9,3	9,2	16,3	12,8	11,75	2,44		ABC
S-smiVal-237	6,9	9,1	19,4	15,5	10,53	2,46		ABC
S-vimMoš-264	5,4	11,8	22,4	16,8	11,87	2,52		ABC
S-vimPek-699	8,9	12,8	18,3	12,3	12,72	2,53		AB
S-smiPha-206	9,1	10,3	15,5	18,3	14,10	2,54		AB
S-smiBrn-218	11,4	13,2	24,1	26,7	13,06	2,87		A
Průměr	7,03	10,29	15,56	14,24	13,30			

Legenda statistického hodnocení (MP-ANOVA): A,B,C – homologické skupiny

Výška jedinců

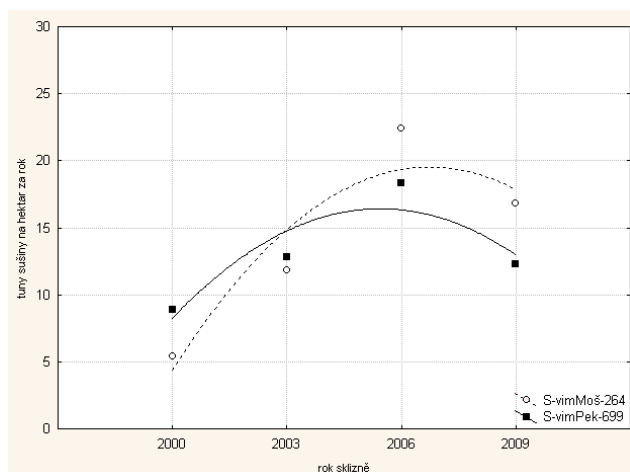
Průměrná výška hodnocených vrb (V_{max}) v roce čtvrté sklizně (2009) a současně 14. vegetační sezoně porostu byla 6,53 m, což odpovídá ročnímu výškovému přírůstu 2,17 m. Dosažené výšky 12 vrbových klonů jsou uvedeny v tab. 4.

Z měřených výšek jednotlivých klonů bylo zjištěno, že nejvyšších hodnot – 8,16 m – dosáhla vrba bílá S-albMLR-456, která vycházela jako jedna z nejvrzůstnějších také v měření před předchozími třemi sklizněmi. Další klony vrby bílé, resp. jejích kříženců (S-albwin-131, S-rubLip-195, S-rubens-391) dosahovaly jen průměrných hodnot výšky. Klony vrby košíkářské (*Salix viminalis*) S-vimPek-699 a S-vimMoš-264 dosahují průměrných výšek, přičemž druhý klon má lepší výškový



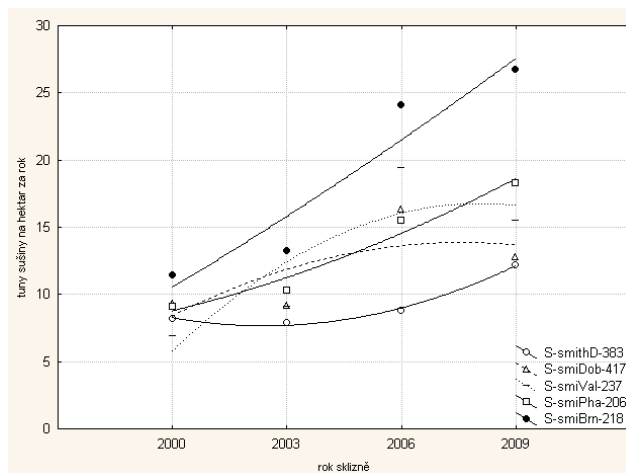
Rovnice proložených polynomiálních křivek:
 S-albwin-131 $y = -1,175x^2 + 11,325x - 7,725$; $R^2 = 0,9441$
 S-albMLR-456 $y = -0,075x^2 + 3,245x + 1,575$; $R^2 = 0,9694$

Graf 2 Dynamika výnosu klonů vrby bílé (*Salix alba*) v průběhu pokusu (1998–2009)



Rovnice proložených polynomiálních křivek:
 S-vimMoš-264 $y = -3x^2 + 19,48x - 12,1$; $R^2 = 0,8676$
 S-vimPek-699 $y = -2,475x^2 + 13,945x - 3,225$; $R^2 = 0,811$

Graf 3 Dynamika výnosu klonů vrby košíkářské (*Salix viminalis*) v průběhu pokusu (1998–2009)



Rovnice proložených polynomiálních křivek:
 S-smiBrn-218 $y = 0,2x^2 + 4,68x + 5,65$; $R^2 = 0,9143$
 S-smiPha-206 $y = 0,4x^2 + 1,28x + 7,1$; $R^2 = 0,9637$
 S-smiVal-237 $y = -1,525x^2 + 11,235x - 3,925$; $R^2 = 0,7497$
 S-smiDob-417 $y = -0,85x^2 + 6,01x + 3,25$; $R^2 = 0,5371$
 S-smithD-383 $y = 0,925x^2 - 3,335x + 10,675$; $R^2 = 0,9929$

Graf 4 Dynamika výnosu klonů vrby Smithovy (*Salix x smithiana*) v průběhu pokusu (1998–2009)

přírůst. Podle měření před sklizní v roce 2009 se klony vrby Smithovy (*Salix x smithiana*) v tomto parametru rozdělily na dvě skupiny, na smithiany výše rostoucí, S-smithPha-206, S-smithD-383, S-smiBrn-218 s průměrnou výškou jedinců kolem 7,5 m a klony níže rostoucí S-smiDob-417 a S-smiVal-237 s průměrnou výškou jedinců kolem 5,75 m.

U většiny sledovaných klonů kopírovala dynamika výškového růstu (V_{max}) změny v dosažených výnosech. Výšky klonů vrby se od sebe v letech 2000, 2003, 2006 a 2009 nijak statisticky výrazně nelišily.

Tloušťka kmene

S měřením tloušťky kmínku ve výšce 1 m ($d_{1,0}$) bylo započato až v roce 2006. K dispozici jsou data za dvě poslední obměty. Průměrná tloušťka kmínku v roce čtvrté sklizně (2009) byla 18,2 mm, což odpovídá tloušťkovému přírůstu 3 mm/rok. Dosažené tloušťky u 12 vrbových klonů jsou uvedeny v tab. 4. Maximální tloušťky kmene dosažované v jednom metru výšky před sklizní ve tříletém obměty dosahovaly 79 mm u S-albMLR-456.

Počet kmenů na rostlinu

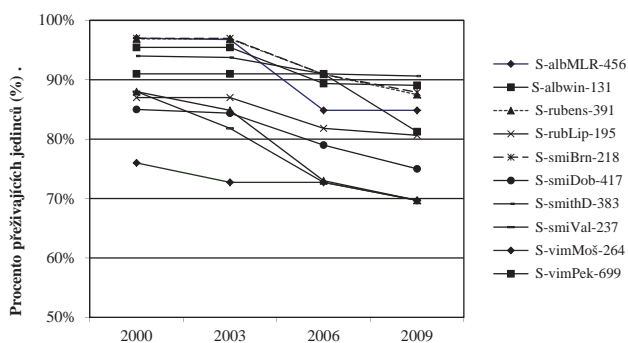
Průměrný počet kmenů na rostlinu byl u hodnocených vrb 12,6 v roce čtvrté sklizně (2009). Dosažené hodnoty všech 12 vrbových klonů jsou uvedeny v tab. 4.

Mezi jednotlivými klony existují v počtu kmenů značné rozdíly ukazující na rozdílné růstové strategie. V počtu kmenů na rostlinu ostatní výrazně překonává klon S-rubLip-195 s průměrem 22,6 kmenů na rostlinu. Vyššího počtu výhonů na rostlinu též dosahují S-vimMoš-264 a S-smiPha-206. Naopak velmi nízké počty výhonů na rostlinu pozorujeme

u klonů S-albMLR-456 (s 4,4 kmenů/rost.), S-smithD-383, S-smiVal-237 a S-smiDob-417 (viz tab. 4.)

Procento přežívajících jedinců

Průměrné procento přežívajících jedinců bylo u hodnocených vrub 72 % po čtyřech sklizních a 14 sezonách, což mimo jiné znamená, že průměrná hustota porostu je cca 9 600 ks/ha. Dosažené hodnoty všech 12 vrbových klonů jsou uvedeny v tab. 4. Pro všechny sledované klony platí, že s následujícími sklizněmi počet přežívajících jedinců na ploše pozvolně klesá (Graf 5). Z tabulky 4 je patrné, že nejvyšší ztráty (31 %) má klon S-smiPha-206. Nejméně pokles počtu jedinců jednoho klonu na ploše Dešná je u vrby S-smiVal-237, kde procento přežívajících jedinců bylo po první sklizni 88 % a po čtvrté sklizni 69,7 %. V roce 2009 měl nejvyšší počet živých jedinců klon S-smithD-383.



Graf 5 Procento přežívajících jedinců u vrub v průběhu pokusu (měřeno v letech sklizní)

DISKUZE

Výnosy domácích vrub dosažené v pokusném porostu v Dešné je možno považovat za velmi dobré. Průměrné výnosy dosažené u nejlepších klonů vrub v pokusu za 14 let pěstování, což je cca 70 % předpokládané životnosti výmladkových plantáží v ČR, se pohybují v rozmezí od 13 do 18 t (suš)/ha/rok a jsou srovnatelné s výnosy identických klonů na nejpříznivějších testovacích lokalitách VÚKOZ, v. v. i., jako např. Doubravice nebo Nová Olešná (BPEJ 31410, resp. 72951). Na těchto lokalitách dosáhly ve třetím tříletém obmytí klony S-smith-218 a S-rubLip-195 průměrný výnos 17–28 t (suš.)/ha/rok (Weger, 2008).

Podle rámcové typologie zemědělských půd pro pěstování rychle rostoucích dřevin (Weger, Havlíčková, 2007) je stanoviště v Dešné hodnoceno jako nadprůměrně příznivé s očekávaným ročním výnosem suché biomasy 10 t (suš.)/ha/rok v průměru za 21letou existenci výmladkové plantáže. Dosavadní výnosy nejlepších klonů v Dešné ukazují, že reálné výnosy v pokusné ploše mohou být i o něco vyšší, resp. že by BPEJ pozemku mohla být zařazena do vyšší výnosové kategorie – optimálních stanovišť (zemědělských půd) pro pěstování RRD. Pro konečné rozhodnutí by bylo vhodné vyhodnotit ještě 1–2 sklizně.

Výnosy vrbových klonů dosažené v pokusném porostu jsou srovnatelné i se zahraničními výsledky. Podle Volka (Volk et al., 2006) dosahovaly vrby *Salix dasyclados* výnosy až 27 t (suš.)/ha/rok v hnojených a zavlažovaných pokusných porostech o hustém sponu 37 000 ks/ha pěstovaných ve tříletém obmytí v centrální oblasti státu New York, USA (lokality Tully) s podobnými klimatických podmínkami jako v ČR. Na stejné lokalitě v pokusné nezavlažované plantáži dosáhly vrby výnosů 8,6–11,6 t (suš.)/ha/rok po prvním tříletém obmytí. V pokusném porostu u obce Dešná bylo

Tab. 4 Výsledky měření růstových parametrů hodnocených klonů vrub v Dešné v roce 2009

Klon	Počet	Průměrná tloušťka kmene		Počet	Průměrná výška jedince		Počet kmenů na rostlinu	Procento živých jedinců
		(D1,0; mm)	s		(V _{max} ; m)	s		
S-rubens-391	45	14,0	9,0	5	5,80	1,44	9,0	88 %
S-rubLip-195	113	14,3	10,6	5	7,25	0,15	22,6	81 %
S-capwin-706	54	16,0	10,4	5	6,75	0,42	10,8	70 %
S-vimPek-699	58	16,0	9,7	9	5,68	1,37	6,8	70 %
S-smiDob-417	30	17,1	10,7	4	5,85	1,74	6,0	75 %
S-albwin-131	48	18,4	11,7	5	6,58	0,52	9,6	89 %
S-vimMoš-264	76	19,0	7,8	5	6,71	0,29	15,2	70 %
S-smiPha-206	63	19,1	10,4	5	7,63	0,15	12,6	69 %
S-smiVal-237	29	20,7	14,2	5	5,53	1,56	5,8	70 %
S-smithD-383	29	21,4	11,5	5	7,26	0,26	5,8	91 %
S-smiBrn-218	43	29,3	15,1	5	7,34	0,39	8,6	88 %
S-albMLR-456	22	33,0	20,9	5	8,16	0,99	4,4	87 %
Průměr	776	18,2	12,5	78	6,53	1,32	12,6	72 %

s – směrodatná odchylka dat

dosaženo 4–11,4 t(suš.)/ha/rok v prvním tříletém obmýti a v druhém 7–14,1 t(suš.)/ha/rok. V druhém obmýti došlo u pěti nejlepších klonů v Dešné k nárůstu (resp. poklesu) výnosu od -4 do +44 %. U New Yorku zjistili nárůst v druhém obmýti o 18–62 %. Jejich pokusné poloprovozní plochy dosahovaly průměrných výnosů 7,5 t(suš.)/ha/rok (Volk et al., 2006).

V evropských podmínkách uvádí odborná literatura maximální výnosy topolů až 30–35 tun sušiny na hektar za rok (Paris et al, 2011), např. na optimálních stanovištích východní části Pádské nížiny. Srovnáme-li výnosy klonů vrb z Dešné s výnosy klonů topolů v oblasti Pádské nížiny, pak je možné konstatovat, že např. klon S-smiBrn-218 dosahoval průměrných výnosů (t(suš.)/ha/rok) odpovídacích výnosům v lokalitě Vinovo v nejzápadnější části Pádské nížiny, na které byly ze tří testovacích ploch pro růst topolových klonů nejméně příznivé klimatické podmínky. Ve sledovaném růstovém období 2003–2006 byly (Vinovo) naměřeny srážky 512–669 mm, průměrná roční teplota se pohybovala v rozmezí 12,2–13,1 °C.

Ve smíšené vrbové plantáži s různými klony vrby *Salix viminalis* v Severním Irsku (Loughgall, 54° 42' N 60° 62' W) byly dosaženy výnosy 6,7–10,1 t(suš.)/ha/rok v prvním tříletém obmýti a výnosy v rozmezí 7–13,4 t(suš.)/ha/rok po druhém tříletém cyklu (Begey et al., 2008). Zajímavostí této lokality je, že zde bylo výmladkové pěstování vrb na zemědělské půdě poprvé experimentálně ověřováno již v 80. letech minulého století.

Průměrná hustota porostu je po 14 vegetačních sezonách cca 9 600 ks/ha vlivem ztrát (28 %). Podle zahraničních výsledků je možno předpokládat, že toto snížení počtu jedinců nemělo, příp. nebude mít vliv na celkový výnos porostu, resp. jednotlivých klonů. Například Kopp et al. (1996) našli průkazné rozdíly ve výnosu klonu *Salix purpurea* až při výrazně větších rozdílech v hustotě výsadby.

Co se týče dynamiky výnosu vrb v Dešné se zdá, že řada klonů ještě nedosáhla výnosového optima po třech sklizních, jak jsme předpokládali, ale až po čtyřech po sobě jdoucích sklizních. Jedná se zejména o klony vrby Smithovy (S-smiPha-206, S-smiBrn-218) a částečně také vrby bílé (S-albMLR-456, S-albwin-131), u kterých je však celkový výnos výrazně nižší. Podle výnosových křivek (grafy 2, 3, 4) je zřejmé, že výnosy těchto klonů v dalších obmýtích již stoupat nebudou nebo jen mírně.

Co se týče dosahovaných výšek jedinců a tloušťek kmenů domácích vrb v pokusu, je možné konstatovat, že koreluje s výnosy. Z hlediska praxe a mechanizace sklizně je důležité zjištění, že při tříletém obmýti byla maximální tloušťka kmenů na pařezu 91 mm (S-albMLR-456), přičemž nejvýnosnější klony v pokusu (S-smiPha-206, S-smiBrn-218) dosáhly maximálně 75 mm. Podíl kmenů s tloušťkou nad 70 mm na pařezu byl v pokusném porostu 0,7 %. Tato tloušťka je doporučována jako hraniční pro starší sklizňové stroje typu Class Jaguar 650 (Spinelli, 2001). Současné sklizňové mechanizmy pro jednofázové sklízecí stroje (řezačky) jsou dle literárních údajů schopny sklízet kmeny do průměru 150 mm (FAO, 2008).

Výnosy dosažené nejlepšími vrbami v Dešné by při současných cenách dřevní štěpky (1 250–1 500 Kč/t(DM)) zajiš-

tovaly rentabilitní pěstování biomasy i bez využití dotace (SAPS) a s relativně rychlou návratností investice. Analýzu ceny biomasy z výmladkových plantáží provádíme s využitím ekonomických modelů pěstování výmladkových plantáží rychle rostoucích dřevin (Havličková et al., 2010).

ZÁVĚR

Výsledky publikované v tomto článku ukazují, že vybrané klony domácích vrb mohou při výmladkovém pěstování na příznivých stanovištích dosahovat velmi dobrých výnosů, které jsou srovnatelné se výsledky zahraničních odrůd topolů a vrb v podobných půdně-klimatických podmínkách.

Další výhodou domácích vrb a jejich kříženců je skutečnost, že mohou být použity ve zvláště chráněných územích v souladu s podmínkami zákona o ochraně přírody a krajiny (č. 114/1992 Sb.), kde je pěstování nepůvodních druhů zakázáno. Dále mohou být použity do opláštění, případně rozčleňovacích pásů výmladkových plantáží s nepůvodními druhy rychle rostoucích dřevin.

Dosažené výnosy 4 nejlepších klonů vrb (S-vimMoš-264, S-vimPek-699, S-smiPha-206, S-smiBrn-218) jsou v průměru o 23 % vyšší než očekávané výnosy na příslušné bonitě (BPEJ) podle rámcové typologie zemědělských půd pro pěstování rychle rostoucích dřevin (Weger, Havličková, 2007). Dobré výnosy jsou kromě genetických vlastností klonů pravděpodobně způsobeny také příznivými půdně-hydrologickými podmínkami lokality (vyšší hladinou podzemní vody).

Ze srovnání jednotlivých klonů je zřejmé, že výnosové schopnosti klonu S-smiBrn-218 (průměr 18,85 t suš./ha/rok) výrazně překonávají ostatní testované klony.

V případě pěstování nejlepších klonů vrb z pokusu v provozních podmínkách na podobných lokalitách (dle BPEJ) lze očekávat mírný pokles výnosů z důvodů proměnlivosti podmínek pozemků, horší pěstební péče při pěstování na větších rozlohách a dalších vlivů prostředí (např. poškození zvěří).

Poděkování

Publikované výsledky vznikly díky finanční podpoře z výzkumného projektu MŠMT 2B06131.

LITERATURA

- Begley, D., McCracken, A. R., Dawson, W. M., Watson, S. (2009): Interaction in Short Rotation Coppice willow *Salix viminalis* genotype mixtures. Biomass and Bioenergy, vol. 33, no. 2, p. 163–173.
- Dickmann, D., I., Kuzovkina, J. (2008): Poplars and willows in the world. International Poplar Commission Thematic Papers. FAO, Working paper IPC/9-2, Rome, Italy, p. 134.

- FAO (2008): Field Handbook – Poplar Harvesting. International Poplar Commission Working Paper IPC/8, Rome, p. 54.
- Havlíčková, K., Suchý, J., Weger, J., Šedivá, J., Táborová, M., Bureš, M., Hána, J., Nikl, M., Jirásková, J., Petruchová, J., Knápek, J., Vašíček, J., Gallo, P., Stražil Z. (2010): Analýza potenciálu biomasy v České republice. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice, 498 s., ISBN 978-80-85116-72-4.
- Hejný, S., Slavík, B. (1990): Květena České republiky. Svazek 2, Praha, Academia, 540 s.
- Kolektiv (1990): Bonitace Československých půd a směry jejich využití. 5. díl Stanovení úředních cen zemědělských půd, Praha, MZe ČR, 85 s.
- Kopp, R. P., Abrahamson, L. P., White, E. H., Nowak, C. A., Zsuffa, L., Burns, K. F. (1996): Woodgrass spacing and fertilization effects on wood biomass production by a willow clone. *Biomass and Bioenergy*, vol. 11, no. 6, p. 451–457.
- Kopp, R. P., Abrahamson, L. P., White, E. H., Volk, T. A., Nowak, C. A., Fillhart, R. C. (2001): Willow biomass production during ten successive annual harvests. *Biomass and Bioenergy*, vol. 20, no. 1, p. 1–7.
- Meikle, R., D. (1984): Willows and Poplars of Great Britain and Ireland. *BSBI Handbook*, no. 4, p. 118–120.
- Němec, J. (2001): Bonitace a ocenění zemědělských půd České republiky. Praha, VÚZE, 260 s.
- Paris, P., Mareschi, L., Sabatti, M., Pisanelli, A., Ecosse, A., Nardin, F., Scarascia-Mugnozza, G. (2011): Comparing hybrid *Populus* clones for SRF across northern Italy after two biannual rotations: Survival, growth and yield. *Biomass and Bioenergy*, article in press, doi: 10.1016/j.biombioe.2010.12.050, p. 1–9.
- Spinelli, R. (2001): Report on the Claas 840-HS2. Recent reports on SRC Harvesters in Europe, p. 10–13.
- Volk, T. A., Abrahamson, L. P., Nowak, C. A., Smart, L. B., Tharakan, P. J., White, E. H. (2006): The development of short-rotation willow in the northeastern United States for bioenergy and bioproducts, agroforestry and phytoremediation. *Biomass and Bioenergy*, vol. 30, no. 8–9, p. 715–727.
- Weger, J., Havlíčková, K. (2007): Rámcová typologie zemědělských půd pro výmladkové plantáže RRD. *Lesnická práce*, roč. 86, č. 4, s. 32–33.
- Weger, J. (2008): Výnos vybraných klonů vrb po 9 letech výmladkového pěstování. *Acta Pruhoniana*, č. 89, s. 5–10, ISBN 978-80-85116-63-2.
- Weger, J. (2009): Hodnocení vlivu délky sklizňového cyklu výmladkové plantáže na produkční a růstové charakteristiky topolového klonu Max-4 (*Populus nigra* L. × *P. maximowiczii* Henry). *Acta Pruhoniana*, č. 92, s. 13–17.
- Weger, J., Knápek, J., Havlíčková, K., Vlasák, P. (2007): Zoning of agricultural land for willow and poplar as a tool to increase biomass production efficiency and to prevent risks of biomass production. 15th European Biomass Conference & Exhibition, 7-11 May 2007, Berlin, Germany.

Rukopis doručen: 7. 3. 2011

Přijat po recenzi: 17. 3. 2011

EKONOMIKA PĚSTOVÁNÍ ENERGETICKÝCH TRAVIN PRO BIOPLYNOVÉ STANICE

ECONOMIC EFFECTIVENESS OF ENERGY GRASSES PLANTED FOR BIOGAS STATION

Jaroslav Knápek¹⁾, Petr Ošlejšek¹⁾, Kamila Havlíčková²⁾

¹⁾ České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická, Technická 2, 166 27 Praha 6, knapek@fel.cvut.cz, oslejpet@fel.cvut.cz

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

Abstrakt

Ekonomickou efektivnost projektů na cílené pěstování biomasy pro energetické účely lze hodnotit pomocí ekonomických modelů odrážejících typické podmínky realizace daných projektů. S využitím ekonomických modelů lze stanovit minimální cenu daného druhu biomasy, která představuje spodní limit ceny biomasy na trhu z pohledu producenta biomasy. Minimální cena biomasy zajišťuje požadovaný výnos na vložený kapitál pro investora. Článek prezentuje základní pravidla pro vytváření referenčních ekonomických modelů pro danou energetickou plodinu a metodiku výpočtu minimální ceny biomasy. Aplikace ekonomických modelů a výpočet minimální ceny biomasy jsou prezentovány na příkladu ekonomického modelu pro projekt pěstování biomasy z energetických travin na ploše 10 ha, kdy biomasa slouží jako vstup do bioplynové stanice. Modelový příklad prezentuje výsledky výpočtů minimální ceny biomasy včetně citlivostní analýzy a diskuze rizikových faktorů. Z výsledků výpočtů vyplývá, že použití biomasy z cíleně pěstovaných energetických travin je konkurenceschopné s jinými zdroji biomasy (např. kukuřice) a že měrné palivové náklady výroby elektřiny se pohybují na úrovni 0,95–1,5 Kč/kWh(el).

Klíčová slova: konkurenceschopnost biomasy, cena biomasy, ekonomické modely, sveřep, srha, ovsík

Abstract

The economic models reflecting the typical conditions of the projects aimed at the production of biomass for energy purposes can be used to evaluate the economic effectiveness of these projects. The economic models can serve for the minimum price calculation which is the limit acceptable price from the biomass producers point of view. Minimum price of biomass assures the required rate on capital invested for the biomass producer. The article presents the main rules for the economic models creation and the methodology of the minimum price of biomass calculation. Economic model application and the minimum price calculation are demonstrated on the example of economic model for the project aimed at energy grasses planting on the area 10 ha as an input into biogas station. Case model presents results of minimum price calculation including sensitivity analysis and the discussion of risk factors. Results of minimum price calculation indicate that biomass planting using energy grasses is fully competitive with other standard biomass inputs (e.g. with maize). The specific fuel cost of power generation in biogas power station using energy grasses as the input are in the range of 0.95–1.5 Kč/kWh(el).

Key words: biomass competitiveness, price of biomass, economic models, brome grass, cocksfoot, oat-grass

ÚVOD

Biomasa je v současné době nejdůležitějším obnovitelným zdrojem energie (dále jen OZE) v příspěvku OZE k primárním energetickým zdrojům (PEZ) v ČR. Z celkového příspěvku OZE k PEZ v roce 2009 ve výši 103,5 PJ činil podíl tuhé biomasy (pro spalování) cca 72% (74,4 PJ) a biomasy zpracovávané v bioplynových stanicích cca 5,3% (2 PJ). Biomasa hraje významný podíl i ve struktuře OZE užitých pro výrobu elektřiny. Z celkových 4,65 TWh elektřiny vyrobené v roce 2009 na bázi OZE (podíl OZE v roce 2009 na hrubé domácí spotřebě elektřiny tak byl 6,79%) bylo na bázi spalování tuhé biomasy vyrobeno 1,4 TWh elektřiny (30% z OZE celkem) a v bioplynových stanicích pak 0,44 TWh (9,5% z OZE celkem) – viz MPO2009.

Cíle pro rozvoj užití OZE do roku 2020 definuje Národní

akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů (dále jen NAP OZE), který byl zpracován podle Směrnice EU 2009/28. Biomasa hraje rozhodující roli v plánovaném rozvoji užití OZE, což lze dokumentovat jak očekávaným nárůstem užití biomasy pro výrobu elektřiny, tak i k nárůstu absolutního i relativního příspěvku biomasy k OZE jako celku. NAP OZE předpokládá, že v roce 2020 bude vyrobeno 3,3 TWh elektřiny spalováním tuhé biomasy a 2,87 TWh elektřiny z bioplynových stanic v zemědělství. Podíl biomasy tak překračuje 50% podílu na celkové očekávané výrobě elektřiny z OZE v roce 2020 (11,7 TWh). Významný je i nárůst podílu biomasy na PEZ jako celku, a to z cca 76,4 PJ v současnosti na cca 122 PJ v roce 2020. Násobně především roste využití biomasy v bioplynových stanicích (z 2 PJ v roce 2009 na 17 PJ v roce 2020) – viz MPO, 2010.

V současnosti se pro energetické účely (v kontextu tohoto článku se za energetické účely považují výroba elektřiny a tepla, nikoliv výroba kapalných biopaliv pro dopravu) užívá především zbytková a odpadní biomasa. Jen malý podíl biomasy je cíleně pěstovaná biomasa pro energetické účely. V současnosti (poslední známá statistická data jsou za rok 2009) se z celkové výroby elektřiny na bázi spalování biomasy vyrábí pouze cca 11 % z cíleně pěstované biomasy. Postupně narůstá výroba elektřiny v bioplynových stanicích užívajících cíleně pěstovanou biomasu (především kukuřici).

Zdroje zbytkové a odpadní biomasy, která by byla vhodná pro energetické účely, se rychle vyčerpávají a předpokládaný rozvoj užití biomasy není tak možný bez cíleného pěstování biomasy na zemědělské půdě. Očekávaný nárůst užití biomasy podle NAP OZE mezi lety 2009 a 2020 se pohybuje ve výši cca 45 PJ. Za předpokladu, že 2/3 tohoto nárůstu budou muset být kryty biomasou pocházející ze zemědělské půdy, znamená to nutnost pěstování biomasy pro energetické účely (bez kapalných biopaliv) na ploše cca 200 tis. ha – odhad dle Havlíčková et. al., 2010.

Masivní rozvoj pěstování biomasy pro energetické účely vyžaduje dostatek informací pro rozhodování podnikatelských subjektů zabývajících se jak pěstováním biomasy, tak i jejím užitím. Informace o ceně biomasy jsou v ČR v současné době značně zkrácené tím, že trh s biomasou pro energetické účely není v současnosti možné považovat za efektivně fungující trh poskytující správné cenové signály pro rozhodování potenciálních producentů a spotřebitelů biomasy. Investice do energetických zařízení na výrobu elektřiny a/nebo tepla jsou charakteristické vysokým podílem investičních nákladů v celkových nákladech. Investoři tak zvažují nejen dostupnost a zajištěnost paliva (biomasy), ale i možný cenový vývoj paliva (biomasy). Současný trh s biomasou je v převážné míře omezen na zbytkovou a odpadní biomasu. Na celkovém využití biomasy v současnosti se významným způsobem podílí odpadní biomasa, jejíž užití je často velmi omezené na místo jejího vzniku (např. tzv. celulózové výluhy, jichž se v roce 2009 spotřebovalo více jak 1 mil. tun – cca 1/3 biomasy užitá pro výrobu elektřiny a tepla). Statistiku do jisté míry zkracuje i to, že více jak jedna polovina užitá biomasy jde na vrub domácnostem s tím, že významnou část biomasy zde tvoří tzv. samosběr a lokální dodávky biomasy. Jen část z celkově spotřebovávané biomasy v současnosti tak vstupuje na trh s biomasou – dle údajů MPO lze odhadnout (viz MPO, 2009), že se jedná max. o polovinu z celkově spotřebovávané biomasy.

Do budoucna bude stále větší roli hrát cíleně pěstovaná biomasa. Tak, jak bude narůstat podíl cíleně pěstované biomasy, tak bude růst i její váha při hledání tržní ceny biomasy. Cena biomasy, stejně jako každé jiné komodity, je dána trhem – rovnováhou mezi nabídkou a poptávkou po dané komoditě. Z hlediska nabídky biomasy zde bude rozhodující roli hrát ekonomická efektivnost pěstování biomasy z pohledu jejích producentů. Spodní limit tržní ceny cíleně pěstované biomasy lze tak modelovat s využitím ekonomických modelů zachycujících referenční projekty pro pěstování daného druhu biomasy. Takto odhadnutou cenu biomasy lze použít jak pro vyhodnocování ekonomické efektivnosti projektů

zaměřených na užití biomasy, tak i pro hodnocení projektů zaměřených na pěstování biomasy. Je nutné respektovat fakt, že pokud jak pěstování biomasy, tak i její užití nebude pro soukromé investory ekonomicky efektivní, nebudou příslušné projekty realizovány. Současně může být cena biomasy odvozená s pomocí ekonomických modelů simulujících fungování typických projektů na pěstování daného druhu biomasy použita i pro stanovení ceny biomasy, resp. cenové formule, při uzavírání dlouhodobých kontraktů mezi producenty biomasy a jejími spotřebiteli. Uzavírání dlouhodobých kontraktů na dodávky biomasy je klíčové jak pro producenty biomasy (zejména v případě, že se zaměřují na pěstování biomasy z víceletých porostů), tak i pro investory do energetických zařízení. Energetická zařízení jsou charakteristická svojí dlouhou dobou životnosti, investoři bez přiměřeného zajištění daného druhu paliva zpravidla nejsou ochotni riskovat svoji investici.

Základním cílem článku je prezentování metodiky výpočtu minimální ceny biomasy a výsledky její aplikace na příkladu porostů energetických travin použitých pro produkci biomasy pro bioplynové stanice. Článek se současně zaměřuje na posouzení konkurenceschopnosti pěstování biomasy na porostech energetických travin v porovnání s předpokládanými měrnými palivovými náklady výroby elektřiny v bioplynových stanicích.

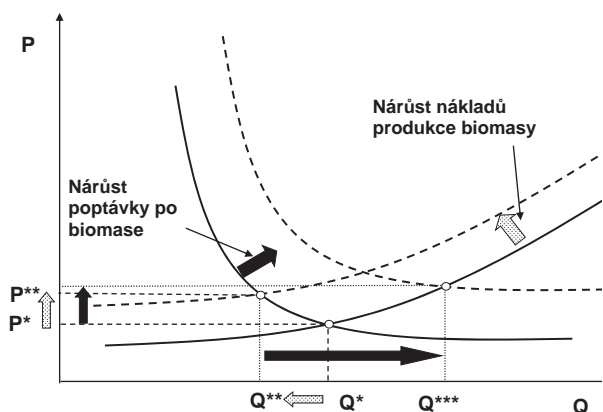
MATERIÁL A METODIKA

Modelování budoucí ceny biomasy

Další rozvoj užití biomasy, viz diskuze v úvodu, není možný bez masového rozvoje cíleného pěstování biomasy na zemědělské půdě. Tento způsob získávání biomasy tak bude hrát čím dál větší roli z hlediska tvorby trhu s biomasou. Vzhledem k tomu, že zdroje zbytkové a odpadní biomasy lze považovat za limitované a v současnosti do značné míry již využitá, budou náklady na získávání cíleně pěstované biomasy hrát roli marginálních nákladů na biomasu. Zde je třeba respektovat fakt, že projekty na cílené pěstování biomasy pro energetické účely budou realizovány soukromými investory. Racionální, ekonomicky uvažující investoři se nerozhodují na základě nákladů nebo zisku, ale spíše na základě výnosu z kapitálu vloženého do daného projektu (viz např. Brealey, Meyers, 1992). Pokud je očekávaná cena produkce taková, že investoři přináší pro něj zajímavé zhodnocení peněz investovaných do projektu, rozhodne se pro realizaci projektu. V opačném případě pak nikoliv.

Cena biomasy, stejně jako jakékoliv komodity, je určena rovnováhou mezi poptávkou a nabídkou po této komoditě. Jakékoliv změny v nabídce či poptávce po biomase se bezprostředně promítají ve změně ceny biomasy – viz graf. 1.

Nabídku i poptávku po biomase ovlivňuje celá řada faktorů. Z pohledu poptávky po biomase zde hraje roli především dostupnost a cena substitutů (např. dostupnost a cena tuzemského hnědého uhlí) a regulační zásahy státu (např. ekologické daně uvalené na fosilní paliva nebo podpora užití OZE).



Graf 1 Cena biomasy jako výsledek rovnováhy mezi nabídkou a poptávkou

Z hlediska nabídky biomasy jsou rozhodujícími faktory ty, které ovlivňují ekonomickou efektivnost projektů na získávání biomasy (např. ceny půdy, ceny hnojiv a dalších vstupů, podpory pro pěstování biomasy, obecné podmínky podnikání apod.).

Obecně tak lze modelovat budoucí cenu biomasy ze dvou různých úhlů pohledu:

- Z pohledu spotřebitele biomasy, který za biomasu jako palivo zaplatí maximálně tolik, kolik by zaplatil za jiné alternativní možnosti získání potřebných paliv (při respektování vlivu všech ekologických daní a podpor do užití OZE). Pak hovoříme o tzv. maximální ceně komodity z pohledu spotřebitele – c_{\max} .
- Z pohledu producenta biomasy, který bude požadovat za svoji komoditu minimálně takovou cenu, která mu zajistí jím požadovaný výnos na vložený kapitál do projektu na získávání biomasy. Pak hovoříme o tzv. minimální ceně z pohledu producenta – c_{\min} .

Pokud producent nemůže získat jím požadovanou minimální cenu za svoji produkci (tj. maximální cena z pohledu spotřebitele je nižší než minimální cena z pohledu producenta), pak do takového projektu nebude investovat. Z dlouhodobého hlediska tak minimální cena z pohledu producenta (investora) tvoří spodní limit ceny dané komodity (při zanedbání možných krátkodobých fluktuací ceny komodity).

Pokud budeme vycházet z předpokladu, že v daném okamžiku není omezena nabídka zemědělské půdy jako primárního výrobního faktoru, a pokud budeme současně předpokládat, že nedojde k přebytku biomasy na trhu (což vzhledem k očekávaným nárůstům užití biomasy, rychle se vyčerpávajícím zásobám tuzemského hnědého uhlí, podporám užití biomasy, apod. pravděpodobně nelze očekávat), pak minimální cena biomasy odvozená z analýzy ekonomické efektivnosti projektů z pohledu producenta bude tvořit dobrý odhad spodního limitu ceny biomasy v nejbližším období cca 10 let. To samozřejmě neznamená, že pokud bude tržní cena biomasy vyšší než je producenty požadovaná minimální cena biomasy, že nebudou prodávat biomasu za vyšší než potřebnou minimální cenu. Lze však očekávat, že v takovémto případě by se na pro-

dukci biomasy orientovala řada nových investorů, což by vedlo ke zvýšení nabídky biomasy a k vyrovnání mezi poptávkou a nabídkou po biomase (a tím i ke sblížení minimální ceny z pohledu investora a maximální ceny z pohledu spotřebitele).

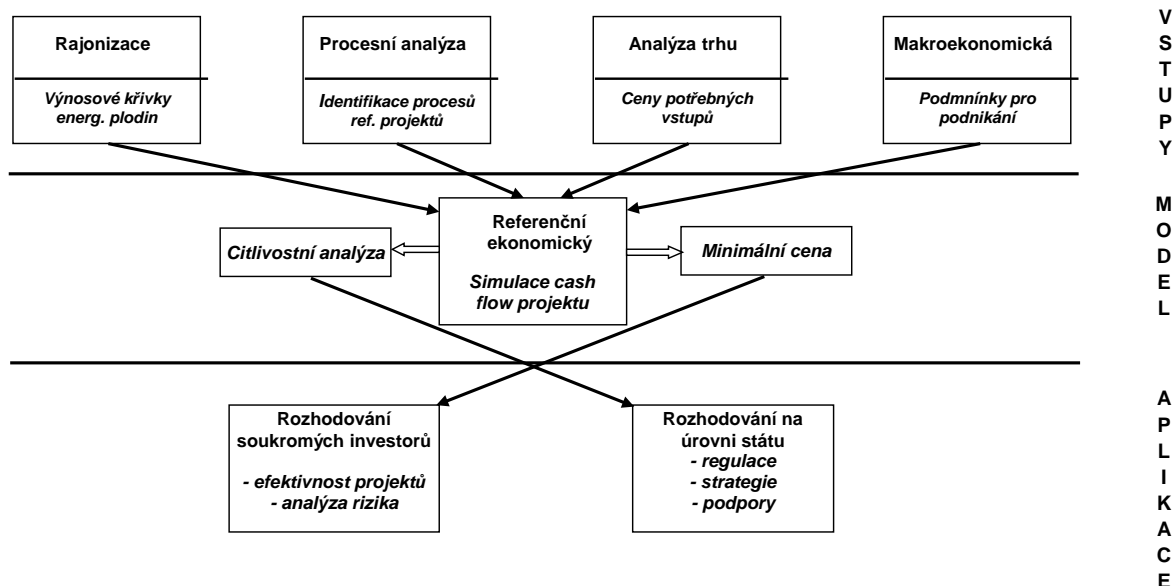
Ekonomické modely pro určení minimální ceny biomasy

Pro modelování (odhad) budoucí ceny daného druhu biomasy se využívají ekonomické modely simulující typické podmínky realizace daného druhu projektu – např. typické realizace plantáže RRD nebo porostů energetických plodin. Pro sestavení referenčního modelu, který odráží typické podmínky pěstování dané energetické plodiny, je třeba:

- Získat typické výnosové křivky pro danou energetickou plodinu, které by odrážely výnosy biomasy pro nejčastější podmínky (půda, klima, svažitost terénu atd.). Vychází se zde z analýzy vztahu výnosů dané energetické plodiny a podmínek dané lokality – tzv. rajonizace. Výsledkem je vytvoření několika scénářů výnosů biomasy odrážejících např. výnosy biomasy na nejhodnějších, průměrně vhodných, méně vhodných a nevhodných lokalitách.
- Identifikovat všechny procesy, které je nezbytné zajistit proto, aby mohl být úspěšně připraven a realizován projekt na pěstování biomasy pro energetické účely. Procesní analýza musí zahrnovat všechny fáze životního cyklu projektu, tj. včetně přípravných procesů a procesů po skončení doby životnosti projektu (např. likvidace porostu a navrácení plochy do původního stavu). Součástí procesní analýzy je i stanovení potřebného rozsahu jednotlivých procesů. Zde se využívá empiricky zjištěných dat, např. z časových snímků činností na experimentálních plochách, nebo dat zjištěných v literatuře pro podobné či analogické projekty či operace.
- Analyzovat trh s jednotlivými službami a materiálovými vstupy nezbytnými pro realizaci projektu (např. ceny jednotlivých služeb jako např. orba, sázení, náklady lidské práce, cena hnojiv atd.) tak, aby bylo možné ocenit jednotlivé identifikované procesy v peněžních jednotkách.
- Analyzovat makroekonomické prostředí vzhledem k dané oblasti podnikání – např. ceny nájmu zemědělské půdy a jejich očekávaný vývoj, výše zemědělských a dalších dotací, daně, očekávaná inflace atd.

Logiku vazeb mezi vstupy a výstupy referenčního ekonomického modelu pro danou energetickou plodinu dokumentuje graf 2.

Referenční model pro danou energetickou plodinu musí důsledně respektovat princip „oportunitní cost“. To znamená, že všechny vstupy do projektu musí být oceněny tržními cenami, nelze zde aplikovat zkreslující předpoklady, že některé aktivity jsou poskytnuty za snížené ceny či zadarmo, či že náklady na některé aktivity jsou zahrnuty do nákladů jiných činností investora. Respektování tohoto principu zahrnuje i respektování časové hodnoty peněz pomocí diskontování. Podrobně jsou pravidla pro sestavování ekonomických modelů pro modelování ceny biomasy diskutována, např. v Havlíčková et al., 2008.



Graf 2 Vazby mezi vstupy a výstupy referenčního ekonomického modelu pro danou energetickou plodinu

Ekonomický model simuluje hotovostní toky (cash flow) z pohledu investora realizujícího projekt, které jsou vyvolané realizací (referenčního) projektu na pěstování biomasy s využitím dané energetické plodiny.

Referenční model, který odráží typické podmínky realizace projektu na pěstování daného druhu biomasy, slouží jednak ke stanovení (typické) minimální ceny biomasy (pro danou energetickou plodinu) a jednak umožňuje i citlivostní analýzu, kdy se testuje změna minimální ceny na změně jednotlivých vstupů do modelu.

Metodika výpočtu minimální ceny

Základním kritériem pro hodnocení ekonomické efektivity projektů je kritérium čisté současné hodnoty – NPV (viz např. Brealey, Meyers, 1992). Investor na základě kritéria NPV investuje tehdy, pokud je součet diskontovaných hotovostních toků generovaných realizací projektu vyšší (nebo přinejmenším roven) počáteční investici – čili pokud je hodnota NPV větší nebo rovna nule. Úlohu stanovení hodnoty NPV však lze formulovat i obráceně. Pro stanovenou hodnotu diskontu (který definuje investorem požadovaný výnos z vloženého kapitálu) a pro definované vstupy do projektu (např. náklady na mzdy, osivo, hnojení atd.) a pro definovanou výnosovou křivku biomasy spočítat takovou cenu za prodávanou biomasu, která by zajistila NPV rovné alespoň nule (viz vztah 1).

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

Kde t ... příslušný rok v průběhu realizace projektu

CF_t ... cash flow v roce t (tj. rozdíl mezi příjmy a výdaji projektu v roce t) [Kč]

r_n ... (nominální) diskont [-]

T_n ... doba životnosti projektu [roky]

Pak investor realizuje výnos na vložený kapitál v požadované výši. Vztah 1 lze dále rozepsat po vyjádření CFt jako rozdílu mezi příjmy a výdaji s tím, že příjmy projektu jsou vyjádřeny jako součin minimální ceny a množství produkované biomasy (plus event. dotace) – viz vztah 2:

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

Kde Q_t ... množství vyráběné biomasy v roce t [v GJ]

$c_{\min,t}$... minimální cena biomasy v roce t [v Kč/GJ]

Projekty jsou realizovány ve standardním podnikatelském prostředí, je tedy nutné respektovat i očekávanou inflaci. Jednotlivé položky výdajů jsou v každém dalším roce navyšovány o čekávanou inflaci, stejně tak je navyšována i minimální cena. Minimální cenu biomasy v t -tém roce tak lze s pomocí inflace vyjádřit pomocí vztahu 3:

$$c_{\min,t} = c_{\min,1} \cdot (1 + inf)^t \quad (3)$$

Kde $c_{\min,1}$... minimální cena biomasy v prvním roce realizace projektu [Kč/GJ]

inf ... průměrná očekávaná inflace [-]

Po dosažení vztahu 3 do vztahu 2 lze pak vyjádřit $c_{\min,1}$, tj. cenu biomasy v prvním roce realizace projektu. Tuto cenu,

s předpokladem navyšování její výše o průměrnou očekávanou inflaci, pak investor potřebuje nejméně dosáhnout, aby získal jím požadovaný výnos na vložený kapitál.

Minimální cenu biomasy je vhodné vyjadřovat vztaženou na jednotku tepla v palivu. Odstraní se tak riziko neporovnatelnosti hodnot minimální ceny pro různé druhy biomasy, které mají různou vlhkost.

Nejdůležitějšími faktory, které ovlivňují minimální cenu, jsou:

- Hodnota diskontu (výnos na investorem vložený kapitál). Hodnota diskontu musí odrážet riziko daného druhu podnikání.
- Výše cen jednotlivých vstupů – práce, služeb apod.
- Náklady na nájem půdy. Nájem půdy jsou v současnosti významně nižší než je tomu v zemích EU15: Podle údajů Eurostatu (pro rok 2007) jsou ceny zemědělské půdy, např. v Německu 4–6× vyšší, než je tomu v ČR. Relace výše nájmu kopíruje relaci cen zemědělské půdy. Rozpětí nájmu za zemědělskou půdu v zemích EU15 v rozmezí 4–6 násobku oproti tuzemské výši nájmu uvádí i Svaz vlastníků půdy České republiky.
- Výnosy biomasy. Výnosy mohou být zvýšeny optimalizací agrotechnických postupů a zejména výběrem vhodných druhů biomasy pro dané podmínky stanoviště.
- Výše podpor, a to jak jednorázových (např. na založení porostu), tak i provozních získávaných v průběhu realizace projektu.

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.

Zdroje dat pro sestavení ekonomického modelu pro energetické traviny

Metodika prezentovaná v tomto článku je aplikovatelná pro jakékoliv druhy biomasy cíleně pěstované pro energetické účely. V následující kapitole je prezentována aplikace metodiky na porosty energetických travin sloužících pro produkci biomasy pro bioplynové stanice.

Data, která byla použita pro tvoření referenčního ekonomického modelu pro energetické traviny, byla získána v rámci řešení výzkumného úkolu MŠMT 2B06131 Nepotravinářské užití biomasy, z analýzy trhu (ceny vstupů) v cenové úrovni roku 2010 a z makroekonomické analýzy (odhad průměrné budoucí inflace, hodnota diskontu) na základě podmínek roku 2010. Typické výnosové křivky pro kombinace jednotlivých faktorů ovlivňujících výnos biomasy byly rovněž získány v rámci řešení projektu MŠMT 2B06131.

VÝSLEDKY

Modelování minimální ceny biomasy pro energetické traviny

Energetické traviny (ovsík, srha, sveřep) jsou jednou z možností produkce biomasy pro bioplynové stanice, a to především v produkčně méně vhodných oblastech. Obdobně jako v případě porostů lesknice rákosovité i v případě energetických travin se uvažuje víceletý porost. Na rozdíl od lesknice rákosovité, kde je možné počítat s cca desetiletou dobou životnosti porostu, v případě energetických travin se uvažuje kratší horizont, cca 7 let.

Biomasa z energetických travin je vzhledem ke svému složení (malý obsah sušiny) především vhodná jako vstup do bioplynové stanice.

Pro výpočet minimální ceny biomasy je použit postup uvedený v části metodika. Vzhledem k použití biomasy jako vstupu do bioplynové stanice není možné vyjadřovat minimální cenu biomasy v Kč/GJ tepla v palivu v produkované biomase, ale s uvažováním účinnosti transformace energetického obsahu do bioplynu, tedy v Kč/GJ tepla v bioplynu. Do ekonomického modelu je tak třeba zahrnout i odvoz do bioplynové stanice a stále a proměnné náklady skladování biomasy v bioplynové stanici. Vzhledem ke zvyklostem v energetice je též vhodné vyjádřit minimální cenu biomasy (jako palivové náklady) v Kč/kWh vyrobené elektřiny.

Pro všechny tři uvažované energetické traviny je možné využít jeden ekonomický model, protože procesy získávání biomasy jsou shodné a jednotlivé energetické traviny se liší pouze výnosem na jednotlivých lokalitách (podle vhodnosti podmínek lokality vůči dané energetické travině).

Ekonomický model energetických travin obsahuje následující okruhy procesů:

- Přípravné procesy a režie.
- Příprava pozemku.
- Založení porostu.
- Sklizeň a procesy mezi sklizněmi.
- Silážování.
- Likvidace porostu.

Ekonomický model pro energetické traviny je založen na následujících předpokladech:

- Rozloha porostu 10 ha, doba životnosti porostu 7 let.
- Předpokládají se celkem 4 sklizně v průběhu roku, biomasa je použita jako vstup do bioplynové stanice.
- Pozemek je připravován na podzim, výsev na jaře následujícího roku. Založení porostu a všechny předstihové činnosti jsou shodné s porostem lesknice rákosovité.
- Hnojení N v průběhu doby životnosti porostu je zajištěno LAV (LV), a to ve výši cca 180 kg LAV/ha (což při cenové úrovni roku 2010 znamená cca 1,6 tis. Kč/ha). Hnojení P, K se předpokládá v intervalu cca 1 × za 4 roky, a to ve výši cca 4,4 tis. Kč/ha.
- Předpokládá se doprava do bioplynové stanice na vzdálenost 20 km (konzervativní odhad).

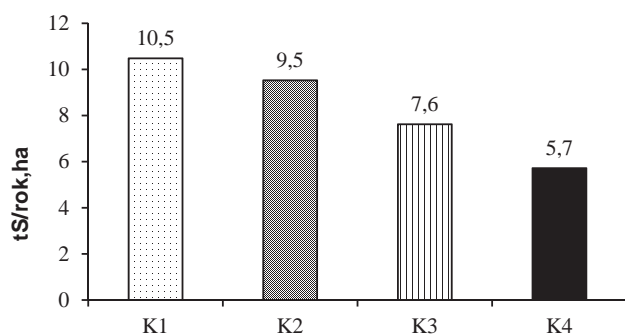
- Do modelu je zahrnuta senážní jáma (variabilní i stálé náklady).

Dotace ovlivňují zcela zásadně ekonomickou efektivnost projektu na pěstování biomasy pro energetické účely. V případě víceletých energetických porostů je problémem odhadnout, jaká bude výše dotací v budoucím období při neznámém pokračování společné zemědělské politiky zemí EU (v oblasti dotací po roce 2013). Proto je vhodné počítat vyšší minimální ceny biomasy pro více různých scénářů dotací včetně scénáře bez dotace. Dalšími dvěma možnými scénáři jsou scénář dotace SAPS ve výši 2010 (s pokračováním v konstantní výši po celou dobu projektu) a optimistický scénář s nárůstem dotace od roku 2010 o 7 % ročně. Tyto scénáře vymezují pravděpodobné mezní stavy a referenční známý stav. V dalším textu jsou tyto tři scénáře označovány jako scénáře: (1) bez SAPS, (2) SAPS 2010, (3) SAPS 2010, 7 %.

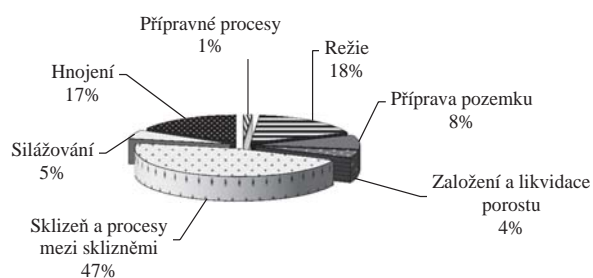
Model předpokládá výnosové křivky biomasy v rozsahu od 3,2 do 8,1 t (suš.)/ha/rok – viz graf 3.

Strukturu výdajů projektu (v současné hodnotě) znázorňuje graf 4. Ze struktury výdajů je vidět váha jednotlivých procesů (resp. výdajů na jejich zajištění) při stanovení minimální ceny biomasy.

Zdaleka největší váhu ve struktuře výdajů projektu (v současné hodnotě) mají výdaje na sklizeň a odvoz biomasy do místa uložení (celkem 47 % celkových výdajů projektu). Režijní náklady, mezi které patří i náklady na nájem pozemku, daň z pozemků a režie podnikatelského subjektu, jsou druhou nejvýznamnější položkou. Obdobnou váhu mají i náklady na hnojení, ostatní položky jsou již relativně méně významné,



Graf 3 Předpokládané výnosové křivky energetických travin



Graf 4 Struktura výdajů porostu energetických travin

a to včetně nákladů na silážování a manipulaci do bioplynové stanice.

Kromě jednotlivých druhů výdajů ovlivňuje, a to podstatně, minimální cenu i předpoklad určité výnosové křivky. Podstatná část výdajů projektu totiž zůstává fixní bez ohledu na to, jaký je výnos biomasy. Vyšší minimální ceny biomasy pro jednotlivé výnosové křivky biomasy uvádí následující tabulka 1.

Tab. 1 Minimální cena biomasy v Kč/GJ tepla v palivu (v bioplynu)

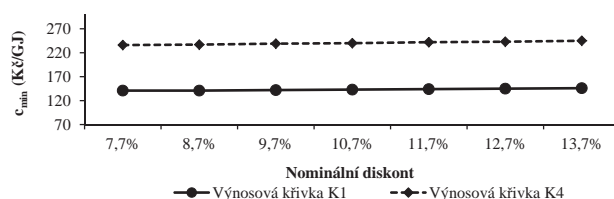
	bez dotace	dotace SAPS 2010	dotace SAPS 2010, 7%
	Kč/GJ	Kč/GJ	Kč/GJ
K1	141	104	98
K2	153	112	106
K3	185	133	125
K4	237	169	158

V případě použití biomasy jako vstupu do bioplynové stanice je zajímavým ukazatelem minimální cena biomasy přepočtená na měrné palivové náklady na výrobu elektřiny v Kč/kWh. Při modelovém propočtu za předpokladu obsahu metanu v bioplynu ve výši 52 % a konzervativní výši výtěžnosti produkce bioplynu ve výši 520 Nm³/tS pak přepočtená minimální cena na měrné palivové náklady vychází dle tabulky 2 (při uvažování cca 40% účinnosti výroby elektřiny).

Tab. 2 Měrné palivové náklady výroby elektřiny v bioplynové stanici

	bez dotace	dotace SAPS 2010	dotace SAPS 2010, 7%
	Kč/kWh	Kč/kWh	Kč/kWh
K1	1,27	0,94	0,88
K2	1,38	1,01	0,95
K3	1,67	1,20	1,13
K4	2,13	1,52	1,42

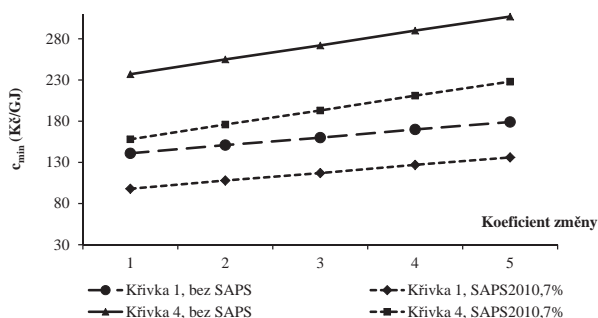
Vliv změny výše diskontu na minimální cenu biomasy z energetických travin pro bioplynovou stanici je v podstatě zanedbatelný. Je to dáno tím, že relativně malá část výdajů je vynakládána jednorázově na začátku projektu. Pak i relativně vyšší



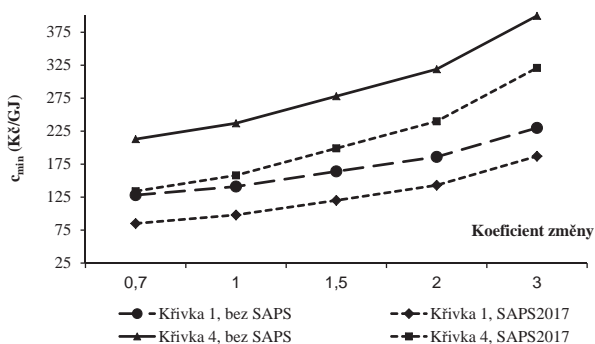
Graf 5 Vliv změny diskontu na výši minimální ceny biomasy energetických travin pro bioplynovou stanici – scénář bez dotace

změny hodnoty diskontu zanedbatelně ovlivňují hodnotu minimální ceny biomasy. Výsledky citlivostní analýzy na hodnotu diskontu jsou uvedeny v následujícím grafu 5 pro křivky K1 a K4 za předpokladu nulové dotace.

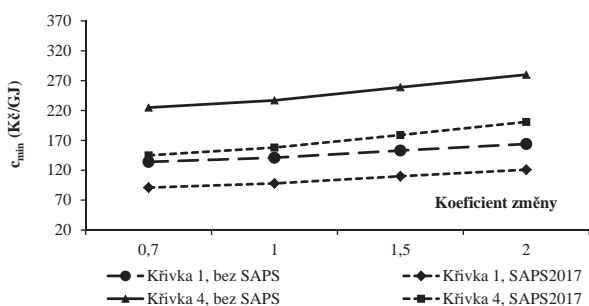
Vliv změny výše nájmu uvádí graf 6. Z grafu je zřejmé, že pokud by došlo k skokovému vyrovnání cen nájmu zemědělské půdy se zeměmi EU15 (např. Německo, Rakousko atd.), kde jsou ceny zemědělské půdy a tím i její nájem cca 4–6× vyšší než v současnosti v ČR, mělo by to významný vliv na vyšší minimální ceny biomasy.



Graf 6 Vliv nárůstu nájmu zemědělské půdy na minimální cenu biomasy pro výnosové křivky K1 a K4



Graf 7 Vliv nárůstu nákladů na sklizeň na minimální cenu biomasy pro výnosové křivky K1 a K4



Graf 8 Vliv nárůstu nákladů na hnojení na minimální cenu biomasy pro výnosové křivky K1 a K4

Obdobným způsobem lze dokumentovat vliv nárůstu nákladů na zajištění sklizně a na hnojení na minimální cenu, i když v tomto případě není racionální testovat změnu minimální ceny biomasy v tak velkém rozmezí, jako tomu bylo v případě nájmu půdy.

Náklady spojené s přípravou a založením projektu jsou naopak málo rizikové. Jednak jsou vynakládány hned na počátku projektu a subjekt je má pod daleko větší kontrolou než budoucí náklady činností, které musí být při již běžícím projektu (pokud se provozovatel nerozhodne projekt zastavit) uhrazeny bez ohledu na výši. Pokud by náklady spojené s přípravou projektu a založením projektu byly příliš vysoké, může investor snadno projekt zastavit hned na počátku bez vynaložení významných peněžních prostředků. Režijní náklady sice běží po celou dobu projektu, opět je však má investor pod významně vyšší kontrolou než náklady na zajišťování nakupovaných služeb a vstupů.

U porostů travin obecně platí, že s klesajícím průměrným ročním výnosem biomasy významně stoupá citlivost minimální ceny na změny vstupních parametrů. V případě produkce biomasy jako vstupu do bioplynové stanice je klíčovým faktorem i množství produkovaného bioplynu – tj. efektivnost použití biomasy. Pouze část energetického obsahu v biomase přechází do bioplynu, proto jsou minimální ceny biomasy v tomto případě podstatně vyšší než je tomu u přímého spalování. Náklady na pěstování zůstávají stejné, produkce energie je však zhruba pouze poloviční.

DISKUZE

Minimální cena biomasy z energetických travin použitých jako vstup do bioplynových stanic pro výrobu elektřiny se pohybuje v rozmezí cca 0,95–1,5 Kč/kWh(el). Jde o hodnotu minimální ceny přepočtenou na energii bioplynu a při uvažování 40% účinnosti výroby elektřiny, a to při předpokladu současné výše zemědělských dotací (platba na plochu). Tato výše minimální ceny biomasy je konkurenceschopná s v současnosti převažujícím způsobem zajišťování vstupu biomasy v podobě zelené biomasy z kukuřice. V současnosti předpokládanou výši měrných palivových nákladů lze odvodit z garantované výkupní ceny elektřiny z bioplynových stanic (viz cenové rozhodnutí ERÚ č. 2/2010), měrných investičních nákladů, doby životnosti a využití instalovaného výkonu bioplynových stanic (viz příloha č. 3 vyhlášky ERÚ 475/2005 Sb. v platném znění). Při uvažování měrných investičních nákladů ve výši 110 tis. Kč/kW, výkupní ceně elektřiny z bioplynu 4,12 Kč/kWh, výnosu na vložený kapitál 7% a výši měrných provozních nákladů bioplynových stanic ve výši cca 4% (bez palivové složky) lze odvodit uvažovanou výši měrných investičních nákladů v úrovni cca 1,5–1,7 Kč/kWh (po započtení vlivu daní). To signalizuje možnou ekonomickou výhodnost využití energetických travin pro pěstování biomasy jako vstupu do bioplynových stanic. Tento závěr je však třeba ověřit i v praktických podmínkách realizace pilotního projektu.

Pěstování biomasy energetických travin pro energetické účely je charakteristické (oproti např. plantážím rychle rostoucích

dřevin, ale i některých víceletých porostů nedřevnatých energetických plodin) podstatně nižší vahou nákladů na přípravu projektu, a především založení porostu. To významným způsobem snižuje rizika tohoto typu projektu, např. oproti plantážím rychle rostoucích dřevin. Z tohoto důvodu je současně citlivost minimální ceny biomasy na změnu diskontu (tj. na změnu očekávaného výnosu na kapitál ze strany investora) malá, v zásadě zanedbatelná. Významnější může být již vliv změn výše nájmu zemědělské půdy, a to vzhledem k v současnosti diskutovanému rozdílu mezi výší nájmu zemědělské půdy v ČR a zemích EU15. Rozdíl se pohybuje dle údajů EUROSTAT v rozmezí až 4–6násobku nájmu v EU15 oproti podmínkám v ČR. Zvýšení nájmu za zemědělskou půdu na hodnoty běžné v zemích EU15 by vedlo k významnému nárůstu minimální ceny biomasy z porostů energetických travin. Nicméně zde je třeba vzít do úvahy to, že obdobným způsobem by došlo ke zvýšení nákladů na cílené pěstování biomasy i na jiných druzích porostů a v zásadě by zůstal zachován poměr mezi minimálními cenami pro jednotlivé formy biomasy.

Zdaleka nejdůležitějším rizikovým faktorem z hlediska výše minimální ceny biomasy jsou předpoklady o použité výnosové křivce. Z tabulek 1 a 2 vyplývá, že změna očekávané výše výnosu biomasy naprosto zásadním způsobem ovlivňuje výši minimální ceny biomasy, a to z důvodu, že při poklesu či nárůstu produkce biomasy zůstávají náklady v podstatě konstantní. To pak způsobuje významné změny minimální ceny biomasy. Výši výnosu biomasy lze ovlivnit především správnou volbou použití agrotechnologií pro podmínky dané lokality.

Minimální cena biomasy odvozená od kritériální podmínky $NPV=0$ respektuje efektivnost projektu z pohledu investora. Jde o spodní limitní cenu, kterou je producent (investor) ochoten akceptovat, aby měl zaručen požadovaný výnos z vloženého kapitálu. Tržní cenu biomasy pak ovlivňují další faktory, jako je potenciální ekonomický výnos z alternativních možností užití zemědělské půdy, ceny substitutů (uhlí a dalších fosilních paliv) po započtení vlivu emisních povolenek na emise CO_2 . Minimální cenu biomasy odhadnutou pomocí modelování ekonomické efektivnosti projektů na produkci biomasy tak nelze mechanicky zaměňovat za odhad budoucí ceny biomasy na trhu bez respektování vlivu těchto dalších faktorů. Například pokud bude ekonomická efektivnost (na jednotku plochy) pěstování klasických zemědělských plodin vyšší než ekonomická efektivnost cíleně pěstované biomasy pro energetické účely, bude producent biomasy vyžadovat vyšší než minimální cenu tak, aby se srovnala ekonomická efektivnost obou alternativ užití zemědělské půdy.

ZÁVĚR

Ekonomické modely mohou sloužit jako nástroj pro analýzu efektivnosti projektů zaměřených na cílené pěstování biomasy pro energetické účely a současně umožňují stanovit spodní limit ceny daného druhu biomasy z pohledu jejích producentů tak, aby produkce biomasy byla pro investory efektivní. Minimální cenu biomasy lze interpretovat jako odhad spod-

ního limitu ceny biomasy v dlouhodobějším horizontu. Takto odhadnutá cena biomasy poskytuje cenné informace jak pro rozhodování investorů do produkce a užití biomasy, tak i pro rozhodování státních orgánů při návrhu a správném nastavení případných podpůrných schémat pro pěstování a užití biomasy pro energetické účely.

Analýza toků hotovosti v průběhu doby realizace projektu na pěstování biomasy pro energetické účely umožňuje i optimální výběr způsobu podpory, resp. optimální kombinaci různých způsobů podpory (např. kombinace dotací na založení porostu, dotací vázaných na plochu a dotací vázaných na výši produkce biomasy). Analýza toků hotovosti spolu s analýzou rizikových faktorů ovlivňujících ekonomickou efektivnost projektů na pěstování biomasy tak představuje významný zdroj informací pro nastavení ekonomicky efektivního schématu podpory.

LITERATURA

- Brealey, J., Meyers, M. (1992): Teorie a praxe firemních financí. Victoria Publishing, Praha, ISBN 80-85-605-24-4.
- Havlíčková, K., Knápek, J., Vašíček, J. (2008): Modelling of Intentionally Planted Biomass Prices in CR. In 10th World Renewable Energy Congress – WREC. Oxford: Elsevier, vol. 1, p. 160–165.
- Havlíčková, K., Knápek, J., Vašíček, J. et al. (2010): Analýza potenciálu biomasy v České republice. 1. vyd. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice, 498 s., ISBN 978-80-85116-72-4.
- Knápek, J., Vašíček, J. (2010): Ekonomická efektivnost OZE pro výrobu elektřiny – současnost a budoucnost. In Bioplyn Třeboň 2010. Praha, Ministerstvo průmyslu a obchodu ČR, s. 69–79, ISBN 978-80-254-7903-2.
- Národní akční plán České republiky pro energii z obnovitelných zdrojů. MPO 2010.
- Obnovitelné zdroje energie v roce 2009 – výsledky statistického zjišťování. MPO 2009.

*Rukopis doručen: 7. 3. 2011
Přiját po recenzi: 21. 3. 2011*

EKONOMIKA PĚSTOVÁNÍ OZDOBNICE PRO ENERGETICKÉ ÚČELY V ČESKÉ REPUBLICE

ECONOMIC EFFECTIVENESS OF MISCANTHUS PLANTING FOR ENERGY PURPOSES IN THE CZECH REPUBLIC

Kamila Havlíčková¹⁾, Jaroslav Knápek²⁾

¹⁾ Výchovný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, v. v. i., Květnové nám. 391, 252 43 Průhonice, havlickova@vukoz.cz

²⁾ 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 ozdobnice 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 efektivity produkce pro investora a pro její stanovení se používá ekonomický model zachycující všechny procesy související s pěstováním biomasy pro energetické účely. Porosty ozdobnice jsou pěstovány na produkci biomasy pro přímé spalování (tzv. jarní sklizeň po zimě). Použité vstupní údaje v modelu pocházejí z experimentálně zjištěných dat na výzkumných plochách porostu ozdobnice a z tržního ocenění jednotlivých činností. Minimální cena ozdobnice vychází v rozpětí 72–284 Kč/GJ (ceny roku 2009) v závislosti na výnosech a termínu sklizně.

Klíčová slova: ozdobnice, ekonomické aspekty, produkce biomasy, minimální cena

Abstract

The paper deals with miscanthus planting on agricultural 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. Miscanthus growth can be aimed at biomass production for direct burning (spring harvest after winter). 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 miscanthus were calculated to be in the range app. 2.88–11.36 EUR/GJ (2009 prices) in the condition of the Czech Republic for the next decade.

Key words: miscanthus, economic aspect, biomass production, minimum price of biomass

ÚVOD

Biomasa je z hlediska 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 (MPO, 2004).

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 předikovat vývoj ceny na trhu s danou komoditou, v tomto případě ceny biomasy (Havlíčková a kol., 2010).

Cena biomasy je rozhodujícím faktorem pro rozlišení mezi „teoretickým“ potenciálem energie v dané formě biomasy a potenciálem, který je možné reálně využít vzhledem k trhu s biomasou a dalšími energetickými komoditami. Často nastává situace, kdy je potenciál určité formy biomasy relativně velký, ale náklady na její získání jsou takové, že je z ekonomického hlediska nereálné jej využít.

Cílem práce je ekonomické zhodnocení pěstování ozdobnice pro energetické využití – spalování (jarní sklizeň) a vypočtení minimální ceny biomasy, která je pro investora ekonomicky

efektivní. Ve výpočtu jsou zahrnuty veškeré nezbytné procesy, které jsou potřebné pro pěstování ozdobnice.

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, tak i do jejího pěstování. Rozhodování obou typů subjektů je standardně rozhodováním zahrnujícím delší časové horizonty. Investoři do energetických zařízení potřebují mít zajištěn přísun paliva a budou tedy vyžadovat dlouhodobé kontrakty na dodávku biomasy. Naopak, např. investoři do porostů energetických plodin 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.

Při úvahách dotýkajících se ekonomiky užití biomasy, resp. jednotlivých jejích forem, je třeba pečlivě rozlišovat mezi náklady na získání určité formy biomasy a cenou biomasy. Projekty na získávání biomasy budou, stejně jako valná většina projektů v ekonomice, realizovány soukromými investory. Racionální, ekonomicky uvažující investoři se nerozhodují ani tak na základě nákladů (např. jejich roční kalkulace), jako spíše na základě výnosu z kapitálu vloženého do daného projektu – tedy na základě skutečných peněz. Pokud je cena produkce taková, že investorovi přináší pro něj zajímavé zhodnocení vložených peněz, rozhodne se pro realizaci projektu. V opačném případě pak nikoliv.

Investor si tak na jedné straně kalkuluje efektivnost projektu a počítá, jaká cena produkce by pro něj byla přijatelná tak, aby mu pokryla náklady a zajistila jím požadované zhodnocení investice. Na druhou stranu je třeba respektovat základní fakt, že cena biomasy, resp. jednotlivých jejích forem, je stejně jako každé jiné komodity určována trhem, a nikoliv přáním výrobce. Faktorů, které ovlivňují cenu biomasy, je velké množství a ovlivňují jak stranu nabídky, tak i stranu poptávky po biomase. Například vyšší poptávka po biomase vede jednoznačně ke zvyšování její ceny. Naopak dotace pro výrobce umožňují snížit tlak na cenu požadovanou výrobcem. Současně je třeba respektovat fakt racionality producentů biomasy. Bez ohledu na to, jak jim vyšla kalkulace ceny biomasy, budou prodávat biomasu za její tržní cenu, i kdyby náklady na její získání byly podstatně nižší.

Při odhadování ceny biomasy, resp. jednotlivých jejích forem, hraje roli řada faktorů. Rozhodující pro cenu biomasy je vztah mezi poptávkou a nabídkou na příslušném trhu. Nicméně je možné při odhadech budoucí ceny biomasy vycházet z ekonomických modelů, které simulují procesy nezbytné pro získání dané formy biomasy, a které zohledňují očekávání investora na zhodnocení jím vloženého kapitálu. Pracuje se zde s předpokladem, že výstupy z takovýchto modelů představují tzv. dlouhodobé marginální náklady. To znamená, že za předpokladu dlouhodobé poptávky po biomase (v určité výši) se dlouhodobě ustálí cena biomasy, resp. její formy, na úrovni, která zajistí investorovi pokrytí všech výdajů a jím požadova-

né zhodnocení kapitálu.

V souladu s ekonomickou teorií se soukromí investoři snaží maximalizovat ekonomický efekt plynoucí z realizace daného projektu (Brealey, Meyers, 1992), respektive vybírají pro realizaci ty projekty, které k maximalizaci ekonomického prospěchu z jejich pohledu vedou.

Ekonomická efektivnost projektů se měří kritérii ekonomické efektivnosti. Základním kritériem pro rozhodování o realizaci či nerealizaci projektu je kritérium čisté současné hodnoty – NPV (Net Present Value):

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

kde hotovostní tok CF_t v t -tém roce je dán jako rozdíl mezi příjmy a výdaji v tomto roce:

$$CF_t = P_t - V_t \quad (2)$$

- T_h ... doba hodnocení [roky]
- r_n ... nominální diskont [-]
- t ... t -tý rok hodnoceného období [-]
- P_t ... příjmy v t -tém roce hodnoceného období [Kč]
- V_t ... výdaje v t -tém roce hodnoceného období [Kč]

Výdaje v t -tém roce představují jak provozní výdaje na materiál, energii, mzdy, opravy a údržbu, pojištění majetku, režijní náklady apod., tak i placené úroky a daně. V prvním roce realizace projektu sem patří i jednorázové výdaje investičního charakteru.

Kritérium NPV respektuje časovou hodnotu peněz a hodnota kritéria pro daný projekt pak udává, jaký je čistý výnos pro investora (v hodnotě přepočítané k současnosti) v porovnání s alternativními možnostmi, které má investor pro investování k dispozici. Z toho pak vyplývá rozhodování investora na základě hodnoty NPV:

- pokud je NPV projektu > 0 , pak by investor měl do daného projektu investovat,
- pokud je NPV projektu < 0 , pak investor do daného projektu nebude investovat (pokud investor nebude mít další důvody pro investování, které nebylo možné ekonomicky vyjádřit),
- pokud je NPV projektu $= 0$, pak investor dosahuje stejného ekonomického efektu jako v případě alternativních možností pro investování, které má k dispozici.

Výpočet NPV projektu je založen na simulování hotovostních toků (CF) za stanovenou dobu (např. za dobu životnosti projektu). Výpočet hodnoty NPV tedy vyžaduje znalost jak investičních nákladů na realizaci projektu, tak i odhad budoucích provozních výdajů, velikosti produkce a ceny, za kterou se produkce bude prodávat na trhu s danou komoditou. Podrobnosti k metodice ekonomického hodnocení a tvorbě ekonomických modelů (viz Havlíčková a kol., 2005; Havlíčková a kol., 2006; Havlíčková, a kol., 2008).

Porosty energetických plodin jsou typickým příkladem projektů, kde ekonomická efektivnost projektů může být velmi různorodá. Může to být způsobeno např. odlišnými klimatickými a půdními podmínkami konkrétní lokality (náklady na stejně velké plantáže jsou zhruba stejné, výnos biomasy se však může pohybovat v širokém rozmezí. Dalším faktorem může být použití jiných postupů – pletí, sázení, zejména však sklizeň.

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.

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.

VÝSLEDKY

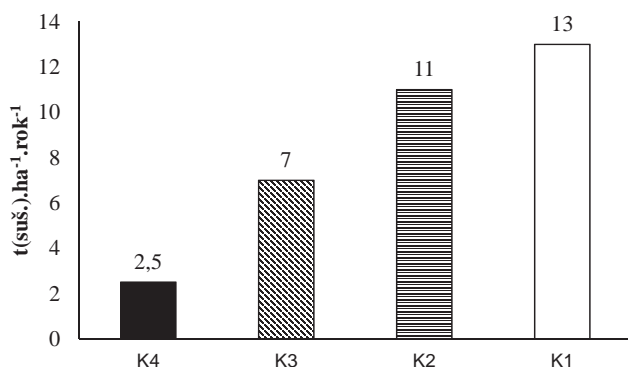
Ekonomická efektivnost pěstování ozdobnice pro přímé spalování

Ozdobnice jsou vytrvalé rostliny s fotosyntézou typu C_4 . Pouze hybridní taxon *M. × giganteus* a druhy *M. tinctorius*, *M. sinensis* a *M. sacchariflorus* jsou využívány pro produkci biomasy. Z hlediska pěstování bez rizik invazního šíření do krajiny je možné doporučit triploidního taxon *M. × giganteus*. Stébla jsou u *M. × giganteus* pevná, dřevnatější, vysoká přes 3 metry a v plné zralosti dosahuje 3–4 rokem. U ozdobnice jsou kladeny vyšší nároky na klimatické podmínky než na půdu. Ozdobnici se nejlépe daří na lehčích strukturních půdách, spíše v teplejších oblastech s vyšším množstvím srážek. Doporučují se humózní písčité půdy s vyšší hladinou podzemní vody s malým nebo žádným zaplevelením vytrvalými plevely. Na podzim je nutno provést podmítku s rozmělněním posklizňových zbytků a hlubokou orbu. Před sázením na jaře následuje příprava seřového lůžka s prokypřením půdy do hloubky 10 cm, mechanické a chemické hubení plevelů.

Založení porostu ozdobnice je uvažováno pomocí oddenků o délce 7–10 cm. Ozdobnice se sází v době, kdy je teplota půdy vyšší než 10 °C, tj. od poloviny května do poloviny července. První rok po vysázení se plevel odstraní mechanicky (např. prutové brány) v kombinaci s herbicidy. Druhým rokem již není počítáno s prostředky na ochranu rostlin. Pro energetické využití (spalování) je v modelu uvažováno se sklizní po zimě, neboť odpadnou problémy s dosoušením. V modelu je uvažováno se sklizní pomocí sklizňové sekačky a lisu na obří balíky. Likvidace porostu je uvažována vyoráváním oddenků, které následně budou využity pro založení nového porostu.

Ekonomický model porostu ozdobnice 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 dosušovat.



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

Graf 1 Výnosové křivky „Ozdobnice – jarní sklizeň“

Model pro ozdobnici je založen na následujících základních předpokladech:

- Model vytvořen pro porost 10 ha, doba životnosti porostu 10 let. Předpokládá se jarní sklizeň pro přímé spalování. Biomasa je balíkována (tzv. obří balík).
- Příprava porostu na podzim, jarní výsadba následující rok, 1. sklizeň další rok na jaře.
- Varianta sázení z oddenků.
- Celkem uvažováno s 10 sklizněmi.
- Likvidace porostu hrazena prodejem oddenků získaných při likvidaci porostu.
- Hnojení při založení porostu: minerální hnojiva (Mediavilla et al., 1993; 1994; 1995), (Olsson, 1993).
- Hnojení N v průběhu doby životnosti porostu je zajištěno LAV (LV).
- Mezi další základní předpoklad patřil i předpoklad, že výkonné procesy jsou zajišťovány jako externí služba – např. sklizeň, orba apod. – pro nákladové ocenění těchto procesů jsou použity tržní ceny těchto služeb.

Procesy modelu byly rozděleny do následujících okruhů:

- Přípravné procesy a režie.
- Příprava pozemku.
- Náklady na sadbu.
- Náklady na založení porostu.
- Sklizeň a procesy mezi sklizněmi.
- 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. Model předpokládá, že v čase $t = 1$ (rok 2009) 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 $t = 2$ (2010) na jaře se předpokládalo založení porostu.

Náklady na nájem pozemku se předpokládají ve výši 800 Kč/ha/rok. Náklady na nájem pozemku se podílejí

na celkových nákladech projektu cca 6 %¹. Předpokládalo se, že pro realizaci projektu porostu ozdobnice byl použit „relativně dobrý“ pozemek, u kterého není nutné provádět nadstandardní opatření – jako např. rozsáhlé odplevelování, nadstandardní hnojení apod. Založení porostu bylo výsadbou oddenku 10 000 ks/ha.

Náklady na sklizeň a procesy mezi sklizněmi byly 31 %. Sklizeň zahrnovala sečení a následné balíkování. Předpokládá se odvoz traktorem s valníkem na centrální složiště vzdálené 10 km. Po skončení doby životnosti porostu se předpokládalo vyorání oddenku a následný prodej pro založení nového porostu.

Minimální cenu biomasy silně ovlivňuje výše dotací. Pro analýzu vlivu dotací byly výpočty provedeny ve dvou variantách – bez dotace a s dotací SAPS.

Struktura výdajů porostu ozdobnice (v současné hodnotě) je dokumentována následujícím grafem 2.

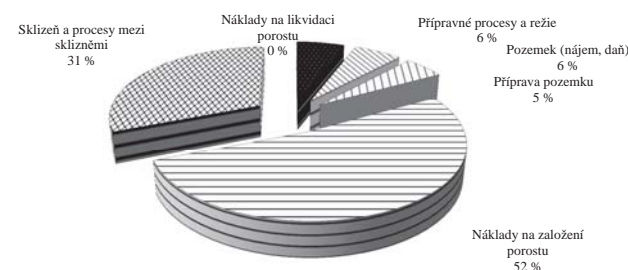
Minimální cena biomasy pak pro předpoklad výnosových křivek od 2,5 do 13,0 t (suš.)·ha⁻¹·rok⁻¹ vychází dle následující tabulky 1.

Relativně hodně vysoké hodnoty minimální ceny biomasy (ve srovnání např. s porostem lesknice rákosovité) jsou způsobeny předem velmi vysokými náklady na založení porostu a zejména vysokými náklady na pořízení oddenků.

¹ Jde o podíl na celkových diskontovaných nákladech.

Tab. 1 Minimální cena biomasy z porostu ozdobnice

t (suš.)·ha ⁻¹ ·rok ⁻¹	Kč·GJ ⁻¹	
	c _{min}	c _{min} , SAPS
K4	396	284
K3	155	115
K2	106	81
K1	93	72



Graf 2 Struktura výdajů porostu ozdobnice (jarní sklizeň pro spalování)

DISKUZE

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.

Relativně vyšší rozmezí minimální ceny ve srovnání s plantáží RRD je způsobeno o něco vyšším rozptylem předpokládaných výnosů křivek K1 až K4 a jinou strukturou výdajů. Výnosové křivky jsou ovlivněny několika faktory, např. stanovištěm, klimatickými podmínkami a dobou sklizně. Pro energetické využití (spalování) převažuje sklizeň po zimě (únor, březen), neboť odpadnou problémy s dosoušením. V této době má sklizená fytomasa podle zahraničních údajů vlhkost kolem 22–38 %. Podle našich sledování měla ozdobnice třetím rokem po výsadbě sklizená koncem února v průměru vlhkost 24 % (Strašil, 2007). Při sklizni fytomasy ozdobnice po zimě je v modelu počítáno se ztrátami sušiny cca 30 % (vlivem značného opadu listů a dalších ztrát). Pro jižní Evropu jsou uváděny ztráty fytomasy ozdobnice při jarní sklizni 30–50 % v porovnání se sklizní na podzim (Lewandowski a kol., 2000). Třicetiprocentní ztráty přes zimu opadem udává také Himken a kol. (1997).

ZÁVĚR

Ekonomické hodnocení ozdobnice bylo provedeno pro jarní termín sklizně. Cena ozdobnice je určena pro přímé spalování a 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 (2,5–13,0 t (suš.)/ha/rok) a lze předpokládat, že cena (bez dotace) se bude pohybovat v rozmezí 93–396 Kč/GJ. V případě respektování současné výše dotace SAPS lze očekávat cenu ve výši 72–284 Kč/GJ v závislosti na výnosu. Poměrně velké rozpětí ceny je způsobeno vyšším rozptylem předpokládaných výnosových křivek K1 až K4.

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

- Brealey, J., Meyers, M. (1992): Teorie a praxe firemních financí. Victoria Publishing, Praha, ISBN 80-85605-24-4.
- Havlíčková, K., Knápek, J., Vašíček, J., Weger, J. (2005): Biomasa obnovitelný zdroj energie – ekonomické a energetické aspekty. Acta Pruhoniana, č. 79, 71 s.
- Havlíčková, K., Weger, J. a kol. (2006): Metodika analýzy potenciálu biomasy jako obnovitelného zdroje energie. VÚKOZ Průhonice, Acta Pruhoniana, č. 83, 96 s.
- Havlíčková, K. a kol. (2008): Rostlinná biomasa jako zdroj energie. VÚKOZ, v.v.i., Průhonice, 83 s., ISBN 978-80-85116-65-6.
- Havlíčková, K. a kol. (2008): Výzkumná zpráva z řešení projektu 2B06131 Nepotravinářské využití biomasy za rok 2008. VÚKOZ, Průhonice.
- Havlíčková, K. a kol. (2010): Analýza potenciálu biomasy v České republice. VÚKOZ, v.v.i., Průhonice, 498 s.
- Himken, M., Lammel, J., Neukirchen, D., Cypionka-Krause, U., Olf, H. W. (1997): Cultivation of *Miscanthus* under West European conditions: seasonal changes in dry matter production, nutrient uptake and remobilization. Plant and Soil, vol. 189, no. 1, p. 117–126.
- 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.
- Mediavilla, V., Lehmann, J. and Meister, E. (1993): Energiegras/Feldholz – Energiegras, Jahresbericht 1993, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.
- Mediavilla, V., Lehmann, J., Meister, E., Stünzi, H., Serafin, F. (1994): Energiegras/Feldholz – Energiegras, Jahresbericht 1994, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.
- Mediavilla, V., Lehmann, J. and Meister, E. (1995): Energiegras/Feldholz – Energiegras, Jahresbericht 1995, Bundesamt für Energiewirtschaft, Bern.
- MPO ČR (2004): Státní energetická koncepce České republiky. Praha, schválena 10. 3. 2004.
- 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.
- Strašil, Z. (2007): Study of *Miscanthus sinensis* – source for energy utilization. Proceedings of the International Conference from 15th European Biomass Conference and Exhibition from Research to Market Deployment. Berlin, 7-11 May 2007, p. 824–827.
- Státní energetická koncepce České republiky (2004). Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Rukopis doručen: 7. 3. 2011

Přijato po recenzi: 13. 3. 2011

PRODUKČNÍ, ENERGETICKÉ A EKONOMICKÉ ASPEKTY PĚSTOVÁNÍ FYTOMASY TRITIKALE PRO SPALOVÁNÍ

PRODUCTION, ENERGETIC AND ECONOMICAL ASPEKTS OF TRITICALE GROWING FOR BURNING

Zdeněk Šterba¹⁾, Jan Moudrý¹⁾, Zdeněk Strašil²⁾, Jan Moudrý, jr.¹⁾, Petr Konvalina¹⁾

¹⁾ Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Studentská 13, 370 05 České Budějovice, zsterba@zf.jcu.cz, moudry@zf.jcu.cz

²⁾ Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Drnovská 507, 161 06 Praha 6-Ruzyně, strasil@vurv.cz

Abstrakt

V Lukavci u Pacova a v Českých Budějovicích byly v letech 2007–2010 sledovány maloparcelkové polní pokusy s tritikale, jehož využití bylo zaměřeno na spalování. Obilnina byla hodnocena po stránce produkční, z ekonomického a z energetického hlediska. Za čtyřleté období byla při sklizni v plné zralosti dosažena průměrná produkce sušiny zrna/sušiny slámy v Lukavci 4,93/7,72 t.ha⁻¹, zatímco v Českých Budějovicích 5,80/8,50 t.ha⁻¹. Celkové náklady na 1 ha bez započtených dotací představovaly 18 582 Kč a v relaci k výnosu 1 429 Kč.t⁻¹ sušiny veškeré nadzemní fytomasy. Energetický obsah sušiny tritikale byl stanoven v průměru pro zrno 18,19 GJ.t⁻¹ a pro slámu 17,96 GJ.t⁻¹. Energetický výstup zahrnující zrno, resp. slámu představoval 90,95, resp. 143,68 GJ.ha⁻¹. Celkový modelový vstup energie byl stanoven na 22,66 GJ.ha⁻¹. Energetická efektivnost (podíl energetických výstupů a vstupů) tritikale je vyšší než u většiny běžně pěstovaných zemědělských plodin.

Klíčová slova: tritikale, výnosy, ekonomická bilance, energetická bilance

Abstract

In field trials at the Lukavec u Pacova and in České Budějovice were in the years 2007–2010 observed small plots experiments with triticale for energy purposes (burning). Cereal was evaluated from production, economical and energetic point of view. During four-year period was by the harvest in full ripeness, average yield of dry matter grain/straw 4,93/7,72 t.ha⁻¹ in Lukavec and 5,80/8,50 t.ha⁻¹ in České Budějovice, gained. Total costs per 1 hectare, excluded subsidies, were 18 582 Kč, and in relation to yield 1 429 Kč.t⁻¹ of dry matter. Energetical value of triticale dry matter was set in average 18,19 GJ.t⁻¹ for grain and 17,96 GJ.t⁻¹ for straw. Energetical output including grain was 90,95 GJ.t⁻¹, for straw 143,68 GJ.ha⁻¹. Whole model input of energy was set on 22,66 GJ.ha⁻¹. Energy efficiency (ratio of energy inputs and outputs) of triticale is higher than the values of most of commonly grown crops.

Key words: triticale, yields, economic balances, energy balances

ÚVOD

Biomasa je spolehlivý, neustále se obnovující zdroj energie s největším potenciálem pro další rozvoj (Kopetz, 1996). Spalování je nejstarší známou termochemickou přeměnou biomasy (Moudrý, Strašil, 1996), přičemž je i nejjednodušší a zároveň nejrozšířenější metodou využití biomasy pro energetické účely (Daňková, 2002). Také Havlíčková a kol. (2008) uvádí, že v současné době zaujímá spalování biomasy v Evropě mezi obnovitelnými zdroji první místo. Nejrozšířenější energeticky využívanou surovinou je podle Slaváka (2006) ve světě i v ČR dřevo, pro jehož spalování jsou k dispozici četná spalovací zařízení. Kromě dosud převládajícího odpadního a palivového dřeva lze použít biomasu rychle rostoucích dřevin, vytrvalých nebo jednoletých energetických bylin, ale také běžně pěstovaných plodin (Andert a kol., 2006). Klasickou surovinou využívanou pro energetické účely je i obilní sláma. Obilniny jsou rozsáhle využívané kulturní plodiny především pro potravinářskou produkci. Dávají stabilní výnos a zemědělci mají k dispozici dostatek znalostí a zkušeností o metodách jejich pěstování. Při

nadbytku potravinářské produkce a současném hledání rostlin vhodných pro energetické využití je vhodné je využít jako vstupní energetické rostliny do doby, než se prosadí speciální druhy (Moudrý, Strašil, 1999). Také Ortheimer (1994) pokládá obilniny za jednu z nevhodnějších variant cíleného pěstování energetických plodin. Za nevhodnější obilniny ke spalování považuje Nikolaisen et al. (1998) žito a tritikale vzhledem k vyšší produkci nadzemní biomasy, nižším ztrátám zrna při sklizni celých rostlin, nižšímu obsahu popela i nižším nárokům na vstupy. To potvrzuje i Jorgensen et al. (2007), který uvádí, že žito i triticale dosahují vyšších výnosů sušiny než např. pšenice, a to i při nižší míře hnojení dusíkem.

Vhodnost tritikale z tohoto pohledu uvádí také Lewandowski, Schmidt (2006). Jorgensen et al. (2007) uvádí průměrný výnos biomasy tritikale v experimentech 11,5–15,9 t/ha. Průměrný výnos biomasy tritikale v Německu je 12 t/ha (z toho 5,5 t/ha zrna), zatímco v Dánsku 10,9 t/ha, v Rakousku 10 t/ha a ve Francii 10–14 t/ha, jak uvádí (Luger, 1999). Energetický obsah sušiny tritikale u zrna 18,19 GJ.t⁻¹ a u slámy 17,96 GJ.t⁻¹ udává Jorgensen et al. (2007). Moudrý a Pokorný

(1998) naměřili hodnoty spalného tepla slámy tritikale mezi 16–19 MJ/kg suché fytohmoty v relaci k odrůdě a podmínkám pěstování. Spalné teplo zrna je obdobné. Nejvyšší produkce spalného tepla (celých rostlin) dosahovala až 200 GJ/ha. Čistý energetický zisk v relaci k intenzitě hnojení a výnosu se pohyboval při spalování celých rostlin mezi 77–153 GJ/ha, při spalování slámy 36–62 GJ/ha.

Nevýhodou pěstování veškeré nadzemní biomasy obilnin pro energetické využití spalováním je jejich jednoleté pěstování, které s potřebou častějšího obracení půdy přináší vyšší vyplavování živin (Jorgensen et al., 2007) i vyšší náklady na zakládání porostů (Luger, 1999). Víceleté plodiny jsou perspektivnější z důvodů nižších provozních nákladů na jejich pěstování (Usták, 2006), na každoroční zakládání porostů, včetně úspor za nákup osiv (Petříková, 2006). Na současném trhu je výhodnější prodej zrna pro jiné účely než spalování (Luger, 1999). Náklady na jednotku energetického produktu (řezanka, lisované balíky) se pohybují přes 1 000 Kč.t⁻¹ (Kuncová, 2004). Abrham, Kovářová (2006) uvádí náklady na jednotku produkce biopaliva u tritikale 1 083 Kč.t⁻¹. Po připočtení nákladů na briketování, resp. peletování se cena paliva pohybuje již u výrobce od cca 1 500 Kč.t⁻¹. Z toho vyplývá, že bez možnosti využití dotací budou energetické plodiny jen obtížně konkurovat stávajícím fosilním palivům při jejich současných cenách. Dotační politika připravená v rámci Společné zemědělské politiky EU umožňuje využít přímé platby na plochu (cca 1 700 Kč.ha⁻¹) a dále dotace na ornou půdu (do 2 500 Kč.ha⁻¹), nepředpokládá však žádnou specifickou podporu energetických a průmyslových plodin. Je třeba věnovat úsilí hledání dalších vhodných plodin, úspornějších technologií a ekologicky příznivých forem spalování biomasy. Dalším důležitým předpokladem pro rozšíření využití energetických plodin v ČR bude také odstranění skrytých dotací fosilních paliv a narovnání jejich cen se skutečnými náklady (Kuncová, 2004). Obnovitelné zdroje energie představují přínos pro ekonomiku, zaměstnanost a rozvoj regionů (Srdečný, Truxa, 2000).

MATERIÁL A METODIKA

Maloparcelkové polní pokusy s tritikale odrůdy 'Ticino' probíhaly v Lukavci u Pacova a v Českých Budějovicích v letech 2007–2010. Stanovištní podmínky obou stanovišť uvádí tab. 1. Předseťová příprava půdy probíhala podle běžných agrotechnických opatření. Porosty byly každoročně zakládány ve čtyřech opakováních, první týden v říjnu výsevem 4

MKS.ha⁻¹, při hloubce setí 3 cm a šířce řádků 12,5 cm. Před zahájením pokusů byly pozemky do zásoby vyhnojeny 65 kg.ha⁻¹ K (draselná sůl) a 25 kg.ha⁻¹ P (superfosfát). Hnojení N bylo aplikováno ve dvou dávkách (regenerační – LAV 27,5 % N (45 kg.ha⁻¹ č.ž.) a produkční – močovina (45 kg.ha⁻¹ č.ž.). Během vegetace nebyly aplikovány morforegulátory ani žádné další podpůrné látky či postupy. Sklizeň maloparcelkovou sklízecí mlátičkou probíhala v plné zralosti. Po sklizni byla zjišťována sušina zrna a slámy a jejich hmotnost a přepočtem výnos sušiny zrna a výnos sušiny slámy. Energetický obsah zrna a slámy byl stanoven jako spalné teplo jednotky sušiny produkce na kalorimetru.

Energetické vklady byly propočteny z normativních spotřeb nafty, kWh, lidské práce apod. Hodnoty energetických vstupů a použité technologie pěstování odpovídají standardům doporučeným pro pěstování daných plodin. Energetické hodnocení pro porovnání s ostatními plodinami vychází převážně z metodiky „Energetické hodnocení výrobních procesů v rostlinné výrobě“ (Preininger, 1987) nebo z vlastních výpočtů. V uvedených hodnotách je zahrnuta jak přímá, tak nepřímá složka energetických vkladů. Energetické výstupy jsou uvažovány jako bruttoenergie hlavního nebo celkového produktu. Nakonec byla stanovena energetická efektivnost (výstup energie : vstup energie) výrobního procesu.

Ekonomické hodnocení produkce fytohmoty bylo provedeno pomocí výpočtu nákladů na pěstitelské postupy. Do nákladů byl zahrnut podíl hnojení chlévským hnojem a vápnění, podlátka včetně ošetření, předseťové hnojení P, K, orba, předseťová příprava půdy, setí, regenerační a produkční aplikace N hnojiv a sklizeň porostu sklízecí mlátičkou, odvoz zrna z pole, lisování slámy a nakládání a odvoz balíků do skladu. Pro výpočet celkových nákladů (variabilní a fixní) na založení porostu, pěstování a sklizeň byly použity standardizované normativy (Kavka, 2006).

VÝSLEDKY A DISKUSE

Průběh počasí za sledované období

Teploty na obou stanovištích byly v roce 2007 od začátku roku až do června a také přes zimní období 2007/2008 nad dlouhodobým průměrem. Po založení pokusu spadlo relativně dostatek srážek, které měly pozitivní vliv na relativně dobré vzcházení porostu. V roce 2008 byl průběh teplot a srážek až

Tab. 1 Stanovištní podmínky

	Lukavec	České Budějovice
Nadmořská výška v m	620	380
Půdní druh	písčito-hlinitý	písčito-hlinitý
Půdní typ	kambizem	kambizem pseudo-glejová
Roční prům. teplota vzduchu (°C)	6,8	7,8
Roční průměrný úhrn srážek (mm)	686	620
pH půdy (KCl)	6,11	6,4

na výjimky podobný dlouhodobému průměru. Ve vegetačním období roku 2009 bylo počasí v porovnání s dlouhodobým průměrem srážkově normální a teplé. Průběh srážek však byl velmi nevyrovnaný. Výrazně nižší srážky v porovnání s dlouhodobým průměrem byly zaznamenány v červenci i v září. Oba tyto měsíce byly srážkově podnormální, teplotně silně teplé. Naopak měsíc květen a červen byl srážkově nadnormální. Počasí ve vegetačním období roku 2010 bylo v porovnání s dlouhodobým průměrem srážkově silně nadnormální a teplotně normální. Průběh srážek byl opět velmi nevyrovnaný.

Výnosy sušiny fytomasy

Výnos sušiny fytomasy triticales ($t \cdot ha^{-1}$) a obsah sušiny ve fytomase (%) v daných termínech sklizně za sledované období na jednotlivých stanovištích uvádí tab. 2. Průměrné výnosy sušiny sklizeného zrna a slámy byly v Českých Budějovicích 5,80, resp. 8,50 $t \cdot ha^{-1}$, v Lukavci 4,93, resp. 7,72 $t \cdot ha^{-1}$. Na stanovišti v Českých Budějovicích bylo každoročně dosaženo vyšších výnosů zrna i slámy než v Lukavci. Největší rozdíl mezi stanovišti v produkci sušiny ($3,44 t \cdot ha^{-1}$) byl zaznamenán v roce 2008 vlivem nízkého výnosu slámy. Sklízňový index (HI) činil v tomto případě 0,51, zatímco průměrné hodnoty na obou stanovištích byly 0,40.

Výnosy fytomasy byly silně závislé na průběhu počasí v jednotlivých letech a také na stanovišti. Moudrý a Pokorný (1998) dosáhli u tritikale výnos sušiny nadzemní fytomasy 13,18 $t \cdot ha^{-1}$ při dávce 120 kg N ha^{-1} . Produkci biomasy tritikale nad 16 $t \cdot ha^{-1}$ při vyšších dávkách NPK v podmínkách Dánska uvádí Jorgensen (1996). Z tab. 2 dále vyplývá, že fytomasa tritikale se sušinou při sklizni v plné zralosti u zrna, resp. slámy v průměru 88, resp. 87% je vhodná hned bez dalšího dosoušení k přímému spalování, skladování nebo dalšímu zpracování.

Energetická bilance

Energetické hodnocení je vedle ekonomického hodnocení jedním z významných objektivních měřítek účelnosti výroby jako celku. Energetické bilance vycházejí ze stále užité

hodnoty produktů, nepodléhají různým náhodným výkyvům a umožňují objektivně srovnávat i značně odlišné způsoby výrobní činnosti.

Energetická bilance obecně srovnává vstupy energií do výrobního procesu s energetickými výstupy. K hodnocení se používá např. energetická efektivnost, energetický zisk nebo měrná spotřeba energií. Energetický zisk se definuje jako rozdíl mezi získanou a vloženou energií. Měrná spotřeba energií se vypočítá jako celková spotřeba energií na jednotku konečné produkce. Z našich autorů energetiku zemědělství zpracoval např. Haš a kol. (1985). Metodiky, jak postupovat při energetických bilancích, uvádí pro rostlinou výrobu např. Preininger (1987), Pospíšil, Vilček (2000), pro živočišnou výrobu Zeman (1991), pro soustavu rostlinná výroba – živočišná výroba – půda, např. Čislák (1983). Energetickými bilancemi jednotlivých plodin se zabýval např. Stražil (1991, 2000) nebo osevních postupů Krejčíř (1984), Stražil, Šimon (1988) apod.

Podle metodiky uvedené výše byla spočtena energetická bilance tritikale. V tab. 3 jsou uvedeny výpočty modelových energetických vstupů při pěstování tritikale. V tab. 4 jsou uvedeny energetické výstupy a energetická bilance tritikale.

Za daných podmínek a předpokladů byl stanoven celkový modelový vstup energie do výrobního procesu u tritikale. Ve výpočtech byly použity parametry získané z uvedených polních pokusů. Tritikale dosáhlo v průměru výnosu sušiny zrna 5,0 $t \cdot ha^{-1}$, výnosu slámy 8,0 $t \cdot ha^{-1}$. Energetický obsah sušiny tritikale byl stanoven v průměru pro zrna 18,19 $GJ \cdot t^{-1}$, slámu 17,96 $GJ \cdot t^{-1}$. Energetický výstup zahrnující zrna, resp. slámu představoval 90,95, resp. 143,68 $GJ \cdot ha^{-1}$. Celkový modelový vstup energie byl stanoven na 22,66 $GJ \cdot ha^{-1}$ (tab. 3).

Energetická efektivnost (výstup energie : vstup energie) udává, kolik energie vytvoří plodina na jednotku energetického vstupu do výroby. Energetická efektivnost tritikale při sklizni v plné zralosti byla po započtení pouze zrna 4,01 a slámy 6,34. Při započtení obou produktů (zrna + sláma) 10,35 (tab. 4). Pro porovnání lze uvést hodnoty energetické efektivnosti některých zemědělských plodin. Řepka vytvoří v průměru 3,32 jednotek energie na jednu jednotku vloženou při započtení

Tab. 2 Výnos sušiny slámy a zrna tritikale ($t \cdot ha^{-1}$) a sušina (%) v letech 2007–2010 na jednotlivých stanovištích

Rok	Termín sklizně	Sklízená část	Lukavec		České Budějovice	
			Sušina	Výnos sušiny	Sušina	Výnos sušiny
2007	plná zralost	zrna	90,0	5,05	86,0	5,60
		sláma	88,0	8,68	85,0	8,87
2008	plná zralost	zrna	91,2	5,05	88,4	6,30
		sláma	90,7	5,51	87,1	7,70
2009	plná zralost	zrna	93,0	4,86	85,5	5,95
		sláma	91,0	8,69	84,5	8,50
2010	plná zralost	zrna	85,6	4,77	83,8	5,28
		sláma	88,6	8,02	83,1	8,81
Průměr	plná zralost	zrna	90,0	4,93	85,9	5,80
		sláma	89,6	7,72	84,9	8,50

Tab. 3 Energetické vstupy pro pěstování tritikale (MJ.ha⁻¹)

Operace	Nepřímý energetický vstup		Přímý energetický vstup			Vstup energie
	množství	tažný prostředek + stroj	palivo	lidská práce	součet	celkem
Zpracování půdy						
Podmítka		111,7	566,0	12,8	578,8	690,5
Střední orba		193,4	826,0	27,5	853,5	1046,9
Kombinátor		27,5	352,8	8,2	361,0	388,5
Setí						
Osivo	200 kg.ha ⁻¹	5106,7				5106,7
Setí		196,0	189,0	22,3	211,3	407,3
Ošetření plodiny						
Aplikace (2×)		146,6	192,2	27,4	219,6	366,2
Pesticid	2+2 l.ha ⁻¹	440,0				440,0
Hnojení						
P + aplikace	25 kg.ha ⁻¹	1062,0 + 131,4	105,8	13,7	119,5	1312,9
K + aplikace	65 kg.ha ⁻¹	768,0 + 131,4	105,8	13,7	119,5	1018,9
N (2×-LAV, močovina)	45+45 kg.ha ⁻¹	3812,0 + 3706,0				7518,0
Aplikace (2×)		262,8	211,7	27,4	239,1	501,9
Sklizeň						
Zrno – kombajn	5 t.ha ⁻¹	552,0	802,0	16,7	818,7	1370,7
Odvoz – traktor + valník		172,2	66,0	13,7	79,7	251,9
Dosoušení zrna	(213 MJ.t ⁻¹)	270,0	1065,0	11,2	1076,2	1346,2
Sláma – lisování	8 t.ha ⁻¹	138,0	447,0	16,7	463,7	601,7
– odvoz		180,0	94,4	16,8	111,2	291,2
Celkem		17 407,7	50 23,7	228,1	5 251,8	22 659,5

pouze hlavního produktu a 5,83 jednotek energie, když budeme uvažovat celkovou produkci energie (semeno + slámu) – (Stražil, 2001). Obdobně pro další plodiny jsou uváděny následující hodnoty: pšenici ozimou 3,28, resp. 6,79 (Stražil, Šimon, 1988), Číslák (1983) uvádí pro hlavní, resp. hlavní plus vedlejší produkt energetickou efektivnost pro pšenici 3,89, resp. 7,00. Z uvedeného je zřejmé, že pokud jde o energetické bilance, potom je energetická efektivnost tritikale za daných podmínek při porovnání s vybranými zemědělskými plodinami značně vysoká, a že tritikale vloženou dodatkovou energií efektivně využilo.

Ekonomické hodnocení

Ekonomickými aspekty produkce, zpracování a spalování fytomasy v podmínkách České republiky se zabývala řada

autorů: Stražil (2000), Kovářová a kol. (2002), Stražil a kol. (2003) a další. Nověji hodnotili ekonomiku pěstování a využití energetických rostlin Havlíčková a kol. (2007), modelování a metody ekonomického hodnocení pěstování víceletých energetických plodin rozpracovala Havlíčková a kol. (2009). Ekonomické hodnocení produkce fytomasy bylo v našem případě zúženo na výpočet nákladů na pěstitelské postupy. Pro výpočet celkových nákladů na založení, pěstování a sklizeň porostu byly použity standardizované normativy (Kavka, 2006), které byly upraveny v relaci k metodice polního pokusu. Hnojení organickými hnojivy a vápnění je uvažováno v pětiletých cyklech, nebyly aplikovány pesticidy ani morforegulátory. Vypočtené variabilní a technologické náklady na plochu byly v dalším kroku rozšířeny o paušalizované fixní náklady na plochu a podle průměrného výnosu celkové nadzemní fytomasy z obou pokusných stanovišť (13 t.ha⁻¹) byly

Tab. 4 Výstupy energie, vstupy energie (GJ.ha⁻¹) a energetická bilance tritikale

Produkt	Energetický výstup (GJ.ha ⁻¹)	Celkový vstup energie (GJ.ha ⁻¹)	Energetická efektivnost
Zrno	90,95 (5,0 t.ha ⁻¹)	22,660	4,01
Sláma	143,68 (8,0 t.ha ⁻¹)	22,660	6,34
Celkem	234,63	22,660	10,35

Tab. 5 Náklady na pěstování tritikale (Kč.ha⁻¹)

Operace	Celkové variabilní náklady	Variabilní náklady plus fixní náklady na stroje
Podíl vápnění (20%)	620	620
Podíl hnojení statkovými hnojivy (20%)	1864	2160
Hnojení PK	1679	1790
Podmítka	288	465
Ošetření podmítky	206	255
Střední orba	979	1350
Předseťová příprava	369	650
Setí univerzálním secím strojem	1677	1820
Regenerační přihnojení dusíkem	908	1005
Produkční přihnojení dusíkem	967	1081
Sklizeň zrna	767	1780
Lisování (sběrací lis na obří balíky)	681	1225
Odvoz zrna	103	216
Odvoz a uložení balíků slámy	380	665
Celkem	11 488	15 082

vypočteny náklady na 1 tunu celkové nadzemní fytomasy. Pro korekci nákladových položek byly započteny dotace SAPS + TOP UP pro rok 2010.

Celkové variabilní náklady na pěstování tritikale při použití redukováných pěstebních technologií shodných s naším modelovým pokusem dosahovaly 11 488 Kč.ha⁻¹ (viz tab. 5). Jelikož energetický obsah sušiny tritikale v zrně (18,19 GJ.t⁻¹) a slámě (17,96 GJ.t⁻¹) je obdobný, lze považovat z energetického hlediska veškerou nadzemní fytomasy za obdobně hodnotnou. Při výnosu veškeré nadzemní sušiny fytomasy 13 t.ha⁻¹ činí celkové variabilní náklady na 1 tunu sušiny nadzemní biomasy tritikale 884 Kč. Technologické náklady (variabilní náklady plus fixní náklady na stroje) na hektar jsou 1 160 Kč. Při započtení fixních nákladů 3 500 Kč.ha⁻¹ vzrostou celkové náklady na 18 582 Kč.ha⁻¹. Při výnosu 13,0 tun sušiny na hektar pak náklady celkem představují 1 429 Kč.t⁻¹ sušiny veškeré nadzemní fytomasy.

Výpočet nákladů na slámu je u různých autorů rozdílný. Při dělení nákladů na zrno a slámu je možné vycházet z hmotnostního podílu, energetického objemu, živinných poměrů apod. V praxi je dosud sláma považována za odpad a je jí při bilancích nákladů přisuzován podíl 12%. Při takovém hodnocení je její nákladová cena 223 Kč.t⁻¹. Ekonomická bilance plodiny se výrazně zlepšil po započtení dotací SAPS + TOP UP, které se každoročně mění a pro rok 2010 představovaly hodnotu 4 575 Kč.ha⁻¹ (www.vuzt.cz). Při započtení dotace 4 575 Kč.ha⁻¹.rok⁻¹ je pokryta část nákladů částkou 352 Kč.t⁻¹. Při použití výše uvedených metod výpočtů a započtení základní dotace by její cena činila 1 077 Kč.t⁻¹.

ZÁVĚR

Ozimé tritikale je vhodnou obilovinou pro produkci fytomasy ke spalování. Při vstupech redukováných na dvě dávky hnojení dusíkem (po 45 kg.ha⁻¹) lze dosáhnout výnosů kolem 13 t.ha⁻¹ sušiny fytomasy. Průměrný výnos nadzemní fytomasy přepočtený na sušinu byl na stanovišti České Budějovice dosažen při hnojení 90 kg N.ha⁻¹ u tritikale 14,30 t.ha⁻¹, v Lukavci u Pacova 12,65 t.ha⁻¹. Je zřejmé, že pro energetické účely, vzhledem k malému rozdílu ve spalném teple slámy a zrna, je rozhodující celkový výnos sušiny biomasy bez ohledu na sklizňový index. U obilovin pěstovaných pro energetické účely lze dosáhnout přiměřeně vysoký výnos i při výrazném omezení vstupů (zvláště pesticidů a morforegulatorů).

Energetická efektivnost tritikale byla v porovnání s běžnými zemědělskými plodinami za daných podmínek značně vysoká a dosáhla při započtení pouze zrna 4,01, slámy 6,34 a celkem sklizeného produktu 10,35. Z uvedeného je zřejmé, že tritikale za daných podmínek efektivně využilo vloženou dodatečnou energii do výrobního procesu.

Také ekonomická efektivnost pěstování tritikale je poměrně dobrá. Současná nákladová cena 1 tuny suché nadzemní fytomasy 1 429 Kč bez započtení dotací je ve srovnání s cenou uhlí i dalších fosilních paliv příznivá. Vzhledem k tomu, že současné ceny krmného obilí tuto cenu více než dvojnásobně převyšují, je zřejmé, že produkce veškeré nadzemní fytomasy tritikale pro energetické účely není dosud ekonomicky efektivní. Tou bude zatím pouze sláma. Přesto je z uvedených výsledků patrné, že tritikale se jeví jako plodina vhodná také pro energetické účely.

Poděkování

Publikace je výstupem výzkumného projektu MŠMT 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice.“

LITERATURA

- Abraham, Z., Kovářová, M. (2006): Tuhá biopaliva – ekonomika a konkurenceschopnost [online]. [cit. 2009-10-18]. 6 s. Dostupné z [www: <http://www.vuzt.cz/doc/ekonomika/tuha_biopaliva.pdf?menuid=487>](http://www.vuzt.cz/doc/ekonomika/tuha_biopaliva.pdf?menuid=487).
- Andert, D., Gerndtová, I., Hanzlíková, I., Andertová, J., Frydrych, J. (2006): Využití trav při produkci bioplynu. In Energetické a průmyslové rostliny XI. Sborník referátů CZ Biom, Chomutov 2006, s. 85–90.
- Čiszlák, V. (1983): Tok a transformácia energie v sústave hospodarenia v závlahách. [Závěrečná správa]. Výskumný ústav závlahového hospodarenia, Bratislava, 191 s.
- Daňková, L. (2002): Využití spalování biomasy v mlékárenském provozu. In EKOTREND 2002 – Trvale udržitelný rozvoj. Sborník z mezinárodní konference 28.–29.3.2001, JU ZF, České Budějovice, D17-D20.
- Haš, S., Adamovský, R., Andert, D., Berounský, B., Bouček, J., Hutka, P., Jelínková, H., Jevič, P., Kára, J., Kosek, J., Pázral, E., Pick, E., Ruml, M., Souhrada, J.: (1985): Energie v zemědělství. SZN, Praha, 380 s.
- Havlíčková, K., Knápek, J., Stražil, Z.: (2009): Metodika ekonomického hodnocení pěstování víceletých energetických plodin. Certifikovaná metodika č. 6/2009-057 pro Energetický regulační úřad. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice, 25 s.
- Havlíčková, K., Weger, J., Konvalina, P., Moudrý, J., Stražil, Z. (2007): Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice a Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, České Budějovice, ISBN 978-80-85116-00-7.
- Havlíčková, K., Weger, J., Boháč, J., Štěrba, Z., Hutla, P., Knápek, J., Vašíček, J., Stražil, Z., Kajan, M., Lhotský, M. (2008): Rostlinná biomasa jako zdroj energie. VÚKOZ, v. v. i., Průhonice, 82 s., ISBN 978-80-85116-65-6.
- Jorgensen, J. R. (1996): Evaluation of annual cereal species and varieties as energy crops. Abstract 9th European Bioenergy Conference and 1. st European Energy from Biomass Exhibition, Copenhagen, 137 p.
- Jorgensen, J., R., Deleuran, L., Wollenweber, B. (2007): Prospects of whole grain crops of wheat, rye and triticale under different fertilizer regimes for energy production. Biomass & Bioenergy, vol. 31, no. 5, p. 308–317.
- Kavka, M. a kol. (2006): Normativy pro zemědělskou praxi. ÚZPI, Praha, 376 s.
- Kopetz, H. (1996): Strategie využití biomasy. In Biomasa pro energii. Sborník VÚRV, Praha, s. 1–11.
- Kovářová M. a kol. (2002): Pěstování a využití energetických a průmyslových plodin. www.biom.cz, 10 s.
- Krejčíř, J. (1984): Energetická bilance osevních postupů při rozdílné kultivaci půdy. Rostl. Vyr., roč. 30, č. 6, s. 871–578.
- Kuncová, T. (2004): Ekonomika pěstování chrastice rákosovité [online]. 2004 [cit. 2009-12-09]. Dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomika-pestovani-chrastice-rakosovite>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomika-pestovani-chrastice-rakosovite)
- Lewandowski, I. Schmidt, U. (2006): Nitrogen, energy and land use efficiencies of miscanthus, reed canary grass and triticale as determined by the boundary line approach, Agriculture, ecosystems & environment, vol. 112, no. 4, p. 335–346.
- Luger, E. (1999): Energy crop species in Europe. BLT, Wieselburg, Austria, 14 p.
- Moudrý, J., Pokorný, J. (1998): Využití biomasy z obilovin pro energetické účely. In Sborník „Obnovitelné zdroje energie – Kroměříž 98“. Kroměříž, s. 61–64.
- Moudrý, J., Stražil, Z. (1999): Pěstování alternativních plodin. JU ZF v Českých Budějovicích, České Budějovice, 165 s.
- Nikolaisen, L. et al. (1998): Straw for energy Production. Technology-Environment-Economy. The centre for biomass Technology, Biopress, 53 p.
- Ortheimer, E. (1994): Okonomische Aspekte der direkten thermischen Verwertung von Biomasse. In Energie aus Biomasse. Landtechnik bericht, Germany, p. 201–212.
- Pospíšil, R., Vilček, J. (2000): Energetika sústav hospodarenia na pôde. Výskumný ústav pôdoznanectva a ochrany pôdy, Bratislava, 107 s.
- Preininger, M. (1987): Energetické hodnocení výrobních procesů v rostlinné výrobě. Metodika ÚVTIZ, č. 7, 27 s.
- Sladký, V. (1995): Příprava paliva z biomasy. Stud. Infor. ÚZPI, Praha, Ř. Zeměd. Techn. a Stavby, č. 3, 50 s.
- Slavák, J. (2006): Vliv uhelných aditiv na mechanické vlastnosti lisovaných paliv z obilné slámy. In Energetické a průmyslové rostliny XI., CZ Biom a VÚRV, Chomutov, Envi Bio, s. 75–84.
- Srdečný, K., Truxa, J. (2000): Obnovitelné zdroje energie v Jižních Čechách a Horním Rakousku. Praha, EkoWATT, 77 s.
- Stražil, Z. (1991): Energetické bilance u jetelotravní směsky s ohledem na konzervaci a uskladnění. Rostl. Vyr., roč. 37, č. 12, s. 961–970.
- Stražil, Z. (2000): Energetické hodnocení vybraných klasických a netradičních alternativních plodin jako zdroje různých energetických paliv. In Sborník Kalorimetrický seminář 2000. Zvíkovské Podhradí, s. 49–54.
- Stražil, Z. (2000): Ekonomická analýza vybraných

energetických rostlin určených pro spalování. In Sborník Technika a technologie pro nepotravinářské využití půdy a její udržování v klidu. Brno, s. 17–22.

Stražil, Z., Moudrý, J., Kalinová, J. (2003): Produkce a ekonomika vybraných energetických rostlin. Sborník z konference „Udržitelné poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka“, SPU v Nitre, 25.–26. september 2003, s. 333–335.

Stražil, Z., J. Šimon, J. (1988): Produktivita plodin a energetická bilance v osevních postupech při řízeném vodním režimu na lehkých půdách. Acta Universitatis Agriculturae, roč. 36, č. 2–4, s. 97–105.

Usták, S. (2006): Rozvoj pěstování a využití biomasy pro energetické a průmyslové účely v ČR: technické a ekonomické aspekty a základní překážky. In Energetické a průmyslové rostliny XI. Sborník referátů CZ Biom, Chomutov, s. 118–133.

Zeman, L. (1991): Katalog krmiv. Firma MICHEL, Lysice, Brno, 532 s.

Rukopis doručen: 17. 2. 2011

Přijat po recenzi: 18. 3. 2011

ANAEROBNÍ DIGESCE FYTOMASY Z TRVALÝCH TRAVNÍCH POROSTŮ JAKO ALTERNATIVA K ENERGETICKÝM PLODINÁM

ANAEROBIC DIGESTION OF BIOMASS FROM PERMANENT GRASSLANDS AS AN ALTERNATIVE TO ENERGY PLANTS

Richard Lhotský, Miroslav Kajan

ENKI, o.p.s., Dukelská 145, 379 01 Třeboň, lhotsky@enki.cz, aqua@trebon.cz

Abstrakt

Cílem práce bylo porovnání chemického složení a produkce bioplynu siláže travní biomasy z pěti lokalit trvalých travních porostů lišících se nadmořskou výškou, převládajícími druhy trav, vodním a živinovým režimem. Pro porovnání byl testován vzorek kukuřičné siláže hybridu kukuřice Atletico používaného v bioplynových stanicích. Produkce bioplynu vzniklého při laboratorních testech byla porovnávaná s výsledky výpočtových modelu dle Amona a metody ZIFO, vycházejících z chemického složení biomasy.

Obsah organických látek v sušině byl u travní biomasy nižší (91,7–93,3 %) než u kukuřice (96,6 %). Nejvyšší podíl tvořily ve všech vzorcích bezdusíkaté látky výtěžkové. U travní biomasy to bylo 42,8–46,8 % a u kukuřice až 69 %. Druhou nejvýznamnější složkou byla vláknina. Obě „sacharidické“ složky tvořily přes 70 % organické hmoty sledovaných vzorků. Obsah proteinů byl u vzorku kukuřice 7,3 % a u trav se pohyboval v rozmezí 9,8–16,7 %. Obsah lipidů je ze všech parametrů nejmenší jak u trav, tak u vzorku kukuřice (3,0–4,3 %). Produkce bioplynu z travní biomasy byla 502–530 I_N/kg OS a u kukuřice 621 I_N/kg OS. Byla prokázána dobrá shoda výsledků kultivačních testů s výsledky numerických modelů. Získané výsledky neprokázaly výrazné rozdíly produkce bioplynu u jednotlivých vzorků rostlinné biomasy.

Klíčová slova: bioplyn, anaerobní digesce, trvalé travní porosty, biomasa, laboratorní testy

Abstract

The aim of this study was to compare the chemical composition and the production of biogas from grass biomass silage from five locations with permanent grass cover differing in altitude, prevailing types of grass and water and nutrition regimes. A sample of maize silage from the maize hybrid Atletico used in biogas stations was tested for the purposes of our comparison. The production of biogas during the laboratory tests was compared with the calculation model results according to Amon and the ZIFO method, drawing on the chemical composition of biomass.

The organic matter content in dry matter was lower in grass biomass (91.7–93.3%) than in maize (96.6%). The highest proportion was represented by yield nitrogen-free substances in all of the samples: 42.8–46.8% in grass biomass and 69% in maize. Fibre was the second most significant component. Both of the “saccharide” components accounted for more than 70% of the organic matter of the samples observed. The maize sample contained 7.3% of proteins, whereas there were 9.8–16.7% of proteins in the grass sample. The lipid content is the lowest of all the parameters both in grass and maize sample (3.0–4.3%). The production of biogas represented 502–530 I_N/kg OS in the case of grass biomass and 621 I_N/kg OS in maize. The cultivation test results proved to be more or less identical to the numeric model results. Based upon the results, no significant differences were found between the individual vegetable biomass samples in terms of biogas production.

Key words: biogas, anaerobic digestion, permanent grassland, biomass, laboratory tests

ÚVOD

Anaerobní fermentace organických látek v bioplynových stanicích spojená s produkcí a následným využitím bioplynu k výrobě elektrické energie a tepla patří k stabilně rostoucímu segmentu obnovitelných zdrojů energie. Nespornou výhodou této technologie je možnost zpracovávání organických látek i s relativně nízkým obsahem sušiny. Další výhodou je nezávislost výroby energie na počasí a možnost regulace výkonu v průběhu dne a roku.

V roce 2007 zaujímal výroba elektrické energie z bioplynu třetí místo v rámci OZE v ČR, po vodních elektrárnách a biomase. V uvedeném roce bylo v bioplynových zařízeních

vyrobeno 8,3 GWh elektrické energie a instalovaný elektrický výkon přesáhl 50 MW.

Podle průběžného monitoringu již provozovaných bioplynových stanic a stanic připravovaných k výstavbě se v naprosté většině případů předpokládá zpracovávání rostlinné biomasy jako nosného substrátu. Rostlinná biomasa tvoří přes 50 % hmotnostních všech substrátů. Z toho až 80 % představuje kukuřičná siláž a zbytek jiná fytomasa, převážně z trvalých travních porostů. V přepočtu na obsah energie představuje vnos rostlinné biomasy až 80 % energetického obsahu všech substrátů.

Kukuřice je nedílnou součástí osevních postupů. Její význam

spočívá ve vysokém nárůstu biomasy a technologicky poměrně nenáročných pěstebních postupech. V České republice se vysévá přibližně 200 000 ha kukuřice na siláž. Kukuřice skýtá vysoký energetický potenciál, kolem 324 000 MJ/ha. Tato skutečnost je také předpokladem k dobrému zhodnocení biomasy celých rostlin na výrobu energie. Na druhé straně, pěstování kukuřice představuje zvýšené nebezpečí vodní eroze. Kukuřice netvoří drnový porost a podmínky na povrchu půdy jsou příznivé pro odnos zeminy z pozemku při přívalových srážkách. Zařazení vysokého podílu kukuřice v osevním postupu není vhodné ani z důvodu bilance a kvality organické hmoty v půdě. V neposlední řadě, voda odtékající z kukuřičného pole obsahuje velké množství nevyužitých živin, které zatěžují vodoteče, způsobují eutrofizaci, a tím zhoršují stav povrchových vod v České republice. Údaje o odtoku látek z konkrétního kukuřičného pole na Třeboňsku ukazují tab. 1.

Prozatím nedostatečně využívaným zdrojem rostlinné biomasy pro bioplynové stanice je biomasa z trvalých travních porostů (TTP).

Plochy trvalých travních porostů (louky a pastviny) představují v České republice téměř 23 % výměry zemědělské půdy (cca 970 000 hektarů). Produkční potenciál TTP se odvíjí od geologicko-petrografických podmínek, půdního typu a druhu půd, nadmořské výšky, teploty. Závisí na srážkách, expozici pozemku, hladině spodní vody, použité pratechnice aj. Roční výnosy se proto pohybují v širokém rozpětí od 2 do 16 t.ha⁻¹ suché hmoty. V současnosti, kdy jsou trvalé travní porosty využívány převážně extenzivně, dosahuje průměrný roční výnos biomasy kolem 3 tun sušiny z hektaru.

Travní hmota z TTP je využívána hlavně ke krmení skotu. Až 50% pokles stavu skotu v několika posledních letech je hlavním důvodem přebytků fytomasy z těchto ploch. To negativně ovlivňuje zájem o jejich obhospodařování. Nevhodný způsob obhospodařování TTP může vést k postupné degradaci – změnám půdní úrodnosti, bilanci vodního režimu, erozi, zaplevelování apod.

Vedle své produkční funkce plní však TTP i celou řadu dalších významných funkcí mimoprodukčních. V posledních letech získávají na významu především vodohospodářské funkce trvalých travních porostů, jež zahrnují i funkci protierozní. Hejduk (2006) uvádí srovnání povrchového odtoku z travního porostu a kultur zemědělských plodin na orné půdě po přívalovém dešti (12. 5. 2004, celkový úhrn srážek 22,5, doba trvání 35 minut). Odtok z porostu kukuřice – 132,0 m³/ha,

z brambor – 102,0 m³/ha, ozimé pšenice – 23,5 m³/ha a z travního porostu 3,4 m³/ha.

Vedle hlavní vodohospodářské funkce TTP je možné jmenovat celou řadu dalších funkcí, například ukládání CO₂, biofiltrace, biodiversifikace, funkce estetická a krajinnotvorná a podobně.

Produktivitou lučních porostů a jejich využitím k produkci bioplynu se zabývá řada autorů, mezi nejzajímavější patří práce Moellera et. al. (2007). Z porovnání metlicové a chrasticové louky vyplývá produkce metanu cca 250–310 litrů metanu na kilogram organické hmoty lučního porostu. Druhé sklizně vykazují nižší výtěžnost bioplynu. Ačkoliv produkce bioplynu je vyšší u kukuřice, energetická bilance (poměr energetické spotřeby při pěstování a energie získané) u kukuřice a extenzivních lučních porostů dává možnost obě skupiny porovnat. Navíc vlhkomilné až mokřadní travní společenstva působí jako živinová past (nutrient trap). Autoři hodnotí i možnost dodatečného hnojení draslíkem, které zlepšuje výtěžnost bioplynu u travních porostů.

Mezi nejproduktivnější travní druhy podmáčených luk patří chrastice rákosovitá, známá také pod starým označením lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*). Výnosy se uvádějí 15 t sena z hektaru, při hnojivé závlaze pak až 20 t sena z hektaru (Hlávková, 1980). Vysoká produkce i nenáročná stanovištní podmínky předurčují dnes chrastici rákosovitou k energetickému využití. Skandinávské a další země již cíleně pěstují chrastici rákosovitou pro výrobu pelet.

Pěstováním chrastice rákosovité pro energetické účely se zabývá i práce Strašila a kol. (2005), který uvádí výnosy chrastice rákosovité. Pro nehnojené plochy získali průměrné výnosy 4,60–8,45 t sušiny.ha⁻¹, u porostů hnojených 30 kg N.ha⁻¹ výnosy 5,74–9,02 t sušiny.ha⁻¹ a u porostů hnojených 60 kg N.ha⁻¹ pak výnosy 6,94–10,04 t sušiny.ha⁻¹.

Chrastice rákosovitá vyžaduje pro růst dostatečné zásobení vodou, uvádí se, že na jeden kilogram sušiny spotřebuje rostlina 700–800 l vody (Hlávková, 1980). Velice dobře snáší i dlouhodobé zaplavení, Regal uvádí 30 dní (Hlávková, 1980), ostatně je dnes často využívána v kořenových čistírnách odpadních vod. Ačkoliv se dnes nijak nepředpokládá cílené pěstování chrastice pro bioplynové využití, zvládnutí technologie časně sklizně v záplavových oblastech a využití v AD rozšiřuje substrátovou základnu, aniž by byly negativně ovlivněny environmentální funkce porostu. Zároveň by bylo

Tab. 1 Celkové odtoky látek naměřené v období 10. 8.–30. 11. 2010 na modelovém porostu kukuřice (50 ha)

TC g/ha	IC g/ha	TOC g/ha	NH ₄ -N g/ha	NO ₂ -N g/ha	NO ₃ -N g/ha	TN g/ha	PO ₄ -P g/ha	TP g/ha
3960,9	2011,1	1949,7	10,7	6,5	1649,8	2468,4	13,1	52,3
SO ₄ g/ha	Cl g/ha	Na g/ha	K g/ha	Mg g/ha	Ca g/ha	Fe g/ha	Mn g/ha	Zn g/ha
4309,2	2573,0	1848,3	601,5	1316,2	3553,3	93,3	9,1	11,9

možné využívat aluviální plochy účelně, s minimálním rizikem povodňových škod na porostu.

Mokřady velmi dobře odstraňují nerozpuštěné látky, BSK a dusičnany. Nejlépe je prostudována účinnost zadržení a odbourání látek v mokřadních kořenových čistírnách odpadních vod (KČOV). Uvádí se průměrné zatížení filtračních polí 41 kg \cdot ha⁻¹·den⁻¹ a 99 kg CHSK_{Cr} \cdot ha⁻¹·den⁻¹ při účinnosti odbourávání 75 %. Zatížení filtračních polí KČOV nerozpuštěnými látkami je v ČR c. 40 kg·ha⁻¹·den⁻¹ a účinnost odstraňování je velmi vysoká, okolo 85 %. Vztah mezi vstupním a odstraněným zatížením je velmi těsný, množství odstraněných nerozpuštěných látek lze dobře odhadnout.

Fosfor je v KČOV odstraňován především adsorpcí a srážením ve filtračním loži. Průměrné denní zatížení je 0,32 g P \cdot m⁻²·d⁻¹. Tedy 3,2 kg \cdot ha⁻²·den⁻¹. Účinnost odstraňování lze ovšem těžko předvídat, protože vztah mezi vstupním a odstraněným zatížením je velmi volný.

Mokřady jsou efektivnější v odstraňování dusičnanů nežli v odstraňování amoniaku, protože obecně je v kořenové zóně mokřadů nedostatek kyslíku. Průměrné zatížení filtračních polí v ČR je 2,24 g N m⁻² d⁻¹, tedy 22,4 kg N·ha⁻¹·den⁻¹. Vztah mezi vstupním a odstraněným zatížením je poměrně těsný.

Uváděné hodnoty jsou pro KČOV, tedy pro extrémně zatížené mokřady. Rákosiny, mokré louky mají dlouhodobě kapacitu k zadržení živin nižší.

Použití travní biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu má určitá specifika vycházející hlavně z chemického složení biomasy. Chemické složení i jednoho druhu rostlinné biomasy je ovlivněno charakterem půdy a klimatickými podmínkami stanoviště. Navíc může být ovlivněno řadou faktorů spojených s produkcí, sběrem a případnou konzervací jako jsou například způsob hnojení, doba sklizně, počet sečí, technologie konzervace atd.

Řada pokusů byla prováděna s jednodruhovými porosty trav. Domníváme se, že rozdíly mezi různě sklizeným smíšeným porostem jsou vyšší než mezi jednotlivými druhy a řada prací naší domněnku podporuje.

MATERIÁL A METODIKA

V rámci projektu 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ řeší autoři dílčí úkol Technicko-ekonomické posouzení anaerobní fermentace fytohmoty, v jehož rámci se zaměřují na efektivitu využívání biomasy TTP.

Při řešení úkolu se vychází z hlavní hypotézy: „Nedá se očekávat statisticky významný rozdíl v produkci bioplynu, resp. metanu mezi jednotlivými typy travních porostů, resp. biotopů, ani mezi čerstvou a silážovanou biomasou. Rozdíly se dají očekávat mezi vzorky z různých sklizní, tedy z různých stádií zralosti“.

Pro srovnávací analýzy produkce bioplynu v laboratorních testech byla použita biomasa z různých oblastí. Pro porovná-

ní byly testovány vzorky kukuřičné siláže z hybridu kukuřice na siláž (Atletico).

Vybrané lokality

Mokré Louky u Třeboně jsou klíčovou lokalitou vzhledem k poptávce po využití travní biomasy. Jde o území rozprostírající se východně od města Třeboně o celkové rozloze cca 450 ha. Mokré Louky jsou dlouhodobě modelovým územím pro studium přirozených produktivit mokřadních ekosystémů.

Luční porosty jsou dnes extenzivně využívány, částečně hnojené digestátem (fugátem) z bioplynové stanice R.A.B., s.r.o., Třeboň, v množství 40 t·ha⁻¹.

Společnost K+K Břilice hospodaří na cca 285 ha podmáčených luk v severní části Mokřých Luk a na zhruba 100 ha. Sklizeň travní hmoty začíná obvykle v polovině května, druhá seč připadá na začátek července a případná třetí seč připadá na začátek září. Průměrný roční výnos sena je 4 t/ha. Podle informací pracovníků společnosti K+K Břilice jsou hektarové náklady cca 8 000 Kč.

V roce 2008 byla produkce Mokřých Luk následující (informace K+K Břilice):

1. seč: 106 q/ha v zelené hmotě,
 2. seč: 116 q/ha v zelené hmotě,
- Celkem roční výnos: 222 q/ha v zelené hmotě,
Sklizená plocha: 275 ha (rok 2008).

V rámci lokality Mokré Louky byly definovány dvě dílčí lokality, nazvané Mokré Louky suchá část a Mokré Louky vlhká část.

Pro porovnání byly zvoleny další 3 lokality s trvalými travními porosty:

Lokalita **Paseky** se nachází jižně od města Horní Stropnice, cca 1 km od obce Paseky. Jde o extenzivně obhospodařovaný luční porost na východním svahu Kraví hory. Vlastníkem porostu je soukromě hospodařící zemědělec, Ing. Blíženc. Sklizená fytohmota je využita ke krmení ovcí a koní. První seče probíhají na konci června, 2. seč do konce srpna, 3. seč se provádí výjimečně. Produkce je odhadována na 3–4,5 t/ha. Náklady nejsou specifikovány.

Lokalita **Hojná Voda** se nachází na jihozápadním okraji obce Hojná Voda, v sedle mezi Kraví horou a Vysokou v Novohradských horách. Pronajímatelem pozemku je 1. Jihočeská zemědělská a.s.

Lokalita **Vatín** je součástí výzkumné stanice pícninářské. Nachází se v regionu Českomoravské vrchoviny, 7 km jižně od Žďáru nad Sázavou, na jižní hranici CHKO Žďárské vrchy. Nadmožská výška 540 m.

Sklizeň 3–4× ročně. Z nehnoujeného travního porostu je možné získat 3–4 t/ha suché biomasy. První seč poskytuje 65 % roční sklizně.

Charakteristiky lokalit jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2 Charakteristiky lokalit odběru travního porostu

	Mokré Louky suchá část	Mokré Louky vlhká část	Paseky	Hojná Voda	Vatín
Nadmořská výška (m n. m.)	480	480	600	830	540
Převládající druhy	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Carex vesicaria</i> , <i>Poa palustris</i>	<i>Phalaris arundinacea</i> , <i>Carex acuta</i> , <i>Carex vesicaria</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Calamagrostis canescens</i>	<i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Anthriscum sylvestris</i> , <i>Trisetum flavescens</i> , <i>Veronica chamaedrys</i> , <i>Bromus erectus</i>	<i>Anthriscus sylvestris</i> , <i>Alopecurus pratensis</i> , <i>Taraxacum</i> sect. <i>Ruderalia</i> , <i>Aegopodium podagraria</i> , <i>Urtica dioica</i> , <i>Heracleum sphondylium</i> , <i>Veronica chamaedrys</i>	<i>Arrhenatherum elatius</i> , <i>Dactylis glomerata</i> , <i>Trisetum flavescens</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Centaurea macres</i> , <i>Festuca rubra</i> , <i>Alopecurus pratense</i> , <i>Galium album</i> , <i>Heracleum sphondylium</i> , <i>Trifolium pratense</i>
Zařazení dle katalogu biotopů ČR	intenzivně obhospodařované louky (X5)	vegetace vysokých ostřic (M1,7)	intenzivně obhospodařované louky (X5)	intenzivně obhospodařované louky (X5)	ovsíkové mezofilní louky (T1,1)
Porostový typ	<i>Alopecuretum pratense</i>	<i>Phalaridetum</i>	<i>Festucetum pratense</i>	ruderalní	<i>Arrhenatheretum elatioris</i>
Vodní režim	mezofytní (H3)	mezohygrofytní (H4)	mezofytní (H3)	mezofytní (H3)	mezoxerofytní (H2)
Živinný režim	mezoeutrofní (N4)	mezotrofní až mezoeutrofní (N3 - N4)	mezotrofní až mezoeutrofní (N3 - N4)	eutrofní (N5)	mezotrofní (N3)
Jarní pícninářská hodnota (body)	100	-	82	79	-

Sběr, úprava a analýza biomasy

Fytomasa z jednotlivých lokalit byla odebírána v průběhu první seče v roce 2008. Posečená biomasa byla nařezána na velikost částic (řezanky) v rozmezí 1–3 cm. Vzniklá řezanka byla rozprostřena do vrstvy o výšce cca 5 cm a ponechána k proschnutí při venkovních teplotě na sušinu kolem 30 %. Poté byla inokulována postřikem 0,2 % roztoku silážního konzervačního přípravku Microsil ExtraPlus (fy Medipharm CZ, Hustopeče u Brna), obsahujícího bakterie mléčného kvašení. Následně byla inokulovaná řezanka plněna do 5l skleněných širokohrdých láhví na hutnost 550–650 gramů na litr. Biomasa v láhvi byla překryta mikrofolií, zatížena vodou v plastovém vaku. Po hermetickém uzavření byly láhve uskladněny ve tmě při teplotě kolem 15 °C po dobu dvou měsíců. Skleněné láhve byly průběžně vizuálně kontrolovány na případný obsah plísní. Silážované vzorky byly pak dále použity k chemickým analýzám a ke kultivačním testům na produkci bioplynu. Chemické analýzy byly prováděny dle jednotlivých příloh k vyhlášce Ministerstva zemědělství č. 124/2001 Sb.

Kultivační testy

Pro výpočet teoretické produkce bioplynu, resp. metanu ve vzorcích biomasy na základě jejich chemických analýz byly použity dvě metody – metoda „Zielwert-Futteroptimierung“ ZIFO (Rutzmoser, 2002) a metoda dle Amona (Amon, 2004).

Metodika výpočtu dle Amona je založená na lineárním regresním modelu, vycházejícím z naměřených produkcí metanu v závislosti na složení a druhu testované biomasy. Produkce metanu je vyjádřena v „normo“ litrech, tj. při tlaku 101,3 kPa a teplotě 0 °C, vztažena na organickou sušinu.

Metodika dle ZIFO vychází ze složení a stupně odbourání pro produkci bioplynu rozhodujících komponent biomasy.

Laboratorní kultivační testy byly prováděny na kultivačním zařízení ENKI, Třeboň. Metodika testů a vyhodnocení výsledku je v souladu s mezinárodně uznávanou německou normou pro testování vody, odpadní vody a kalů, kalů a sedimentů s modifikacemi s. No. 2.6.4. – 2.6.11 (DIN 38414, 1985-06). Princip testů je založen na anaerobním rozkladu fytomasy a měření objemu produkovaného bioplynu. Suspenze testované biomasy a inokula (anaerobní kal z Bioplynové stanice Třeboň) je

fermentovaná po dobu 30 dní za nepřístupu vzduchu ve speciálních skleněných nádobách o objemu 1 000 ml, uložených ve vodní lázni, temperované na teplotu 40 °C. Vznikající bioplyn je jímán v eudiometrické trubici.

VÝSLEDKY A DISKUZE

V tabulkách 3 a 4 jsou uvedeny analýzy silážované biomasy z jednotlivých lokalit trvalých travních porostů a vzorku kukuřičné siláže. Obsah sušiny u jednotlivých vzorků se u travní siláže pohybuje v rozmezí 22,2 % (Hojná Voda) až po 38,3 % (Mokrý Louky – vlhká část). Obsah sušiny u kukuřičné siláže je 28,7 %. Přes rozdílnou sušinu je u dalších sledovaných parametrů jasný rozdíl mezi vzorky travní a kukuřičné biomasy. Obsah organických látek v sušině se u travní biomasy pohybuje v úzkém rozmezí (91,7–93,3). Výjimkou je nižší obsah organické sušiny (88,5 %) u biomasy z podmáčené části Mokřých Luk. U kukuřice je obsah organické sušiny vyšší 96,6 %. Vyšší obsah organické sušiny v biomase u kukuřice, a tím i nižší obsah popelovin je jedním z předpokladů vyšší produkce bioplynu.

Z hlediska potencionální produkce bioplynu je důležité složení organické hmoty co do obsahu proteinů, lipidů a sacharidů (vláknina + BNVL). Nejnižší obsah proteinů je u vzorku kukuřice (7,3 %), kdežto u trav se pohybuje v rozmezí 9,8–16,7 %. Vyšší hodnota proteinů je dána hnojením. Obsah lipidů je ze všech parametrů nejnižší (3,0–4,3 %) a u obou druhů vzorků (kukuřice a trávy) srovnatelný. Výraznější rozdíly mezi kukuřičnou a travní biomasou jsou v obsahu vlákniny a BNVL. Zatímco obsah BNVL se u jednotlivých vzorků trav pohybuje v rozmezí 42,8–46,8 %, u kukuřice je téměř o 50 % vyšší (69 % BNVL v sušině). Naopak, u kukuřice je výrazně nižší obsah vlákniny.

Produkce bioplynu

Metoda ZIFO umožňuje na základě složení biomasy (proteiny, lipidy, sacharidy) vypočítat jak celkovou produkci bioplynu, tak koncentraci metanu v bioplynu. Při použití vztahu dle Amona se získá jenom produkce metanu. V kultivačních testech nebyly použité naměřené koncentrace metanu

Tab. 3 Složení siláže travních porostů a kukuřice

Parametr	Jednotky	Paseky	Hojná Voda	Mokrý Louky suchá část	Mokrý Louky vlhká část	Vatín	Kukuřice Atletico
Sušina	%	22,8	22,2	30	38,3	31	28,7
Organické látky v sušině	% v sušině	93,3	91,7	91,4	88,5	92,6	96,6
Proteiny	% v sušině	10,7	11,8	16,5	16,7	9,8	7,3
Vláknina	% v sušině	32,6	33,3	25,7	25,1	33	16
Lipidy	% v sušině	3,2	3,7	4,2	3,9	3	4,3
Popel	% v sušině	6,7	8,3	8,6	11,5	7,4	3,4
BNVL	% v sušině	46,8	42,9	45	42,8	46,8	69

BNVL – bezdušičkaté látky výtažkové

Tab. 4 Složení siláže travních porostů (mg/g sušiny)

	Vatín tráva	Paseky	Vatín jetel	Hojná Voda
Mg	4,2	2,5	5,1	1,8
Al	4,8	0,3	0,2	0,1
Si	25,9	11,0	1,2	9,8
P	6,4	4,2	3,8	5,5
S	8,1	2,9	3,0	4,2
Cl	19,3	10,9	2,3	3,4
K	74,0	97,0	82,3	87,0
Ca	32,9	38,4	82,1	24,4
Ti	1,0	0,1	0,0	0,1
Mn	1,4	1,4	0,3	0,7
Fe	14,6	1,5	1,0	0,5
Ni	0,1	0,0	0,0	0,0
Cu	0,1	0,1	0,0	0,0
Zn	0,2	0,2	0,0	0,2
Br	0,0	0,0	0,0	0,1
Sr	0,2	0,1	0,0	0,0
N	27,2	14,7	24,2	15,3
C	431,1	455,5	437,0	452,6
H	61,7	65,5	63,2	62,8

ve vznikajícím bioplynu ze dvou důvodů. V průběhu testu se koncentrace metanu ve vznikajícím bioplynu měnila v závislosti na rychlosti rozkladu jednotlivých složek. A dále hodnota složení bioplynu byla ovlivněna složením bioplynu vznikajícího z inokula – anaerobní kal vznikající při fermentaci kejedy prasat, který má vzhledem k vyššímu zastoupení proteinů i vyšší koncentrace metanu. Vzhledem k vysoké koncentraci sacharidického podílu v testovaných substrátech (vláknina + BNVL) lze předpokládat, a provozní výsledky to potvrzují, že obsah metanu v bioplynu u sledovaných substrátů se pohybuje v souladu s metodikou ZIFO v rozmezí 52–54 % objemových. Koncentrace metanu pro jednotlivé druhy travní biomasy a kukuřičné siláže získané na základě složení a výpočtu dle metody ZIFO byly proto použity i pro výpočet metanu v bioplynu získaného v kultivačních testech.

Tabulka 5 uvádí teoretické produkce bioplynu a metanu dle metody ZIFO a dle metody Amona a zároveň uvádí naměřené hodnoty produkce bioplynu v laboratorním testu.

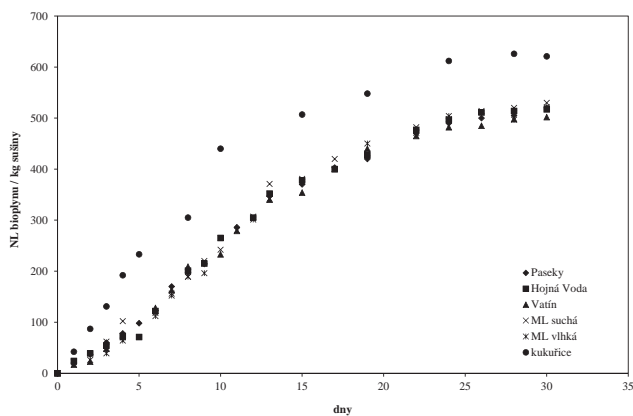
Průběh produkce bioplynu u TTP a kukuřice ukazuje graf 1.

Relativně malé rozdíly v produkci bioplynu vztahované na organickou sušinu u sledovaných vzorků travní biomasy, 502 l_N/kg OS z lokality Vatín až 530 l_N/kg OS z lokality Mokré Louky suché, potvrzují předpoklad, že produkce bioplynu není závislá na druhovém složení travní biomasy, ale na obsahu fermentovatelných látek.

Produkce bioplynu přepočtena na tunu silážované hmoty byla u vzorku z lokality Paseky 110,6 Nm³ u Hojné Vody 105,2 Nm³. V případě vzorků z Mokřých Luk – suchá část 145,3 a u vlh-

Tab. 5 Vypočtené hodnoty produkce bioplynu a metanu a naměřené kumulativní produkce bioplynu a metanu po 30 dnech inkubace

Parametr	Jednotky	Paseky	Hojná Voda	Mokré Louky suchá část	Mokré Louky vlhká část	Vatín	Kukuřice Atletico
Bioplyn							
ZIFO	lN/kg OS	563,6	564,4	558,2	557,0	564,1	564,0
Amon	lN/kg OS	-	-	-	-	-	-
Test	lN/kg OS	520	517	530	521	502	621
Metan							
ZIFO	lN/kg OS	298	301	303	303	297	296
Amon	lN/kg OS	277	295	316	311	271	313
Test	lN/kg OS	295	300	315	321	286	337
% metanu v bioplynu	%	53	53	54	54	53	52



Graf 1 Produkce bioplynu (normolitr bioplynu), pozn. ML – Mokré Louky

ké části Mokřých Luk 176,6 Nm³ bioplynu z tuny původní hmoty siláže. U vzorku z lokality Vatín dosahovala produkce bioplynu 144,1 Nm³/t původní hmoty siláže. Z referenčního vzorku kukuřičné siláže hybridu u Atletico byla produkce 172,2 Nm³/t.

ZÁVĚR

V práci jsou uvedeny výsledky chemického složení a produkce metanu, resp. bioplynu siláže travní biomasy z pěti lokalit trvalých travních porostů, lišících se nadmořskou výškou, převládajícími druhy trav, porostovým typem, vodním a živinovým režimem. Výsledky jsou porovnávány se vzorkem kukuřičné siláže hybridu Atletico používaného v bioplynových stanicích. Produkce bioplynu získaná z výsledků laboratorních testů anaerobní fermentace vzorů byla porovnávána s výsledky produkce bioplynu vypočtených ze dvou matematických modelů vycházejících ze složení biomasy. Produkce bioplynu přepočtená na kilogram organické sušiny (OS) jednotlivých vzorků dosahovala u trav hodnot 502–530 l_N/kg OS a u vzorku kukuřice 621 l_N/kg OS. Získané výsledky neprokázaly výrazné rozdíly produkce bioplynu u jednotlivých vzorků rostlinné biomasy. Z tohoto porovnání vyplývá, že využití travní biomasy z trvalých travních porostů k výrobě bioplynu může být výhodnou ekonomickou alternativou např. pro podhorské oblasti nedisponující velkými výměrami orné půdy.

Poděkování

Tento příspěvek byl vypracován v rámci řešení projektu NPV 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ podporovaného Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy.

LITERATURA

- Amon, T., Kryvoruchko, V., Amon, B., Zollitsch, W., Pötsch, E. (2004): Biogas production from maize and clover grass estimated with the methane energy value system. In EurAgEng: AgEng 2004 Engineering the Future, 12–16 September 2004, Leuven, Belgium.
- DIN 38414 (1985-06): Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Schlamm und Sedimente (Gruppe S); Bestimmung des Faulverhaltens (S 8).
- Hejduk, S. (2006): Hydrologický význam travních porostů. 6. Evropská letní akademie ekologického zemědělství, Lednice na Moravě, 29. 6.–1. 7. 2006.
- Hlávková, H. (1980): Produkce některých bylinných druhů mokřadních ekosystémů. Diplomová práce. Praha, VŠZ.
- Moeller, H. B., Nielsen, L., Christensen, T. B. (2007): Biogas production from different types of biomass and grass species from meadows. Nordic Association of Agricultural Scientists, Copenhagen, p. 87–88.
- Rutzmoser, K., Spann, B. (2002): Zielwert-Futteroptimierung, Bayer. Landesanstalt für Tierzucht, Grub.
- Stražil, Z., Váňa, V., Káš, M. (2005): The reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) cultivated for energy utilization. Res. Agr. Eng., vol. 51, no. 1, p. 7–12.

Rukopis doručen: 18. 2. 2011

Přijato po recenzi: 30. 3. 2011

POTENCIÁLNÍ ŠKŮDCI ENERGETICKÝCH DŘEVIN: FYTOFÁGNÍ DRUHY HMYZU (INSECTA) NA VYBRANÝCH PLANTÁŽÍCH V ČECHÁCH

POTENTIAL PESTS OF ENERGY TREES: PHYTOPHAGOUS SPECIES OF INSECTS (INSECTA) IN SELECTED PLANTATIONS IN BOHEMIA

Pavel Kohout, Jaroslav Boháč, Lenka Pavelcová, Ivo Celjak

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Studentská 13, 370 05 České Budějovice, pajakure@seznam.cz, jardaboh@seznam.cz

Abstrakt

Byl studován fytofágní hmyz (hlavně brouci, motýli, pilatky a křísi) na třech lokalitách v jižních a jedné lokalitě v západních Čechách. Sběr materiálu a pozorování byla prováděna jednou měsíčně od května po říjen v letech 2009 a 2010. Hmyz byl skle-páván do připraveného sáčku. Odběr byl prováděn desetkrát náhodným způsobem uvnitř plantáží topolů a vrb. V případě sběru housenek motýlů a housenic pilatek byla použita metoda jednotlivého sběru. Celkem byl zjištěn pravidelný výskyt deseti druhů fytofágních brouků, pěti druhů housenek motýlů, jednoho druhu pilatky a dvou druhů křísů. Na plantážích topolů se nejčastěji vyskytovala mandelinka topolová (*Chrysomela populi*), která působila významné škody na mladých porostech. Na klonech vrb byl významným fytofágem chroustek (*Phyllopertha horticola*), který poškozoval v jarních měsících mladé výhonky.

Klíčová slova: topoly a vrby pro energetické účely, fytofágní druhy hmyzu, brouci, motýli, pilatky, křísi

Abstract

Phytophagous insects (mainly beetles, moths, saw flies and leafhoppers) were studied on three localities in southern Bohemia and one locality in western Bohemia. Collection and observation of the target species was carried out every month from May to October in 2009 and 2010. The material was collected by knocking-up. The branches were shaken or knocked up into the prepared bag. This method was repeated ten times randomly within plantations of poplars and willows. In the case of collecting of caterpillars and sawfly larvae was used a single hand method of collection. Ten species of phytophagous beetles, five species of moths, one species of sawfly and two species of leafhoppers were found on studied plots. Leaf beetle *Chrysomela populi* was the most common phytophagous species on poplar clones, which caused significant damage to young plants. The willow clones were attacked by the beetle species *Phyllopertha horticola*, which damaged the young spring shoots considerably. The occurrence of other insect species was less important.

Key words: poplars and willows for energetic purposes, phytophagous insects, beetles, moths, saw flies, leafhoppers

ÚVOD

Obecně jsou pozitivní účinky pěstování energetických dřevin na biodiverzitu očekávané v dlouhodobém měřítku, hlavně kvůli sníženému zpracování půd a použití agrochemikálií a zvýšenému vstupu opadu (Börjesson, 1999; Smeets et al., 2009). Jiné studie ovšem zaznamenaly značné rozdíly v biodiverzitě mezi plantážemi energetických dřevin, hlavně kvůli rozdílům v kontrolních opatřeních proti plevelům, strukturou porostu a heterogenitou a způsobům sklizně (Göransson, 1994; Hanowski et al., 1997; Dhondt et al., 2004; Minor et al., 2004).

Plochy osázené rychle rostoucími stromy jsou extrémně dynamické a během čtyř let se mohou přeměnit z otevřených ploch na společenstvo podobné mladému lesu se stromy dosahujícími až 10–15 m výšky. Následkem toho dochází k vyššímu výskytu lesních bezobratlých (Boháč et al., 2008).

Okraje hybridních plantáží topolů lokalizované na zemědělské půdě ukázaly silný okrajový vliv na motýly, jejichž početnost zde dosahovala početnosti otevřených lesních okrajů (Britt et al., 2007). Také počet rostlinných druhů, zvláště trvalek, byl větší na okrajích plantáží topolů než na okrajích polí v okolní

zemědělské krajině (Sage et al., 2008). Okraje plantáží topolů tedy mohou pozitivně ovlivňovat druhovou pestrost společenstev organismů (včetně hostitelských rostlin larev motýlů). Topoly a jejich podrost na podzim a v zimě přitahují bioregulační činitele jako parazitoidní vosy různorodou strukturou porostu (včetně trsů trav pro zimní refugia půdních predátorů). Bohatší podrost podporuje druhově bohatá společenstva bezobratlých poskytující ekosystémové služby jako je opylování a bioregulace jak pro samotné energetické dřeviny, tak pro pěstované plodiny v nejbližším okolí (Sage, 1998; Sage et al., 2008; Bellamy et al., 2009; Marshall et al., 2006).

Energetické plantáže dřevin podporují také rozmanitost společenstev fytofágních bezobratlých (Sage, Tucker, 1997; Boháč et al., 2010). Ovšem některé z těchto druhů mohou plantážím škodit. Jako příklad mohou sloužit některé druhy mandelínek (např. mandelinka topolová a někteří dřepčící), které mohou v plantážích topolů dosáhnout vysoké početnosti (Sage, 2008). Zdá se však, že energetické dřeviny, které jsou často nepůvodními kříženci, lépe odolávají rostlinným fytofágům. Jen v některých případech se dá uvažovat o preventivních opatřeních proti těmto škůdcům. Tato opatření však mohou potlačit ostatní neškodlivé nebo i užitečné druhy

bezobratlých. Z důvodu negativních účinků na biodiverzitu, ale také malých ekonomických ztrát na výnosu, nebude zřejmě většinou aplikace insekticidů na plantážích energetických dřevin nutná (Björkman et al., 2004). Protože fytofágní brouci kolonizují plantáže každý rok od kraje porostu, je možno jen zde aplikovat insekticidy během maximální aktivity dospělců. Sage (2008), Björkman et al. (2004) uvádějí, že biologická kontrola je jediná optimální cesta pro snížení početnosti škůdců na plantážích rychle rostoucích plodin. Při využití pesticidů by se nemělo zapomínat, že případní škůdci rychle rostoucích dřevin jsou přirozenou součástí kulturní krajiny a mají v nich nezastupitelné místo. Jejich role nemusí být vždy jen negativní (Shepherd, 1995). Škůdci se stávají skutečně škodlivými teprve v okamžiku, kdy velikost populace daného druhu dosáhne prahu ekonomické škodlivosti, to znamená, že způsobí hospodářskou ztrátu (Kazda et al., 2000).

Fytofágní druhy na plochách energetických dřevin zatím v ČR podrobně studovány nebyly. Cílem této práce bylo zjistit hlavní druhy vyskytující se na křížencích energetických topolů a na energetických vrbách a vtypovat, zda mohou těmto porostům škodit (snížovat ekonomický výnos).

MATERIÁL A METODIKA

Modelové plochy

Studie byla provedena v roce 2009 a 2010 na třech lokalitách v jižních Čechách (obr. 1). Na těchto lokalitách je vysázena směs klonů topolu J-104(Max 5) (*Populus nigra* L. × *Populus maximowiczii* Henry 'Maxfünf') a J-105(Max 4) (*Populus nigra* L. × *Populus maximowiczii* Henry 'Maxvier'). Poslední lokalita je v západních Čechách. Na této lokalitě jsou vysázeny v řadách klony topolu J-104(Max 5) (*Populus nigra* L. × *P. maximowiczii* Henry 'Maxfünf'), J-105(Max 4) (*P. nigra* L. × *P. maximowiczii* Henry 'Maxvier'), P-494 (*P. maximowiczii* Henry × *P. × berolinensis* 'Oxford'), P-468 (*P. trichocarpa* Torr. et Grey × *P. koreana* Rehd.) a klony vrby: S-218 (*Salix × smithiana* Willd.), S-337 (*S. viminalis*), S-383 (*S. × smithiana* Willd.), S-457 (*S. alba*), S-699 (*S. viminalis* L.), S-705 (*S. caprea* × *wind*). Lokalizace studovaných ploch a jejich bližší charakteristika jsou uvedeny v tabulce 1.

Okolní krajina byla rozdělena dle stupně antropogenního ovlivnění do dvou skupin: 1 – silně ovlivněná (intenzivní zemědělství), 2 – středně ovlivněná (potoční niva, rozptýlená



Obrázek 1 Mapa sledovaných lokalit Mochtín, Čakov, Chlumská hora

Tab. 1 Charakteristika studovaných ploch s rychle rostoucími dřevinami v jižních a západních Čechách

Plocha	Název plochy	Rok výsadby	Antropogenní ovlivnění	GPS lokalizace	Počet stromů	Charakteristika okolní krajiny
1.	Čakov I	2002	1	48°59'5.636"N 14°18'11.468"E	500	pole, pastvina
2.	Čakov II	2005	1	48°59'3.121"N 14°18'7.813"E	800	pole, pastvina
3.	Chlumská hora	2003	2	48°48'7.963"N 14°30'19.061"E	3 680	kulturní les, pole
4.	Mochtín	2009	2	49°21'46.204"N 13°20'47.213"E	675	silnice, louka, potok s doprovodnou zelení (vrby a topoly)

zeleň a louky s ekotonovými biotopy) (Boháč et al., 2008).

Odběr a pozorování fytofágních bezobratlých bylo provedeno vždy 5× v roce od května do října, a to v letech 2009 a 2010. Při sběru škůdců byla použita metoda sklepávání, jednotlivé větve byly otřesené nebo oklepané na připravený tácek. Toto bylo opakováno desetkrát náhodně uvnitř plantáží topolů nebo vrb. V případě sběru housenek motýlů a housenic byla použita metoda individuálního sběru. Údaje o hojnosti výskytu a další bionomické údaje (přítomnost larev, kukel, stáří housenek, atd.) byly průběžně zaznamenávány.

Pro determinaci druhů řádu *Coleoptera* byli odebráni jedinci usmrceni v lihu. U housenek motýlů byla vytvořena fotodokumentace pro jejich přesnější determinaci. Materiál brouků byl určován podle Hůrky (Hůrka, 2005). Pro determinaci druhů motýlů (*Lepidoptera*) byly použity atlasy Macka (Macek et al., 2007; Macek et al., 2008) a Tomiczeka (Tomiczek et al., 2005).

U některých druhů je problematická nebo nemožná přesná determinace druhu podle vývojového stádia housenky, a proto bylo přistoupeno k metodě dochování housenky do stadia dospělého motýla (imaga). Úspěšnost při dochování housenek byla velmi nízká – podařilo se dochovat 1 druh.

VÝSLEDKY A DISKUZE

Hlavní představitelé fytofágních druhů vyskytujících se na sledovaných lokalitách

Počty druhů a jedinců fytofágního hmyzu se na jednotlivých plochách rychle rostoucích dřevin podstatně lišily (tab. 2). Nejvyšší počet druhů byl zjištěn na plantážích v Mochtíně, a to jak u topolů (10), tak i vrb (13). U ostatních plantáží, kde se pěstovaly jen topoly, byl počet druhů podstatně nižší (Čakov I a II po 4 druzích, Chlumská hora 7 druhů). Je zřejmé, že to je způsobeno tím, že na plantáži v Mochtíně byly na rozdíl od Čakova a Chlumské hory vysazeny kromě topolů i klony vrb. Zdá se, že počet vysazených stromů ani okolní krajina nehrály tak významnou roli. Nejvyšší počet jedinců fytofágního hmyzu byl však zjištěn na plantáži na Chlumské hoře. Bylo to způsobeno přemnožením mandelinky topolové (*Chrysomela populi*) (25–40 exemplářů larev a dospělců na jednom topolu).

Výskyt dominantních druhů fytofágního hmyzu na klonech topolů a vrb pro energetické účely je uveden z plantáže Mochtín (tab. 3), protože jen na této lokalitě byly přítomny všechny sledované klony topolů i vrb, zatímco na lokalitách Čakov a Chlumská hora to byly jen klony topolů J-104 a J-105. Celkem byl na plantáži Mochtín zjištěn pravidelný výskyt deseti druhů fytofágních brouků, pěti druhů housenek motýlů, jednoho druhu pilatky a dvou druhů kříšů. Na topolech bylo zjištěno 11 druhů fytofágního hmyzu, na vrbách 13. Z celkového počtu 10 druhů fytofágů na topolech a vrbách bylo jen 6 druhů nalezeno jak na topolech, tak i na vrbách (brouci *Phratora vitellinae*, *Chrysolina fastuosa*, *Crepidodera aurata*, motýli *Scoliopteryx libatrix*, blíže neurčený druh píďalky a pilatka *Pristiphora conjugata*). Ostatní druhy se vyskytovaly vždy jen na topolech, anebo na vrbách.

Počet druhů na různých klonech topolů (6 klonů) a vrb (6 klonů) na plantáži v Mochtíně se pohyboval od 6 do 12 (tab. 3). Přitom na klonech vrb byl počet druhů pravidelně se vyskytujících fytofágů vyšší (9–12) než u topolů (6–10). U těch se u různých klonů počet přítomných druhů fytofágů měnil významněji (6 druhů u klonů P-410 a P-466, 10 druhů u klonu J-104) než u vrb (9 druhů u klonů S-705 a S-457, 12 druhů u klonu S-699). K důvěryhodnějším závěrům je však třeba dalších studií na více plochách a v delším časovém období, protože ostatní sledované plantáže jsou monokultury topolů klonu J-104 a J-105. Nelze tudíž prokázat větší rezistentnost některého z klonů k fytofágům vůči jinému klonu. Z výzkumu spíše vyplývá, že zásadní vliv na výskyt škůdců může mít stáří plantáže od výsadby nebo od poslední těžby a pravděpodobnost napadení se zvyšuje s dalšími těžbami. Nejvíce ohrožené jsou tedy plantáže čerstvě vysazené v blízkosti již vzrostlé plantáže, nebo plantáže čerstvě vytěžené.

Celkově lze říci z hlediska bionomie jednotlivých druhů, že u brouků na topolech převažovaly místní obecné a široce rozšířené druhy. Na vrbách byl poměrně častý vzácnější druh tesáříka kozlíčka dvojtečného (*Obera oculata*).

U motýlů nebyla většina druhů dochována do stádia dospělců a jejich určení nebylo do druhu tudíž provedeno. U určených druhů můžeme krátce uvést jejich bionomickou charakteristiku:

- Sklepnice obecná – *Scoliopteryx libatrix* (Linnaeus, 1758), čeleď můrovití (*Noctuidae*), podčeď šípověnky (*Acronictinae*). Holarktický druh. U nás od nížin do hor. Mezofilní až mírně hygrofilní (pobřežní pásma, mokřady, lesní

Tab. 2 Počty druhů a jedinců na jednotlivých plochách s rychle rostoucími dřevinami zjištěné standardizovanou metodou (odběr deseti náhodných vzorků sklepáváním uvnitř plantáží – podrobněji viz metodika)

Lokalita	2009		2010	
	Počet jedinců	Počet druhů	Počet jedinců	Počet druhů
Čakov I	32	4	45	3
Čakov II	152	4	114	4
Chlumská hora	2 125	7	1 784	6
Mochtín topoly	280	10	196	8
Mochtín vrb	247	13	284	10

Tab. 3 Výskyt hlavních druhů fytoagárního hmyzu na klonech topolů a vrb pro energetické účely na plantáži Mochtín (označení klonů viz metodika)

Druh	J-104	J-105	P-494	P-468	P-410	P-466	S-218	S-337	S-338	S-457	S-699	S-705
<i>Chrysomela populi</i> (Linnaeus, 1758)	•	•	•	•	•	•						
<i>Phratora vitellinae</i> (Linnaeus, 1758)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Zeugophora flavicollis</i> (Marsham, 1802)	•	•	•	•	•	•						
<i>Chrysolina fastuosa</i> (Scopoli, 1763)	•	•	•	•	•	•					•	
<i>Phyllopertha horticola</i> (Linnaeus, 1758)							•	•	•	•	•	•
<i>Galerucella lineola</i> (Fabricius, 1781)							•	•	•	•	•	•
<i>Crepidodera aurata</i> (Marsham, 1802)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Oberea oculata</i> (Linnaeus, 1758)							•	•	•	•	•	•
<i>Byctiscus populi</i> (Linnaeus, 1758)	•	•										
<i>Agrypnus murinus</i> (Linnaeus, 1758)	•	•										
<i>Scoliopteryx libatrix</i> (Linnaeus, 1758)	•	•					•	•	•	•	•	•
<i>Biston betularius</i> (Linnaeus, 1758)							•		•			
<i>Notodonta ziczac</i> (Linnaeus, 1758)											•	
<i>Acronicta auricoma</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	•											
<i>Geometridae</i>				•			•	•	•	•	•	•
<i>Pristiphora conjugata</i> (Dahlbom, 1835)	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
<i>Cercopis sanguinolenta</i> (Scopoli, 1763)											•	
<i>Aphrophora alni</i> (Fallén, 1805)							•	•	•	•	•	•
Celkový počet zjištěných druhů	10	9	6	7	6	6	10	10	10	9	12	9

okraje, paseky, mýtiny, světliny, poříční nivy, zahrady, parky). Generace se vzájemně překrývají (dospělci přezimují ve sklepích, na půdách, dutinách stromů, atd.). Housenky žijí na topolech, vrbách, zpravidla jednotlivě.

- Drsnokřídlec březový – *Biston betularius* Linnaeus, 1758 (čeleď píďalkovití – *Geometridae*). Determinace není možná bez dochování housenek. Známý zejména podle tak zvaného industriálního melanismu. Druh je tedy velmi odolný i emisím, často velké subpopulace na stromořadích kolem komunikací, atd.

Bionomie dominantních druhů a jejich případný význam jako škůdců

Nejpočetnějším fytofágem byla bezesporu mandelinka to-

polová (*Chrysomela populi*) (obr. 2), zejména na plantáži Chlumská hora, kde došlo k přemnožení tohoto druhu. Počet dospělců na sledovaných rostlinách se pohyboval v rozmezí 5–10 ks a larev 20–30 ks na jedné rostlině. Mandelinka topolová na této plantáži působila výrazný žír listů topolů a nezřídka úplné skeletování listů, a to hlavně na nejčerstvějších přírůstcích a na rostlinách zastíněných lesem, které nebyly v důsledku toho tak vitální jako ostatní rostliny. U zasažených rostlin došlo k zpomalení růstu vlivem výrazného poškození horních částí prýtů. Nedošlo však k takovému poškození rostliny, aby došlo k jejímu zahynutí. Daná lokalita byla v předšlém roce 2008 vytěžena, což bylo důvodem tak výrazného rozšíření mandelinky topolové na nový roční porost. Ke ztrátám na rostlinách nedošlo, neboť porost byl již po druhém

obmýti. Na ostatních plantážích byl výskyt mandelinky topolové zanedbatelný, jen u plantáže označené jako Mochtín byl zaznamenán v prvním roce výsadby vyšší podíl mandelinky topolové a značné poškození vrchních částí prýtů. Některé rostliny napadené mandelinkou po žíru uhynuly.

Z jiných zástupců mandelinek se výrazněji vyskytoval druh *Phratora vitellinae*, a to hlavně na plantáži Mochtín. Zde byl zjištěn i v několika desítkách imag na jedné rostlině. Tento druh nepůsobí vážnější škody na listech, jen minimálně poškozuje listy i při velkém přemnožení a není potenciálním rizikem pro topolové ani vrbové plantáže.

Dalším druhem brouka vyskytujícím se hlavně na vrbách při jarním rašení je listokaz zahradní (*Phyllopertha horticola*) (obr. 3). Tento druh způsoboval významné škody na mladých listech čerstvě rašících vrb, a tím poškozoval porost a zpomaloval růst jednotlivých rostlin. Výrazné poškození nastalo při nové výsadbě vrb, kdy došlo až k úhynu některých rostlin vlivem žíru tohoto druhu.

Ostatní druhy řádu *Coleoptera* byly zaznamenány jen minimálně nebo nezpůsobovaly významné škody na porostu. Není však vyloučeno, že při kalamitních přemnoženích hlavně u rozsáhlých plantáží může dojít k výraznějším škodám na porostu.

Dalšími významnými škůdci vrbových i topolových plantáží jsou housenice pilatek. Na topolových i vrbových plantážích se vyskytovala pilatka (*Pristiphora conjugata*) (obr. 4). Housenice této bylinné vosy způsobují významné holožírny, hlavně horních listů rostlin. Druh se vyskytoval hlavně na plantáži Mochtín, kde způsoboval výrazné poškození zejména na rostlinách v prvním roce výsadby.

Dalším případným škůdcem mohou být housenky drsnokřídelece březového (*Biston betularius*) (obr. 5). Přestože byl tento druh zaznamenán jen v několika málo případech na vrbách, dokázala jeho jediná housenka za několik hodin úplně okoustat až 30 cm vrcholu vzrostlé vrby. Došlo tak k výraznému poškození vedoucímu k zaschnutí vrcholu rostliny. U těchto mohutných, až 6 cm velkých housenek, byla po skončení jejich žíru na jedné rostlině zaznamenána migrace na rostlinu vedlejší s opětovným poškozením.

Nejpočetnější výskyt zaznamenaných fytofágních druhů byl vždy na nově založené plantáži (Mochtín) nebo na plantáži v předchozím roce v zimě sklizené, tedy na čerstvě vyrašeném porostu (Chlumská hora). U ostatních sledovaných plantáží, které byly vysazeny v roce 2002 (Čakov I) a 2005 (Čakov II), nedošlo k žádnému výraznějším přemnožení sledovaných druhů, pravděpodobně z toho důvodu, že se jedná o vzrostlé stromy.

U ostatních fytofágních druhů hmyzu byl zaznamenán jen minimální výskyt, bez výraznějšího poškození rostlin.



Obr. 2 Larvy mandelinky topolové (*Chrysomela populi*) (foto P. Kohout)



Obr. 3 Dospělí brouci listokaza zahradního (*Phyllopertha horticola*) (foto P. Kohout)



Obr. 4 Housenice pilatky (*Pristiphora conjugata*) (foto P. Kohout)



Obr. 5 Dole dvě housenky drsnokřídlece březového (*Biston betularius*). Nahoře housenice pilatky (*Pristiphora conjugata*) (foto P. Kohout)

ZÁVĚR

Jsou uvedeny jedny z prvních údajů o výskytu fytofágních druhů hmyzu na energetických topolech a vrbách. Výsledky naznačují, že počet fytofágů zvyšuje společné pěstování energetických topolů a vrb. Také jednotlivé klony vrb mají větší počet fytofágních druhů než klony topolů. Vliv okolní krajiny na výskyt fytofágů na energetických dřevinách nebyl potvrzen.

Celkem byl zjištěn pravidelný výskyt deseti druhů fytofágních brouků, pěti druhů housenek motýlů, jednoho druhu pilatky a dvou druhů křísů. Na topolech bylo zjištěno 11 druhů fytofágního hmyzu, na vrbách 14. Z celkového počtu 10 druhů fytofágů na topolech a vrbách bylo jen 6 druhů nalezeno jak na topolech, tak i na vrbách brouci (*Phratora vitellinae*, *Chrysolina fastuosa*, *Crepidodera aurata*), motýli (*Scoliopteryx libatrix*), blíže neurčený druh píďalky a pilatka (*Pristiphora conjugata*). Ostatní druhy se vyskytovaly vždy jen na topolech, anebo na vrbách.

Na plantážích topolů se nejčastěji vyskytovala mandelinka topolová (*Chrysomela populi*), která působila významné škody na mladých porostech. Na klonech vrb byl významným fytofágem chroustek (*Phyllopertha horticola*), který poškozoval v jarních měsících mladé výhonky.

K potvrzení předložených závěrů je třeba dalších studií na více plochách a v delším časovém období. Jedná se zejména o intenzitu napadení různých klonů topolů a vrb fytofágy, která byla sledována jen na jedné lokalitě s 6 klony topolů a 6 klony vrb. Také k posouzení vlivu místních klimatických a půdních podmínek, typu managementu plantáží a charakteru okolní krajiny na výskyt fytofágů na energetických topolech a vrbách je třeba intenzivnějších a dlouhodobých studií na více plochách i v jiných oblastech ČR.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantového projektu MŠMT ČR 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“. Autoři vyjadřují dík doc. Ing. K. Spitzerovi, CSc. a Ing. J. Jarošovi (Biologické centrum AV ČR, Entomologický ústav, České Budějovice) za pomoc při determinaci housenek motýlů.

LITERATURA

- Bellamy, P. E., Croxton, P. J., Heard, M. S. (2009): The impact of growing miscanthus for biomass of farmland bird populations. *Biomass and Bioenergy*, vol. 33, p. 191–199.
- Boháč, J., Celjak, J., Moudrý, J., Wotavová, K. (2008): Biodiverzita epigeických brouků (Coleoptera) na plantážích rychle rostoucích dřevin pro energetické účely. *Udržitelná energie a krajina*. Veronica, Hostětín, s. 13–20.
- Börjesson, P. (1999): Environmental effects of energy crop cultivation in Sweden-1: Identification and quantification. *Biomass and Bioenergy*, vol. 16, p. 137–154.
- Björkman, C., Bommarco, R., Eklund, K. (2004): Harvesting disrupts biological control of herbivores in a short-rotation coppice system. *Ecological Applications*, vol. 14, p. 1624–1633.
- Britt, C. P., Fowbert, J., Mcmillan, S. D. (2007): The ground flora and invertebrate fauna of hybrid poplar plantations: results of ecological monitoring in the PAMUCEAF PROJECT. *Aspects of Applied Biology*, no. 82, p. 83–90.
- Dhont, A. A., Wraage, P. H., Sydenstricker, K. (2004): Clone preference by nesting birds in short-rotation coppice plantations in central and western New York. *Biomass and Bioenergy*, vol. 27, p. 429–435.
- Göransson, G. (1994): Bird fauna of cultivated energy shrub forests at different heights. *Biomass and Bioenergy*, vol. 6, p. 49–52.
- Hanowski, J. M., Niemi, G. J., Christian, D. C. (1997): Influence of within-plantation heterogeneity and surrounding landscape composition on avian communities in hybrid poplar plantations. *Conservation Biology*, no. 11, p. 936–944.
- Kazda, J., Prokajnová, E. (2000): Výskyt chorob a škůdců na rekultivačních plochách uhelných dolů v severočeském kraji. 12th Regional Central European Conference IUAPPA and 4th International Conference on environmental impact assessment Prague, Prague, Czech Republic, September 11–14, 2000, p. 15–18.
- Marshall, E. J. P., West, T. M., Kleijn, D. (2006): Impacts of an agri-environment field margin prescription on the flora and fauna of arable farmland in different landscapes. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, no. 113, p. 36–44.

- Minor, M. A., Volk, T. A., Norton, R. A. (2004): Effects of site preparation techniques on communities of soil mites (Acari: Oribatia, Acari: Gamasida) under short-rotation forestry plantings in New York, USA. *Applied Soil Ecology*, vol. 25, p. 181–192.
- Sage, R. B., Tucker, K. (1997): Invertebrates in the canopy of willow and poplar short rotation coppices. *Aspects of Applied Biology*, no. 90, p. 105–111.
- Sage, R. B. (1998): Short rotation coppice for energy: towards ecological guidelines. *Biomass and Bioenergy*, vol. 15, p. 39–47.
- Sage, R. B. (2008): High invertebrate biodiversity in willow short rotation coppice can be protected when controlling chrysomelid pests by using a spatially targeted insecticide application. *Proceedings Crop Protection in Northern Britain 2008*, p. 33–38.
- Sage, R. B., Waltola, G., Cunningham, M. (2008): Headlands around SRC plantations have potential to provide new habitats for plants and butterflies on farmland. *Aspects of Applied Biology*, no. 90, p. 303–309.
- Shepherd, R. C. H. (1995): A Canadian isolate of *Colletotrichum gloesporioides* as a potential biological control agent for St. John's wort (*Hypericum perforatum*) in Australia. *Plant Protection Quarterly*, no. 10, p. 148–151.
- Smeets, E. M. V., Lewandowski, I. M., Faaij, A. P. C. (2009): The economical and environmental performance of miscanthus and switchgrass production and supply chains in a European setting. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, no. 6–7, p. 1230–1245.

Rukopis doručen: 26. 1. 2011

Přijat po recenzi: 17. 3. 2011

METODY STUDIA BIODIVERZITY V POROSTECH ENERGETICKÝCH ROSTLIN – PŮDNÍ A EPIGEIČTÍ BROUCI

METHODS OF BIODIVERSITY EVALUATION ON THE GROWTH OF ENERGETIC PLANTS – HEMIEDAPHIC AND EPIGEIC BEETLES

Jaroslav Boháč, Pavel Kohout

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Studentská 13, 370 05 České Budějovice, jardaboh@seznam.cz, pajakure@seznam.cz

Abstrakt

Článek se zabývá metodami hodnocení biodiverzity epigeických a hemiedafických brouků na porostech rostlin využívaných pro energetické účely. Dominantními skupinami jsou mezi těmito živočichy střevlíkovití a drabčíkovití brouci. Autoři stručně popisují morfologii, anatomii, bionomii a taxonomii těchto skupin. Zabývají se početností a ekologickou úlohou těchto brouků v půdním prostředí, jejich bioindikační hodnotou a metodami hodnocení jejich společenstev. Jsou uvedeny charakteristické druhy a některé vlastnosti společenstev epigeických brouků na plochách rychle rostoucích rostlin. Poslední část článku se zabývá ochranou půdních druhů brouků s ohledem na plochy energetických rostlin.

Klíčová slova: biodiverzita, metody, epigeičtí a hemiedafičtí brouci, rostliny pro energetické účely, příklady

Abstract

This paper is dealing with methods of the biodiversity evaluation of epigeic and hemiedaphic beetles on growths of plants for energetic purposes. The dominant groups are carabid and staphylinid beetles. The morphology, anatomy, bionomy and taxonomy of these groups of beetles are briefly described. Authors are discussing the activity (abundance) of these groups, their ecological and bioindicative importance in the soil environment. Characteristic species are mentioned and the role of plantages with energetic plants for the conservation of epigeic beetles is discussed.

Key words: biodiversity, methods, epigeic and hemiedaphic beetles, energetic plants, examples

ÚVOD

Používání standardních metod hodnocení biodiverzity v porostech energetických rostlin je důležitým předpokladem zjištění vlivu těchto porostů na různé skupiny organismů v kulturní krajině. Z toho důvodu byl jedním z hlavních cílů projektu „Nepotravinářské využití biomasy“ návrh metod pro sledování biodiverzity v porostech energetických rostlin. Jako první byl zpracován návrh studia biodiverzity epigeických a půdních bezobratlých na příkladu brouků (viz níže).

Mezi dravým hmyzem (*Insecta*) žijícím v půdě a na jejím povrchu najdeme zástupce mnoha řádů, např. dravé ploštic (*Heteroptera*), některé zástupce sítokřídlých (*Neuroptera*), larvy půdních dvoukřídlých (*Diptera*), zejména však brouky (*Coleoptera*) a blanokřídlé (*Hymenoptera*) (Paoletti, 1999). Při praktických studiích půdní fauny se setkáme hlavně se střevlíky a drabčíky z brouků a s mravenci z blanokřídlých. Zejména na střevlíkovité a drabčíkovité, kteří jsou v půdě všech typů terestrických ekosystémů nejpočetnější, je zaměřena pozornost v této kapitole. Mravenci jsou druhově méně početní, ale jejich úloha v ekosystémech je často velmi významná zejména vzhledem k jejich sociálnímu způsobu života. S ohledem na společenský způsob života jsou často používány i zcela jiné metody pro jejich studium, a proto nejsou mravenci v této kapitole zahrnuti.

Základní charakteristika střevlíkovitých a drabčíkovitých – morfologie, anatomie, taxonomické postavení

Střevlíkovití i drabčíkovití brouci jsou typickými představiteli hmyzu s dokonalou proměnou, čili larva se nepodobá dospělému hmyzu a klidové stadium kukly předchází dospělci.

Střevlíci (*Carabidae*) patří do podřádu *Adephaga* (celkem je známo okolo 36 000 druhů v 9 čeledích, z nichž 6 žije ve vodě). Velikost střeoevropských zástupců kolísá mezi 1,6–40 mm. Jsou nejčastěji štíhlí, dobří běžci, se silnými, dlouhými nohama, někteří pomocí upravených předních nohou hrabou. Mnozí (např. druhy rodu *Carabus*) ztratili schopnost letu. Samci většiny druhů mají rozšířené články předních chodidel, opatřené na spodní straně přichycovacími brvami. Většina druhů má zadečkové obranné žlázy různého, často skupinově specifického složení, mnohdy silně páchnoucí. Larvy jsou protáhlé, rovnoběžné, s mohutnými kusadly bez kanálku, předposlední zadečkový článek nese zpravidla pár pevných nebo pohyblivých urogomfů, kuklí se nejčastěji v komůrce v půdě (Hůrka, 2005). Podrobnější informace o morfologii a taxonomii střevlíkovitých se seznamy druhů palearktické i naší fauny je možné nalézt v publikacích dalších autorů (Arndt et al., 2005; Hůrka, 1996, 2005; Jelínek, 1993; Löbl, Smetana, 2003). Specifické morfologické adaptace střevlíkovitých (např. tvar těla, velikost a tvar složených očí, tvar ústních orgánů, délka a tvar končetin, vnitřní anatomie trávicího systému, chemoreceptory na tykadlech a maka-

dlech, atd.) jsou popsány zejména v pracích Sharové (1995) a Hollanda (2002).

Střevlíkovití obývají nejrozličnější stanoviště od mokřých, bažinatých nebo pobřežních až po suchá stepní a pouštní (Hůrka, 1996). Většina druhů žije na povrchu půdy pod kameny nebo v hrabance. Střevlíci žijí i na bylinách, keřích a stromech, někteří i pod kůrou (*Tachyta nana*). Jsou známé druhy vyžadující zastínění (lesní), ale i druhy heliofilní, pobíhající za dne a plného slunce na otevřených biotopech. Mikrokovarikolní druhy žijí v půdě, často pod hluboko zapadlými kameny, jsou známé i druhy jeskynní. Některé druhy žijí jen v nížině, jiné jen v alpském pásmu hor. Většina středoevropských druhů je však spíše vlhkomilných, s noční aktivitou. Potravně jsou naši zástupci nespécializovaní masožravci lovící aktivně kořist nebo vyhledávající uhynulé bezobratlé i obratlovce. Část z nich jsou potravní specialisté vázaní, např. na housenky motýlů (*Calosoma*), chvostokoky (*Leistus*, *Loricera*, *Notiophilus*), plicnaté plže (*Cychnus*, *Licinus*), larvy i imaga drabčičků rodů *Bledius* a *Carpelimus* (někteří střevlíci rodu *Dyschirius*) nebo žížaly (někteří druhy rodu *Carabus*). Jako predátoři mšic jsou uváděny některé druhy rodu *Bembidion* a *Anchomenus dorsalis*. Mnoho druhů je všežravých s převahou masožravosti nebo i býložravosti (*Amara*, *Harpalus*). Jsou známé i vysloveně specializovaní býložravci (*Zabrus*, *Ophonus*), a to jak v imaginárním, tak i v larválním stadiu. Larvy druhů rodů *Lebia* a *Brachinus* jsou ektoparaziti a vyvíjejí se na kuklách různých střevlíkovitých, vodomilovitých a mandelinkovitých brouků.

Vývoj naprosté většiny našich druhů je jednoletý. U několika druhů byla zjištěna péče o potomstvo. Samice některých druhů (např. *Molops piceus*) vajíčka hlídají a ošetřují do vylíhnutí larev, aniž by přijímaly potravu. Samice jiných druhů (např. *Ophonus puncticeps*) shromažďují pod zemí semena miříkovitých jako zásobu pro vylíhlé larvy.

Stanoviště, která obývají střevlíkovití, jsou velmi rozmanitá. Mezi nejdůležitější faktory podmiňující jejich výskyt patří vlhkost, teplota, zastínění, typ vegetace a charakter půdního podkladu. Naprostá většina druhů žije a pohybuje se na povrchu půdy. Výskyt mnoha druhů je vázán na vlhká, až velmi vlhká stanoviště na březích vod, na druhou stranu jsou známy i druhy suchomilné. Další informace o ekologii střevlíkovitých je možné nalézt v řadě publikací (Desender et al., 1994; Holland, 2002; Hůrka, 1996, 2005; Koch, 1989a; Larochelle, Lariviere, 2003; Lidroth, 1992, 1992a; Turin, Penev, Kasale, 2003 a Veselý, 2002).

Drabčičci (*Staphylinidae*) patří do podřádu *Polyphaga*. Je to nejpočetnější podřád brouků, jenž je dělen podle různých autorů na 16–17 nadčeledí. Drabčičci patří do nadčeledi *Staphylinidea*, kam patří společně s mnoha menšími čeleděmi, např. mrchožroutovitými, zahrnujícími známé hrobaříky. Drabčičci jsou od ostatních brouků dobře odlišitelní zkrácenými krovkami, které pokrývají jen část jejich ohebného zadečku. Ve výjimečných případech, např. u nás u podčeledi *Dasyserinae*, pokrývají krovky celý zadeček. Tělo je oválné až dlouze protáhlé, nažloutlé až tmavě hnědé či černé, jiné barvy jako červená, modrá či žlutá jsou vzácné. Tvar těla, struktura jednotlivých částí těla (hlava, štít, zadeček), tvar končetin a sensorické vybavení je přizpůsobeno k způsobu jejich pohybu.

Ústní orgány odráží potravní specializaci drabčičků a způsob přijímání potravy. Tvar očí se mění od velmi redukovaných (terikolní druhy) po silně zvětšené (např. u dravých drabčičků rodu *Stenus*). Larvy zástupců této čeledi jsou známy velmi málo i přesto, že jsou relativně častou součástí půdní fauny. Většinu larev drabčičků lze na první pohled odlišit od larev ostatních brouků podle přítomnosti páru článkovitých přívěsků (urogomfy) na konci devátého zadečkového článku. Larvy mají většinou tři larvální stadia s druhým a třetím stadiem morfologicky podobnějším než stadium první. Vajíčka drabčičků jsou kulatá nebo oválná s dobře vyvinutým chorionem, který má často povrch druhově specifický. Vajíčka absorbují během vývoje vodu a zvětšují se. Klidové stadium ontogenese je typu pupa libera nebo pupa obtecta. Pupa libera se může aktivně pohybovat v substrátu. Velikost těla drabčičkovitých je v rozmezí 0,5–60,0 mm. Ve střední Evropě je nejčastější velikost mezi 1 a 35 mm. Druhy s tak rozdílnou velikostí těla mají různou úlohu v ekosystémech a často se nedostanou do vzájemného kontaktu, protože malé druhy žijí v půdních pórech a velké druhy na jejím povrchu. Studium velikostního zastoupení drabčičkovitých v různých biotopech střední Evropy vedlo k určení pěti velikostních skupin: skupina I s délkou těla do 3 mm, skupina II s velikostí těla 3,1–4,5 mm, skupina III 4,6–7,0 mm, skupina IV 7,1–11,0 mm a skupina V zahrnující druhy větší než 11,0 mm (Boháč, Růžička, 1988). Další informace o morfologii a taxonomii drabčičkovitých se seznamem našich i palearktických druhů je možné nalézt v publikacích mnoha autorů (např. Arnett, Thomas, 2001; Boháč, 1982; Boháč, Matějček, 2003; Boháč, Matějček, Rous, 2006; Horion, 1949, 1963, 1965, 1967; Jelínek, 1993; Koch, 1989a; Löbl, Smetana, 2004; Lohse, 1964; Smetana, 1958; Thayer, 2005). Specifické morfologické adaptace drabčičkovitých (např. tvar těla, velikost a tvar složených očí, tvar ústních orgánů, délka a tvar končetin, délka krovek, sensorické vybavení na těle a tělních přívěscích, atd.) jsou popsány zejména v pracích Boháče (1999) a Thayera (2005).

Potravní vztahy u drabčičkovitých jsou mnohem rozmanitější než u střevlíků (Boháč, 1999; Boháč, Matějček, 2003) a slouží jako základ klasifikace jejich životních forem (tab. 1). Velká část druhů drabčičků je známa jako nespécializovaní predátoři živící se různými půdními bezobratlými, jako jsou hlístice, roztoči, chvostokoci, malé druhy hmyzu a jejich larvy, atd. Některé druhy podčeledi *Oxytelinae* se živí různými organickými zbytky a jejich trávící soustava obsahuje různé množství organických zbytků. Druhy rodu *Bledius* se živí řasami. Druhy rozsáhlého rodu *Eusphalerum* se živí pylem kvetoucích rostlin. Velká skupina drabčičkovitých je mykofágní čili živí se houbami. Z houbožravých druhů drabčičků jsou na plodnici hub nejvíce vázány druhy mycetobiontní, jejichž vývoj je zcela nebo aspoň jedním vývojovým stadiem vázán na houby. Některé druhy drabčičkovitých mají na kusadlech speciální otvory k přenosu spor hub, tak zvaná mykangia.

Řada druhů drabčičků je vázána na hnízda a podzemní chodby drobných savců. V těchto hnízdech, která mají specifické mikroklima, se živí především jinými bezobratlými, obyvateli hnízd (blechy, roztoči atd.). Podle typu vazby na hnízda je tyto druhy možné rozdělit na druhy foleobiontní (druhy prodávající larvální vývoj v hnízdech a dospělci zde také žijí),

foleofilní (druhy upřednostňující chodby a hnízda jako své prostředí) a foleoxenní (druhy vyskytující se v hnízdech z důvodu jejich zvýšené vlhkosti, organických zbytků atd.).

Nejvíce potravně specializováni jsou myrmekofilní a termitofilní druhy drabčků. Existují velmi komplikované vztahy mezi hmyzími hostiteli a drabčkem (např. Wilson, 1971). Zástupci rodu *Aleochara* jsou známi jako paraziti pupáří dvoukřídých.

Drabčci jsou aktivní hlavně během dne. Většina druhů preferuje zastíněné biotopy a žijí pod kameny, v dřevě, v listí a opadu atd. Jejich aktivita je ovlivňována intenzitou světla. Mnoho drabčkovitých má značné migrační schopnosti (Crowson, 1981), které se liší u různých skupin. Mnoho druhů dobře létá (např. druhy rodů *Oxytelus*, *Philonthus*, *Amischa*, *Atheta*). Některé druhy žijící v kulturní krajině jsou nalézány vysoko v horách. Další jsou rozšiřovány dopravou a osidlují takřka celý svět (např. *Lithocharis nigriceps*). V posledních desetiletích jsme svědky invaze některých druhů hlavně z jihovýchodní Asie do nových oblastí (např. *Oxytelus migrator*, *Philonthus spinipes*, *Trichiusa imigrata* a další) (Boháč, 1999). Vysoká frekvence druhů s dobrými migračními možnostmi ve společenstvech drabčků indikuje silný vliv člověka na biotopy.

Tab. 1 Životní formy evropských drabčků (podle Boháče, 1999)

Třída: Zoofágové

Podtřída: Epigeobionti

Skupiny: Epigeobionti běhající, velcí (typ *Staphylinus*)

Epigeobionti běhající, malí (typ *Philonthus*)

Podtřída: Stratobionti

Skupiny: žijící na půdním povrchu a v opadu (typ *Othius*)

žijící v opadu (typ *Medon*)

žijící v opadu a pod kůrou (typ *Dinaraea*)

žijící v podzemních chodbách (typ *Quedius*)

žijící v jeskyních (typ *Apteranillus*)

Podtřída: Geobionti

Skupiny: geobionti běhající a hrabající (typ *Phytosus*)

půdní geobionti (typ *Meotica*)

Podtřída: Psamokolimbeti

Skupiny: pobřežní (typ *Stenus*)

žijící na lehkých a písčitéch půdách (typ *Astenus*)

Podtřída: Petrobionti (typ *Lesteva*)

Podtřída: Torfobionti (typ *Pachnida*)

Třída: Fytofágové

Skupiny: dendrochortobionti (typ *Eusphalerum*)

pobřežní (typ *Bledius*)

Třída: Saprofágové

Skupiny: žijící v opadu (typ *Omalium*)

žijící na povrchu půdy, malých rozměrů (typ *Oxytelus*)

žijící v jeskyních (typ *Ochtheophilus*)

Třída: Mycetofágové (typ *Gyrophana*)

Třída: Myrmekofilové a termitofilové

Skupiny: symfilové (typ *Atemeles*)

synechtri (typ *Lamprinodes*)

synoekenti (typ *Thiasophila*)

Střevlíkovití a drabčkovití brouci patří k druhově nejpočetnějším čeledím brouků – střevlíků je známo přibližně 40 000, drabčků 48 000 druhů z celého světa (Boháč 1999; Arnett, Thomas, 2001; Arndt, Beutel, Will, 2005; Thayer, 2005). Obě skupiny se vyskytují prakticky ve všech druzích terestrických ekosystémů a tvoří důležitou součást půdní fauny. Střevlíkovití jsou zastoupeni na území ČR 504 druhy (Veselý, 2002). Drabčkovitých je známo 1 396 druhů, čili asi třikrát tolik jako střevlíků.

Základní údaje o taxonomii a bionomii našich střevlíkovitých lze najít v monografii K. Hürky (1996). Údaje o rozšíření našich druhů střevlíků můžeme nalézt v práci Skoupého (2004).

Základní taxonomické dělení drabčkovitých pro území ČR do podčeledí je uvedeno v tabulce 2. Počet druhů v jednotlivých podčeledích je velmi různý – od jednoho známého druhu u devíti podčeledí po nejpočetnější podčeď *Aleocharinae* zahrnující asi 528 druhů, tedy více než našich střevlíkovitých dohromady.

Výskyt a početnost v půdě a role v půdním ekosystému

Střevlíci a drabčci se vyskytují prakticky ve všech terestrických ekosystémech. Pro jejich ekologické studium se používají dvě základní metody – metoda zemních pastí a metoda odběru opadu a vrchních vrstev půdy v určených čtvercích (Smetana, 1958; Absolon, 1994; Krásenský, 2004). Je třeba zdůraznit, že metoda zemních pastí nám nedává informaci o populační hustotě a neodráží ani reálné druhové složení společenstev. Pokud tuto metodu použijeme, neurčujeme vlastně početnost druhů v půdě (počet jedinců na určité plochu), ale jejich aktivitu (počet jedinců křížících plochu zemní pasti za určité sledované odběrové období, např. den, týden, měsíc, rok). Velikost vzorku je také ovlivněna velikostí a tvarem zemních pastí, jejich náplní (často se používá pro fixaci materiálu formaldehyd nebo ethylenglykol, které mohou být pro bezobratlé atraktivní, a tudíž zkreslují výsledky) a mnohými dalšími faktory. Zemní pasti snáze postihnou větší a těžší druhy a také druhy s větší aktivitou. Proto se vůbec nehodí pro studium většiny drabčků, kteří jsou mnohem menší a lehčí a zemními pastmi se zjistí mnohem obtížněji, než metodou odběru půdních vzorků. Metodou zemních pastí zjistíme jen velké druhy drabčků (např. druhy rodů *Staphylinus* a *Ocytus* a některé druhy rodů *Philonthus*, *Quedius*, *Xantholinus*, atd.). Na druhé straně mají zemní pasti výhodu v tom, že monitorují bezobratlé v neomezeném časovém horizontu a jejich použití je opakovatelné a výsledky srovnatelné. Větší druhy jsou také metodou půdních vzorků hůře zjistitelné.

Počet zjištěných jedinců dospělých střevlíků na past a den je velmi různý a mění se od nulového výsledku po desítky je-

Tab. 2 Přehled současných podčeledí čeledi drabčíkovitých v ČR s celkovým počtem známých druhů a počtem ohrožených druhů v jednotlivých podčeledích podle Červené knihy ČR (Boháč a kol., 2007)

Podčeleď	Počet druhů zjištěných v ČR	Počet ohrožených druhů
Micropeplinae	5	1
Scaphidiinae	10	3
Piestinae	2	1
Osoriinae	1	1
Pseudopsinae	1	1
Phloeocharinae	1	-
Olisthaerinae	1	1
Dasycerinae	1	-
Pselaphinae	83	25
Proteininae	11	-
Omaliinae	106	70
Oxytelinae	114	61
Gynotyphlinae	1	1
Oxyporinae	2	-
Steninae	92	31
Leptotyphlinae	1	1
Euaesthetinae	4	-
Paederinae	88	39
Xantholininae	38	9
Staphylininae	209	61
Habrocerinae	1	-
Trichophyinae	1	1
Tachyporinae	96	37
Aleocharinae	528	216
Celkem	1 396	560

dinců v závislosti na jejich aktivitě. Dalšími upřesňujícími metodami (např. zpětným odchytém vypuštěných značených jedinců a jeho porovnáním s počtem odchycených neoznačených kusů, odchyt v ohrazených plochách zamezujících migraci s okolním prostředím) bylo zjištěno, že např. v lesních biotopech se početnost velkých druhů rodu *Carabus* pohybuje mezi 0,13–0,27 exempláře na 1 m². Na ploše 10 ha lesa byla početnost odhadnuta na 13 000–27 000 jedinců (Turin, Penev, Kasale, 2003). U menších druhů střevlíků je početnost vyšší (1–50 ex./m²). Během sezónního studia různých typů agroekosystémů v Evropě, střední a severní Americe a v Japonsku bylo odebráno řádově několik tisíc jedinců střevlíkovitých na jednotlivých polních biotopech (Holland, 2002). Takový počet střevlíků je dostatečný a použitelný pro statistickou analýzu a interpretaci dat ve většině ekologických prací.

Početnost drabčků v opadu a půdě se pohybuje od 5 po 500 exemplářů/m², v lesních ekosystémech většinou mezi 45–100 exemplářů/m² (Boháč, 1999; Irmeler, 1999). Počet druhů i jedinců je většinou vyšší ve stabilních biotopech (např. lesní biotopy), než v biotopech často se měnících vlivem abiotických podmínek (např. břehy toků, zaplavované biotopy, biotopy ovlivňované člověkem). Je známo, že drabčci vytvářejí

velké agregace na určitých mikrobiotopech, např. plodnicích hub, kde jejich početnost může dosáhnout několika tisíc jedinců na plodnici.

Vysoký počet druhů střevlíků a drabčků zjištěný na studovaném biotopu nemusí indikovat vždy jeho zachovalost a nenarušenost. Často je v agroecozách počet zjištěných druhů vyšší než v biotopech polopřirozených (např. zbytky chráněných lesních ekosystémů). Rozhodující jsou totiž ekologické nároky druhů. V agroecozách většinou zcela převažují ubikvistní druhy, zatímco v nenarušených biotopech druhy se zvýšenými ekologickými nároky a druhy stenotopní (Boháč, 1999).

Význam střevlíkovitých v přirozených i umělých suchozemských biocenozách je značný (Hůrka, 1996; Holland, 2002). Ve své valné většině jsou to predátoři ostatních bezobratlých, zejména členovců a měkkýšů, hrající především v antropocenezách, kde se procentuálně nejvíce uplatňují, roli významných entomofágů. Jsou důležitou skupinou v agroekosystémech, kde zaujímají roli dravců hmyzu, mšic, lepidopterických larev apod. Mají tudíž v těchto systémech potenciál v integrované ochraně proti škůdcům. Ale i v přirozených biocenozách se díky své diverzitě i abundanci významně uplatňují při udržování rovnováhy i v koloběhu látek a energie.

I z tohoto důvodu slouží již řadu let jako modelová skupina pro nejrůznější, především ekologické studie.

Střevlíkovití citlivě reagují na nejrůznější toxické látky (insekticidy, herbicidy) vnášené do biocenóz v souvislosti s bojem se škodlivými organismy, stejně jako na nadměrné používání umělých hnojiv. I v této souvislosti prakticky zmizel z obilných polí jediný závažnější škodlivý střevlík našich teplejších oblastí hrbáč osenní (*Zabrus tenebrioides*). Mnozí střevlíkovití jsou citliví i na změnu pH a především vlhkosti, takže mohou být využiti jako bioindikátory těchto změn prostředí.

Souhrnně je možno naše 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, ale i možností využití k bioindikačním účelům v zaznamenávání změn přírodního prostředí, a tím i životního prostředí člověka.

Drabčící jsou hospodářsky významní opět především jako predátoři drobnějších druhů bezobratlých (např. mšic a roztočů). Protože převládá karnivorie, nenajdeme v této čeledi žádného skutečně významného hospodářského škůdce. Velký význam mají druhy, které žijí pod kůrou jehličnatých stromů a živí se tam drobným hmyzem, zvláště larvami kůrovců. Je zde tedy zřejmý význam pro lesní hospodářství. Celá řada drabčících žije v půdě a tvoří důležitou složkou edafonu. Velké masožravé druhy z podčeledi *Staphylininae* jsou velmi dravé a zničí tak velké množství larev hmyzu, např. i larev much. Zástupci rodu *Staphylinus* L. a *Ocypus* Leach jsou našimi největšími drabčícími, zničí velké množství hmyzu a patří společně se střevlíky mezi nejužitečnější brouky.

Značná část druhů žije pod kůrou dřevin, nejčastěji pod kůrou odumřelých a poraněných stromů, ve vrstvě jemné drti a v humusu pod ní a v nejsvrchnějších vrstvách tlejícího dřeva. K tomuto způsobu života jsou přizpůsobeni zploštělým tvarem těla. Většina z nich je dravá a živí se bezobratlými žijícími pod kůrou, někteří z nich se živí vývojovými stádii nebo dospělci kůrovců. U drabčících není ekologie tak známa jako u střevlíkovitých. U obou skupin nejsou dostatečně známa jejich vývojová stádia, a to zejména u drabčících, kde jsou známy larvy jen u 2 % druhů (Boháč, 1982, 1999).

Bioindikační význam a využití

Střevlíkovití i drabčící brouci patří k významným skupinám hmyzu používaným při bioindikačních studiích, zejména v krajinném měřítku. Je to způsobeno relativně jednoduchým způsobem odběru vzorků v terénu metodou zemních pastí a půdních vzorků (Absolon, 1994; Krásenský, 2004), relativně dobrou znalostí jejich biologických nároků a možností určení. Základní údaje o autekologii střevlíků a drabčících jsou obsaženy v desítkách prací různých autorů, kteří během terénních průzkumů zjistili ekologickou preferenci jednotlivých druhů. V těchto ekologických průzkumech se často vycházelo ze znalostí autekologie druhů v určitých geografických areálech. Nejlépe je prozkoumána bionomie druhů západoevropských a středoevropských, případně skandinávských. Prvotní dělení druhů podle jejich bionomie bylo zaměřeno zejména na poznání jejich výskytu v lesních nebo nelesních biotopech

a horských nebo nížinných oblastech. Postupně entomologové soustředili pozornost na preferenci druhů k specializovaným typům biotopů, jako jsou například mokřady, slaniska, různé rostlinné asociace, hnízda drobných savců a sociálního hmyzu, atd. Zjistili, že ekologické nároky některých druhů zpětně ovlivňuje jejich rozšíření a že některé druhy svým rozšířením indukují poslední ostrůvky málo ovlivněných biotopů, např. původních lesních biotopů (Horion, 1965, 1967). Studium vlivu antropogenního ovlivnění na společenstva střevlíků a drabčících se dostávalo do popředí až přibližně v polovině minulého století.

Podle vazby na biotop byli střevlíkovití rozděleni do několika skupin odrážejících šíři jejich ekologické niky (stenotop, eurytop), vazbu na člověka (synantrop), teplotu (stenoterm, euryterm), frekvenci výskytu v různém spektru biotopů (ubikvist) (Koch, 1989). Zvláštní vazba nebo tolerance k vybraným faktorům prostředí je charakterizována zařazením střevlíků nebo drabčících mezi následující skupiny: acidofil, koprofil, halofil, hygrofil, mycetofil, myrmekofil, petrofil, foleofil, psamofil, saprofil, termofil, troglofil, tyrfofil, xerofil (Koch, 1989). Poznání obsazení zvláštních ekologických nik v ekosystémech a v krajině posloužilo pro vytvoření charakteristik druhů jako např. arborikol, arenikol, boletikol, kampikol, kavernikol, korticol, fungikol, florikol, humikol, mikrokavernikol, muscikol, paludikol, petrikol, fytodetrikol, ripikol, silvikol, sfagnikol, terikol (Koch, 1989).

Na základě potravní vazby byli střevlíkovití a drabčící rozděleni na monofágy, polyfágy, fytofágy, algofágy, zoofágy, afidofágy, koprofágy, mycetofágy, saprofágy, myrmekofágy a nekrofágy (Koch, 1989).

Takový souhrn autekologických informací o jednotlivých druzích, často posuzovaný ze subjektivního hlediska, tvoří základní informaci o ekologických nárocích druhů. Tyto informace jsou však důležité, protože přesná autekologická měření a pozorování s pomocí současného sledování parametrů prostředí většinou scházejí. Až v poslední době jsou častější studie sledující kromě změn společenstev střevlíků a drabčících i korelace s některými charakteristikami prostředí (půdními charakteristikami, krajinnými charakteristikami). Nicméně u většiny druhů takovou korekci nemáme. V řadě případů, kdy se určité charakteristiky prostředí měří pedologickými a jinými technickými metodami, jsou získané výsledky těžko využitelné pro střevlíky a drabčící. Důvodem je to, že se tyto brouci často vyskytují v různých mikrobiotopech (trsy trav, mech, zbytky organických látek, mrtvé dřevo atd.), jejichž charakteristiky jsou klasickými metodami těžko měřitelné. V tomto případě klasické pedologické metody nepomohou a je nezbytný vývoj speciálních postupů.

Znalosti bionomie a ekologických nároků jednotlivých druhů jsou důležité pro interpretaci dalších metod používaných pro hodnocení společenstev střevlíků a drabčících.

Rozdělení do skupin podle tolerance k antropogenním vlivům (disturbancím), škály biotopů s různě silným antropogenním vlivem, biotické indexy

Ekologické znalosti o jednotlivých druzích střevlíků a drabčících

ků posloužily pro jejich rozdělení do skupin podle tolerance k antropogenním vlivům (Hůrka et al., 1996 pro střevlíky, Boháč, 1988, 1990, 1999; Boháč, Matějček, Rous, 2007 pro drabčíky).

Při vyhodnocení struktury společenstev brouků podle frekvence počtu exemplářů druhů jednotlivých skupin podle tolerance k antropogenním vlivům byly naše druhy střevlíků a drabčků rozděleny do tří skupin. První skupinu tvoří druhy s nejvyšší ekologickou valencí, mající v současnosti mnohdy charakter reliktních (skupina R u střevlíků nebo RI u drabčků – druhy biotopů nejméně ovlivněných činností člověka), druhou skupinu reprezentují adaptabilnější druhy (skupina A u střevlíků nebo RII u drabčků – druhy stanovišť středně ovlivněných činností člověka, většinou druhy kulturních lesů, ale i druhy neregulovaných a původnějších břehů toků) a třetí skupina je reprezentována eurytopními druhy (skupina E – druhy odlesněných stanovišť silně ovlivněných činností člověka) (podrobněji Boháč, 1988, 1990, 1999; Hůrka et al., 1996). Jak je zřejmé z předcházejícího textu, označení skupin u střevlíků a drabčků je různé a platí následující pravidlo: R podle Hůrky a kol. (1996) = RI podle Boháče (1988), A podle Hůrky a kol. (1996) = R2 podle Boháče (1988) a E Hůrky a kol. (1996) je totožné se skupinou E ve smyslu používaném Boháčem (1988).

Nízký podíl expanzivních druhů nám v nelesních biotopech signalizuje vysoké přírodní hodnoty zkoumaných stanovišť a naopak. Také podíl reliktních I. řádu ve stanovištích ukazuje na jejich původnost (Boháč, 1988, 1990, 1999; Hůrka a kol., 1996).

Na základě tohoto dělení střevlíků a drabčků do skupin podle tolerance k antropogenním vlivům byl vytvořen biotický index nazvaný index antropogenního ovlivnění společenstev drabčků a střevlíků (Boháč, 1990, 1999). Tento index byl stanoven podle následujícího vzorce: $I = 100 - (E + 0,5 R2)$, kde E = frekvence expanzivních druhů (%) a R2 = frekvence reliktních II. řádu (%). Hodnota indexu se pohybuje od 0 (ve společenstvu byly zjištěny pouze expanzivní druhy a společenstvo je nejvíce člověkem ovlivněno) do 100 (ve společenstvu se vyskytují pouze relikty I. řádu a společenstvo není člověkem ovlivněno).

Sledování katén s měřením biotických parametrů a společenstva střevlíků a drabčků

Sledování společenstev střevlíkovitých a drabčkovitých brouků ve vzájemně navazujících biotopech (katéně), kde se zároveň plynule mění charakteristiky prostředí, umožňují určit ekologickou charakteristiku (preferenci k určitému biotopu) jednotlivých druhů a vliv člověka (managementu) na jejich společenstva. V případě, kdy jsou měřeny některé abiotické charakteristiky prostředí (např. obsah vody, dusíku a organické hmoty v půdě, zasolení půd), lze ještě lépe zpřesnit ekologické nároky nebo toleranci jednotlivých druhů (např. Gamarra, Outerelo, 2001).

Statistické metody pro hodnocení společenstev střevlíků a drabčků

Mezi nejčastěji používané statistické metody pro hodnocení společenstev střevlíků a drabčků patří shluková analýza, dvoucestná analýza variance a mnohorozměrné metody (ordinace, kanonické analýzy). Tyto metody jsou podrobně popsány např. v práci Lepše (1996).

Shluková analýza slouží k nalezení takové skupiny druhů (střevlíků, drabčků) v celém souboru, které jsou si podobné a zároveň se liší od jiných skupin. V hodnocení společenstev střevlíků a drabčků se tato metoda velmi často používá pro klasifikaci společenstev brouků různých rostlinných společenstev nebo společenstev s různým antropogenním narušením (Boháč, 2001). Podle některých autorů (Lepš, 1996) je to metoda prvního stupně analýzy dat, která by měla sloužit k navržení hypotéz.

Dvoucestná analýza variance (ANOVA) byla použita pro laboratorní a terénní sledování střevlíkovitých a drabčkovitých brouků na výsypkách (Topp et al., 2001). Hlavní faktory ovlivňující společenstva střevlíků a drabčků byly stáří výsypky, reliéf, typ rostlinného pokryvu a textura.

Velmi často se pro hodnocení společenstev střevlíkovitých a drabčkovitých používají mnohorozměrné metody (ordinace, kanonické analýzy). Předpokládá se, že společenstva jsou objekty a charakteristikami je zastoupení druhů. Dále se předpokládá, že zastoupení druhů je určeno několika málo významnými gradienty prostředí. Kanonické analýzy hodnotí dvě skupiny proměnných, např. soubor společenstev a charakteristiky prostředí. Podobně jako v agroekosystémech, může být metoda kanonické analýzy využita pro hodnocení vlivu vodního režimu na společenstva brouků (Boháč, Frouz, Syrovátka, 2005).

Studium mikrostruktur, experimentální pokusy

Střevlíci a drabčci jsou v krajině často rozptýleni nerovnoměrně a osidlují mikrobioty (různé morfologicky ohraničené komponenty, např. trsy trávy, mechové polštáře, atd.) (Meissner, Janusch, 1996). Tyto mikrobioty mají různou prostorovou mikrostrukturu a abiotické a biotické vlastnosti. Kvantifikace těchto charakteristik mikrostruktur (pórovitost, obsah vody, vzduchu, podíl anorganických a organických látek, pH) a preference výskytu brouků v mikrobiotopech s různou mikrostrukturou umožňuje upřesnit jejich ekologické nároky (Meissner, Janusch, 1996). Pokusy v laboratorních podmínkách prokázaly různou preferenci brouků vzhledem k hustotě a tvaru mikrostruktur (Meissner, Janusch, 1996).

Charakteristické druhy porostu energetických rostlin

Během terénních exkurzí se nejčastěji setkáme s velkými druhy střevlíků. Tyto druhy můžeme potkat na polních cestách, zejména po deštích. Mezi běžné druhy porostů energetických rostlin patří, např. *Carabus violaceus*, *C. hortensis*, *C. granulatus* (obr. 3) a další. S těmito druhy střevlíků se často vyskytují některé velké druhy drabčků rodu *Staphylinus* (Linnaeus, 1758), např. *S. dimidiaticornis*, *S. fossor*, *S. erythropterus*, *S.*

stercorarius. V porostech energetických dřevin v blízkosti lesních biotopů se můžeme setkat s velkými, často černě zbarvenými druhy drabčičků rodu *Ocypus* (např. *O. picipennis*). Dalšími běžnými druhy menších střevlíků jsou v porostech energetických rostlin např. *Amara aenea* a *Poecilus cupreus*, často se vyskytující na plochách energetických bylin. Na porostech energetických vrb ve vlhčích biotopech, zejména na březích stojatých a tekoucích vod, se můžeme často setkat s nápadnými drabčičky s neobyčejně velkýma složenými očima z podčeledi *Steninae*. Představitelé této podčeledi (např. *Stenus clavicornis*) mají, podobně jako larvy vážek, velmi prodloužený spodní pysk, který mohou vymrštit a uchvátit svou kořist, např. chvostokoky. Mezi běžné druhy drabčičků vyskytující se v porostech energetických rostlin patří druh z podčeledi *Aleocharinae* *Drusilla canaliculata*. Tento druh má určitý vztah k mravencům a často se vyskytuje v blízkosti hnízd mravenců rodu *Myrmica*. Je také známý svou mateřskou péčí o svá vývojová stadia. Podčeď *Tachyporinae* reprezentují dva druhy – větší *Tachinus pallipes* a menší *Tachyporus hypnorum*. Poslední druh je velmi běžný v kulturách energetických rostlin a je známý tím, že dovede dobře šplhat po vegetaci, kde pronásleduje mšice a jiný škodlivý hmyz.

Biodiverzita epigeických a hemiedafických brouků na plochách s energetickými rostlinami (příklady)

Střevlíci a drabčičci jsou používáni jako indikátory antropogenních vlivů na biotopy, sledování kvality vody či ovzduší (Boháč et al., 2001, 2004, 2005, 2006; Chobot et al., 2005). Níže jsou uvedeny příklady dvou studií použití střevlíků a drabčičků pro indikaci vlivu plodiny a managementu na plochách s energetickými bylinami a energetickými dřevinami (Jahnová et al., 2009; Kohout et al., 2010).

Střevlíkovití a drabčičkovití na plantážích energetických bylin (Jahnová, Boháč, 2009)

Byly vyhodnoceny materiály střevlíkovitých (*Carabidae*) na pokusných plochách Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích. Na pokusných pozemcích Školního zemědělského podniku Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích byly sledovány následující energetické byliny:

- srha laločnatá (*Dactylis glomerata*),
- ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius*),
- lesknice rákosovitá (*Phalaris arundinacea*),
- topinambur hlíznatý (*Helianthus tuberosus*),
- porovnávací plocha.

Celkem bylo zjištěno na pokusných plochách 18 druhů a 45 exemplářů čeledi *Staphylinidae* a 25 druhů a 594 exemplářů čeledi *Carabidae*. Celkový počet zjištěných druhů byl tedy 43 (639 exemplářů). Nejbohatším porostem z hlediska počtu odchycených exemplářů byla lesknice rákosovitá (246 ks). Nejbohatším porostem z hlediska počtu druhů byla srha laločnatá (28 druhů).

Struktura společenstev vykazovala následující charakteristiky (obr. 1). Druhy mající charakter reliktní, druhy skupiny R1 nebyly zjištěny. Na všech stanovištích převládaly druhy eury-

topní (E) nad druhy adaptabilními (R2). Největší zastoupení eurytopních druhů bylo v porostu lesknice rákosovitě (85 %).

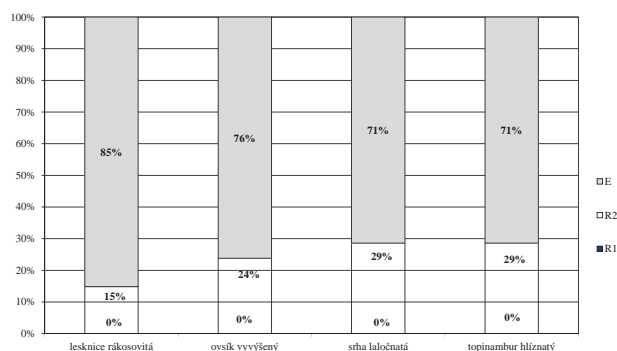
Byla provedena ordinační analýza získaných výsledků (obr. 2). Byla zjištěna velká podobnost společenstev brouků ploch s travami *Dactylis glomerata*, *Arrhenatherum elatius*. Průkazná odlišnost společenstev brouků je mezi plochami s *Phalaris arundinacea* a *Helianthus tuberosus*. Společenstva ploch *Helianthus tuberosus* jsou velmi odlišná přítomností druhů tolerantních k holému půdnímu povrchu (např. střevlíci *Cicindela campestris campestris*, *Calathus fuscipes*, *Pterostichus melanarius*, *Poecilus cupreus*, *Bembidion lampros* a drabčičci *Philonthus atrus*, *Aleochara bipustulata*). Plocha s *Phalaris arundinacea* je charakterizována některými druhy preferujícími opad (např. drabčičci *Stenus ater*, *Atheta fungi*). Plochy s *Dactylis glomerata* a *Arrhenatherum elatius* hostí druhy s vyšší hygropreferencí a s preferencí nižšího travního porostu (např. střevlíci rodu *Amara* a drabčičci rodů *Stenus* a *Tachyporus*).

Druhy tolerantní suchému prostředí převládají na ploše s *Phalaris arundinacea* a *Helianthus tuberosus*. Brouci na plochách s *Arrhenatherum elatius* a *Dactylis glomerata* jsou více hygrolíni.

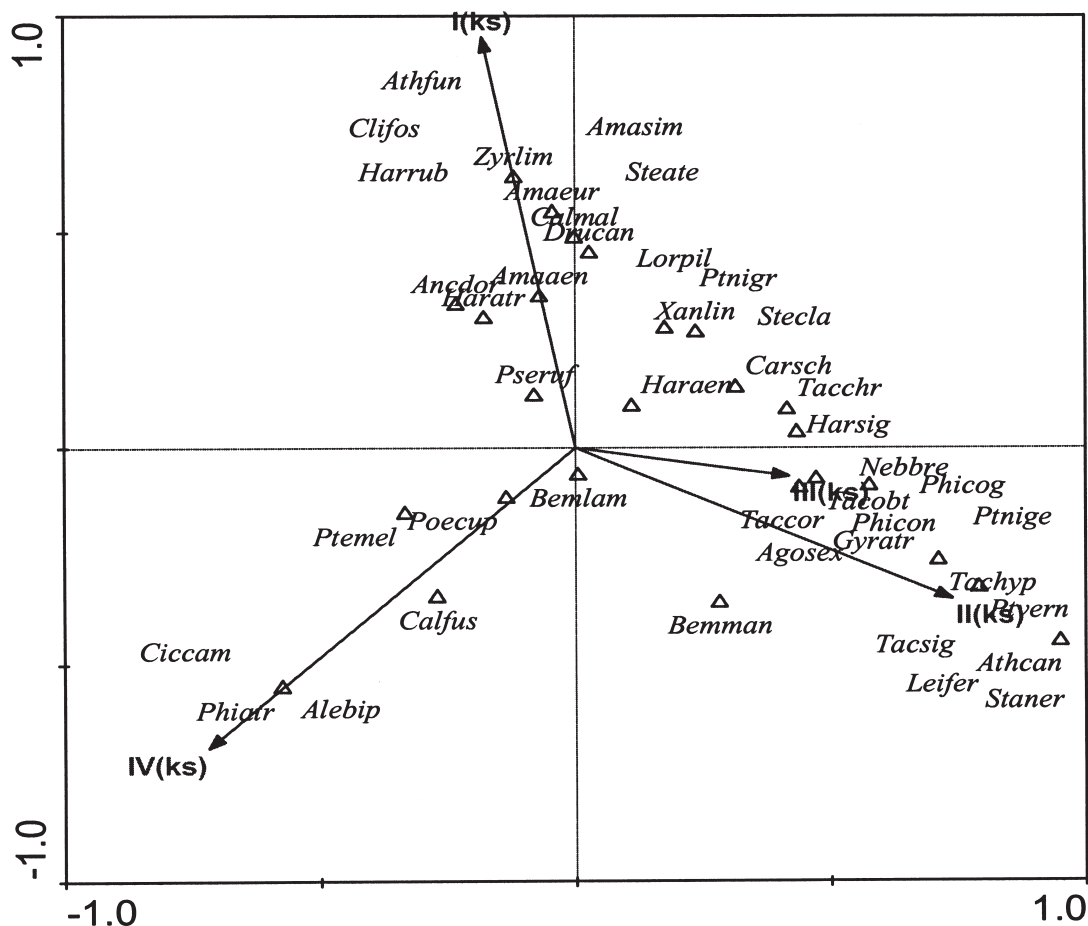
Nepotvrdilo se očekávání, že nejmenší vliv člověka bude patrný na společenstvech brouků v topinamburu. Společenstvo brouků topinamburu se také nejvíce odlišovalo od ostatních (viz ordinační analýza). Ordinační analýza prokázala vysokou podobnost společenstev brouků ovsíku a srhy. Mikroklimatické podmínky a zastínění hrají zřejmě největší roli ve formování společenstev epigeických brouků.

Epigeičtí brouci na plochách energetických dřevin s různým počtem stromů a charakterem okolní krajiny (Boháč a kol., 2008)

Ordinace vzorků brouků na studovaných plochách s různým počtem stromů a rozdílným charakterem okolní krajiny a antropogenním vlivem ukazuje velkou podobnost vzorků (pastí)



Obr. 1 Frekvence zastoupení druhů s různými charakteristikami vzhledem k antropogennímu vlivu na pokusných plochách s energetickými bylinami (E – druhy odlesněných stanovišť silně ovlivněných činností člověka, R2 – druhy stanovišť středně ovlivněných činností člověka, většinou druhy kulturních lesů, ale i druhy neregulovaných a původnějších břehů toků, R1 – nebyla zjištěna) (Jahnová, Boháč, 2009)



Obr. 2 Ordinace epigeických brouků na studovaných plochách metodou CCA. Agosex – *Agonum sexpunctatum*, Amaaen – *Amara aenea*, Amaeur – *Amara eurynota*, Amasim – *Amara similata*, Ancdor – *Anchomenus dorsalis*, Bemlam – *Bembidion lampros*, Bemman – *Bembidion mannerheimi*, Calfus – *Calathus fuscipes*, Calmal – *Calathus melanocephalus*, Carsch – *Carabus scheidleri*, Ciccum – *Cicindela campestris campestris*, Clifos – *Clivina fossor*, Haraen – *Harpalus aeneus*, Haratr – *Harpalus atratus*, Harsig – *Harpalus signaticornis*, Harrub – *Harpalus rubripes*, Leifer – *Leistus ferrugineus*, Lorpil – *Loricera pilicornis*, Nebbre – *Nebria brevicollis*, Poecup – *Poecilus cupreus*, Pseruf – *Pseudophonus rufipes*, Ptemel – *Pterostichus melanarius*, Ptigne – *Pterostichus niger*, Ptigr – *Pterostichus nigrita*, Ptern – *Pterostichus vernalis*, Alebip – *Aleochara bipustulata*, Athfun – *Atheta fungi*, Athcan – *Atheta triangulum*, Drucan – *Drusilla canaliculata*, Gytrat – *Gyrohypnus atratus*, Phiatr – *Philonthus atratus*, Phicog – *Philonthus cognatus*, Phicon – *Philonthus concinnus*, Staner – *Staphylinus nero semialatus*, Steate – *Stenus ater*, Stecla – *Stenus clavicornis*, Taccor – *Tachinus corticinus*, Tacsig – *Tachinus signaticornis*, Tachyp – *Tachyporus hypnorum*, Tacchr – *Tachyporus chrysolimnus*, Tacobt – *Tachyporus obtusus*, Xanlin – *Xantholinus linearis*, Zyrlim – *Zyras limbatus*, I – *Phalaris arundinacea*, II – *Arrhenatherum elatius*, III – *Dactylis glomerata*, IV – *Helianthus tuberosus* (Jahnová, Boháč, 2009)

(obr. 3). Přesto můžeme podle rozložení jednotlivých vzorků zřetelně odlišit dvě skupiny vzorků: první skupinu tvoří vzorky z plantáží obklopené velmi intenzivně obhospodařovanou zemědělskou krajinou tvořenou poli a pastvinami (plochy 3 a 4). Druhou skupinu zahrnují vzorky z plantáží obklopené různorodou krajinou (plochy 1, 2, 5 a 6).

Charakteristickými druhy první skupiny (plochy 3 a 4) jsou eurytopní druhy brouků (např. střevlíci *Poecilus versicolor* a *P. cupreus*, *Pterostichus melanarius*, *Amara familiaris*) nebo druhy brouků žijící v trusu živočichů (např. drabčík *Philonthus varians*).

Druhou skupinu (plochy 1, 2, 5 a 6) charakterizují některé stenotopní druhy brouků (např. drabčík *Olophrum assi-*

mile, *Anthobium atrocephalum* atd.) a velké druhy střevlíků rodu *Carabus* (např. *Carabus hortensis hortensis*, *C. violaceus violaceus*). Dále se zde vyskytují některé chladnomilné druhy se zimní aktivitou (drabčík *Acidota crenata*), které nebyly zjištěny v první skupině. Charakteristické jsou také lesní druhy, které reprezentují střevlíci *Pterostichus oblongopunctatus* a drabčíci *Philonthus decorus*. Pouze na těchto plochách se vyskytuje chráněný druh střevlíka *Carabus scheidleri scheidleri*.

Ochrana půdních druhů brouků a role ploch energetických rostlin

Řada velkých druhů střevlíků rodu *Carabus* (např. *C. auratus*, *C. clathratus*, *C. nitens*, *C. hungaricus*, *C. scabriusculus*, *C. variolosus*, *C. irregularis*, *C. obsoletus*, *C. problematicus*, *C.*

však dosud nevíme přesné příčiny tohoto jevu. Např. velmi krásný střevlík *Carabus intricatus* mizí během posledních desetiletí prakticky v celé střední Evropě. Jako možné příčiny se uvádí klimatické změny (Turin, Penev & Kasale, 2003). Podobně u vymírajících lesních druhů *Carabus glabratus* a *C. irregularis* neznáme příčiny jejich úbytku.

V porostech energetických dřevin je to zejména chráněný druh *Carabus scheidleri*, který se zde poměrně hojně vyskytuje. Zdá se, že tyto porosty mohou plnit úlohu biocenter a biokoridorů pro tento chráněný druh.

U velkých druhů rodu *Carabus* vyvstává v souvislosti s velkým množstvím odchycených dospělců pro vědecké, ale i sběratelské účely amatérskými sběrateli (viz kapitola o výskytu a početnosti) otázka, zda zejména dlouhodobý a intenzivní výzkum nemůže negativně ovlivnit lokální populace. Podle dlouhodobých výzkumů (Turin, Penev & Kasale, 2003) se zdá, že tomu tak není aspoň u stabilizovaných populací ve větších biotopech (lesní biotopy, horské biotopy). Otázka není zcela jasně zodpovězena u malých a fragmentovaných populací brouků dosahujících velikosti několika set jedinců. Omezení výzkumu zejména u střevlíků by však mohlo zásadním způsobem zabránit poznání u chráněných druhů, o nichž kupodivu víme často jen velmi málo. Zcela zásadní je zde pak zavedení nových, zejména genetických metod, pro studium lokálních populací.

ZÁVĚR

Epigeičtí a hemiedafičtí brouci, zejména střevlíkovití a drabčíkovití, se dají dobře použít pro studium změn biodiverzity v porostech rostlin pro energetické účely. Metody odběru vzorků (zemní pasti) jsou standardní a přes určité nedostatky (např. preference větších a více aktivních druhů, vliv fixační náplně na výsledek atd.) se dají dobře používat. Také bionomie je u těchto skupin relativně dobře známa, což usnadňuje interpretaci výsledků. Na plochách s energetickými rostlinami se mohou vyskytovat i chráněné druhy podle zákona a druhy zařazené mezi ohrožené.

Poděkování

Tento článek vznikl za podpory grantového projektu MŠMT ČR 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“.

LITERATURA

- Absolon, K. (1994): Metody sběru dat pro biomonitoring v chráněných územích. Český ústav ochrany přírody, Praha, 70 s.
- Arndt, E., Beutel, R. G., Will, K. (2005): Carabidae Latreille, 1802. In Beutel, R. G., Leschen, A. B.: Coleoptera, Beetles. Volume 1: Morphology and Systematics (Archostemata,

Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim). Walter de Gruyter, Berlin, New York, p. 119–146.

- Arnett, R. H., Thomas, M. C. (2001): American beetles. Vol. 1. Archostemata, Myxophaga, Adephaga, Polyphaga: Staphyliniformia. CRC Press LLC, Boca Raton, London, New York, Washington, D. C., p. 32–132.
- Boháč, J. (1982): The larval characters of Czechoslovak species of the genera *Abemus*, *Staphylinus* and *Ocypus*. Studie ČSAV, č. 4, 122 s.
- Boháč, J. (1988): Využití společenstev drabčíkovitých (Coleoptera, Staphylinidae) k bioindikaci kvality životního prostředí. Zpr. Čs. Společ. ent. ČSAV, č. 24, s. 33–41.
- Boháč, J. (1990): Numerical estimation of the impact of terrestrial ecosystems by using the staphylinid beetles communities. Soil Sci., no. 39, p. 565–568.
- Boháč, J. (1999): Staphylinid beetles as bioindicators. Agr. Ecosyst. Environ., vol. 74, p. 357–372.
- Boháč, J. (2001): Epigeic beetles (Insecta: Coleoptera) in montane spruce forests under long-term synergistic chronic effects in the Giant Mountains (Central Europe). Ekológia (Bratislava), vol. 20, p. 57–69.
- Boháč, J. (2003): Vliv environmentálních faktorů na společenstva střevlíků a drabčíků (Coleoptera, Carabidae, Staphylinidae). In Frouz J., Šourková M., Frouzová J. [eds.]: Fyzikální vlastnosti půdy a jejich interakce s půdními organismy a kořeny rostlin. Ústav půdní biologie AV ČR, České Budějovice, s. 113–118.
- Boháč, J., Frouz, J., Syrovátka, O. (2005): Carabids and staphylinids in seminatural and drained peat meadows. Ekológia (Bratislava), vol. 24, p. 292–303.
- Boháč, J., Hanousková, I., Matějka, K. (2004): Effects of habitat fragmentation due transportation impact with different intensity on epigeic beetle communities in cultural landscape. Ekológia (Bratislava), vol. 24, p. 35–46.
- Boháč, J., Matějček J. (2003): Katalog brouků Prahy, sv. IV. Drabčíkovití – Staphylinidae. Ústav ekologie krajiny AV ČR, České Budějovice, 256 s.
- Boháč, J., Matějček, J., Rous, R. (2005): Staphylinidae (drabčíkovití). p. 435–449. In Farkač, J., Král, D., Škorpík, M. [eds.]: Červený seznam ohrožených druhů České republiky. Bezobratlí. Red list of threatened species in the Czech Republic. Invertebrates. Agentura ochrany přírody a krajiny ČR, Praha, 760 s.
- Boháč, J., Matějček, J., Rous, R. (2007): Check-list of staphylinid beetles (Coleoptera, Staphylinidae) of the Czech Republic and the division of species according to their ecological characteristics and sensitivity to human influence. Čas. Slez. Muz. Opava (A), 56, s. 227–276.
- Boháč, J., Růžička, V. (1990): Size groups of staphylinid beetles (Coleoptera, Staphylinidae). Acta ent. bohemoslov., 87, s. 342–348.

- Boháč, J., Šrubaň, V., Matějka, K., Štátný, J. (2006): The impact of tourism and landscape management in the Šumava National Park and the Šumava landscape protected area on the epigeic beetle communities. *Ekológia* (Bratislava), vol. 25, p. 41–52.
- Crowson, R. A. (1981): *The biology of the Coleoptera*. Academic Press, London, New York, Toronto, Sydney, San Francisco, 802 p.
- Desender, K., Dufrene, M., Loreau, M., Luff, M. L., Mailfait, J.-P. [ed.] (1994): *Carabid beetles. Ecology and evolution*. Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, Boston, London, 474 p.
- Holland, J. M. [ed.] (2002): *The agroecology of carabid beetles*. Intercept, Andover, 356 p.
- Horion, A. (1949): *Faunistik der Mitteleuropäischen Käfer, Bd 2. Palpicornia, Staphylinoidea (ausser Staphylininae)*. Vittorio Klostermann, Frankfurt am Main, 388 p.
- Horion, A. (1963): *Faunistik der Mitteleuropäischen Käfer, Bd 9. Staphylinidae 1. Teil (Micropeplinae bis Euaesthetinae)*. Ph. C. W. Schmidt Verlag, Überlingen-Bodensee, 412 s.
- HORION, A. (1965): *Faunistik der Mitteleuropäischen Käfer, Bd 11. Staphylinidae 2. Teil (Paederinae bis Staphylininae)*. Ph. C. W. Schmidt Verlag, Überlingen-Bodensee, 335 p.
- Horion, A. (1967): *Faunistik der Mitteleuropäischen Käfer, Bd 11. Staphylinidae 3. Teil (Habrocerinae bis Aleocharinae, ohne subtribus Athetae)*. Ph. C. W. Schmidt Verlag, Überlingen-Bodensee, 419 p.
- Hůrka, K. (1996): *Střevlíkovití České a Slovenské republiky*. Kabourek, Zlín, 565 s.
- Hůrka, K. (2005): *Brouci České a Slovenské republiky*. Kabourek, Zlín, 565 s.
- Hůrka, K., Veselý, P., Farkač, J. (1996): Využití střevlíkovitých (Coleoptera: Carabidae) k indikaci kvality prostředí. *Klapalekiana*, č. 32, s. 15–26.
- Chobot, K., Řezáč, M., Boháč, J. (2005): Epigeické skupiny bezobratlých a jejich indikační schopnosti. In Vačkář D. [ed.]: *Ukazatele změn biodiverzity*. Academia, Praha, s. 239–248.
- Irmeler, U. (1995): Die Stellung der Bodenfauna im Stoffhaushalt schleswig-holsteinischer Wälder. *Faun.-Ökol. Mitt. Suppl.* 18, p. 1–199.
- Jahnová, Z., Boháč, J. (2009): Communities of epigeic beetles (Coleoptera: Carabidae, Staphylinidae) on plantations of fast growing grasses. In Soldán T., Papáček M., Boháč, J. [eds]: *Communications and Abstracts, SIEEC 21, June 28-July 3, 2009*. University of South Bohemia, České Budějovice, Biological Centrum of AS CR, České Budějovice, p. 38–41.
- Jelínek, J. (1993): Check-list of Czechoslovak Insects IV (Coleoptera). *Seznam československých brouků*. *Fol. Heyrovskyana*, Suppl. 1, p. 3–172.
- Koch, K. (1989): *Die Käfer Mitteleuropas. Ökologie. Band 1*. Goecke & Evers, Krefeld, 440 p.
- Koch, K. (1989a): *Die Käfer Mitteleuropas. Ökologie. Band 2*. Goecke & Evers, Krefeld, 382 p.
- Krásenský, P. (2004): *Metody sběru brouků jako podklad pro inventarizaci bezobratlých*. http://www.nature.cz/publik_syst/files12/III_05_Brouci.doc.
- Larochelle, A., Larivière, M. C. (2003): *A natural history of the ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of America north of Mexico*. Pensoft Publishers, Sofia, 585 p.
- Lepš, J. (1996): *Biostatistika*. Jihočeská univerzita, Biologická fakulta, České Budějovice, 160 s.
- Lindroth, C. H. (1992): *Ground beetles (Carabidae) of Fennoscandia. A zoogeographic Study. Part I. Specific knowledge regarding the species*. Smithsonian Institution Libraries and The National Science Foundation, Washington, D.C., 630 p.
- Lindroth, C. H. (1992a): *Ground beetles (Carabidae) of Fennoscandia. A zoogeographic Study. Part III. General analysis with a discussion on biogeographic principles*. Smithsonian Institution Libraries and The National Science Foundation, Washington, D.C., 814 p.
- Löbl, I., Smetana, A. [eds.] (2003): *Catalogue of palaearctic Coleoptera. 1, Archostemata, Myxophaga, Adephaga*. Apollo Books, Stenstrup, 819 p.
- Löbl, I., Smetana, A. [eds.] (2004): *Catalogue of palaearctic Coleoptera. 2, Hydrophiloidea, Histeroidea, Staphylinoidea*. Apollo Books, Stenstrup, 942 p.
- Lohse, G. A. (1964): *Staphylinidae*. In Freude, H. K., Harde, K. W., Lohse, G. A. [eds.]: *Die Käfer Mitteleuropas Bd. 4*. Goecke & Evers, Krefeld, 263 p.
- Meissner, A., Janusch, G. (1996): *Untersuchung und Bewertung der Korrelationen von Arthropodengesellschaften mit Makro- und Mikrostrukturen in verschiedenen Landschaftselementen*. Institut für Biologie, TU Berlin, 80 p.
- Outerelo, R., Gamarra, P., Aranda, A. (2001): *Los Staphylinidae (Coleoptera) del Parque Nacional de las Tablas de Daimiel*. *Ecología*, 15, p. 243–268.
- Paoletti, M. G. [ed.] (1999): *Invertebrate biodiversity as bioindicators of sustainable landscape*. Elsevier Science B. V., Amsterdam, 446 p.
- Rose, A. (2001): *Räumliche und zeitliche Verteilungsmuster der Kurzflüglerkäfer (Coleoptera, Staphylinidae) auf Nordsee-Düneninseln unterschiedlicher Sukzessionsstadien*. *Archiv zoologischer Publikationen*, Martina Galunder-Verlag, Nümbrecht, 220 p.
- Rusek, J. (2005): *Indikátory změn půdní biodiverzity*. In Vačkář, D. [ed.]: *Ukazatele změn biodiverzity*. Academia, Praha, s. 239–248.

- Růžička, V., Boháč, J. (1990): The utilization of epigeic invertebrate communities as bioindicators of terrestrial environmental quality. In Salanki, J., Jeffrey, D., Hughes, G. M. Biological monitoring of the environment, CAB International, Walingford, p. 79–86.
- Sharova, I. Ch. (1975): Evolution of imaginal life forms of ground beetles. Zoological Zhurnal, 54, p. 49–67.
- Skoupý, V. (2004): Střevlíkovití brouci (Coleoptera: Carabidae) České a Slovenské republiky ve sbírce Jana Pulpána. Ground-beetles (Coleoptera: Carabidae) of the Czech and Slovak Republics of Jan Pulpán's collection. Public History, Praha, 213 s.
- Smetana, A. (1958): Fauna ČSR, svazek 12, Staphylinidae I. Nakladatelství ČSAV, Praha, 435 s.
- Šustek, Z. (1983): Some methodical aspects of the congruence of carabid communities with various types of phytocenoses. Verh. SIEEC X., Akademia Kiado, Budapest, p. 41–44.
- Thayer, M. T. (2005): Staphylinidae. In Beutel, R. G., Leschen, A. B. Coleoptera, Beetles. Volume 1: Morphology and Systematics (Archostemata, Adephaga, Myxophaga, Polyphaga partim). Walter de Gruyter, Berlin, New York, p. 296–344.
- Thiele, H. U. (1977): Carabid beetles in their environments. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 369 p.
- Topp, W., Simon, M., Kautz, G., Dworschak, U., Nicolini, F., Prückner, S. (2001): Soil fauna of a reclaimed lignite open-cast mine of the Rhineland: improvement of soil quality by surface pattern. Ecological Engineering, vol. 17, p. 307–322.
- Turin, H., Penev, L., Casale, A. (2003): The genus *Carabus* in Europe. A synthesis. (Collective work with checklist, keys, biology & ecology, etc.). Pensoft Publishers, Sofia, 536 p.
- Veselý, P. (2002): Střevlíkovití brouci Prahy. Clairon Production, Praha, 167 s.
- Wilson, E. O. (1971): The insect societies. Harvard University Press, Cambridge, MA, 583 p.

Rukopis doručen: 20. 1. 2011

Přijat po recenzi: 13. 2. 2011

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 Táborová

Náklad: 400 ks

Sazba provedena v Adobe InDesignu písmem Adobe Garamond Pro