



Zdeněk Stražil
Alois Kohoutek
Jiří Diviš
Miroslav Kajan
Jan Moudrý
Jan Moudrý, jr.

Trávy jako energetická surovina

CERTIFIKOVANÁ METODIKA PRO PRAXI

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
ENKI o.p.s.

2011

Metodika je dílčím výstupem projektu MŠMT 2B06131 „Nepotravinářské využití biomasy v energetice“ a výzkumného projektu VZ0002700604.

Oponenti:

Ing. Martin Leibl, Ph.D.

MZe ČR, oddělení ekologického zemědělství, Těšnov 17, 117 05 Praha 1

Doc. Ing. Jiří Mrkvička, CSc.

Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6-Suchdol

Metodika je určena zemědělcům a zemědělským poradcům.

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR – Odbor environmentální a ekologického zemědělství pod č.j. 8/2011

Ministerstvo zemědělství doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

Autor fotografií: Zdeněk Stražil

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2011

ISBN: 978-80-7427-078-9

© Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2011

ISBN: 978-80-7394-313-4

Zdeněk Stražil
Alois Kohoutek
Jiří Diviš
Miroslav Kajan
Jan Moudrý
Jan Moudrý, jr.

Trávy jako energetická surovina

CERTIFIKOVANÁ METODIKA PRO PRAXI

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
ENKI o.p.s.

2011

Trávy jako energetická surovina

Metodika vychází z vlastních i zahraničních zkušeností. Metodika stručně hodnotí současný stav produkce, kvality a využití travní biomasy v České republice. Popisuje významné druhy trav vhodné pro energetické využití, jejich botanickou charakteristiku, výnosové, kvalitativní a technologické parametry z hlediska energetického využití, rajonizací a zásadami agrotechniky. Metodika se zaměřuje především na technologie sklizně, resp. způsoby konzervace, termíny sklizně a na využití travní biomasy pro spalování či výrobu bioplynu a na ekonomické bilance pěstování.

Grasses as a source of energy

The methodology is based on own and external experience. It briefly summarizes actual situation of the production, production quality and utilization of grass biomass in the Czech Republic. There are described important grass species suitable for energy utilization here, their botanical characteristics, yield, quality and technological parameters from the point of view of energy utilization and agronomical practice. The methodology predominantly focuses on the harvesting technology, ways of preservation, harvesting period and energy utilization of the grass biomass through burning or biogas production. There is also presented the economical balance of grass production.

Obsah

I.	Cíl metodiky	4
II.	Vlastní popis metodiky	4
1.	Úvod	4
2.	Výkonné druhy trav	6
2.1.	Chrastice rákosovitá (<i>Phalaris arundinacea</i> L.)	6
2.2.	Sveřep bezbranný (<i>Bromus inermis</i> L.) Leyss.	7
2.3.	Srha laločnatá (<i>Dactylis glomerata</i> L.)	8
2.4.	Ovsík vyvýšený (<i>Arrhenatherum elatius</i> L.) M. K.	8
2.5.	Kostřava rákosovitá (<i>Festuca arundinacea</i> Schreb.)	9
3.	Pěstování trav	9
3.1.	Chrastice rákosovitá	9
3.1.1.	Zařazení do osevního postupu	9
3.1.2.	Hnojení	10
3.1.3.	Příprava půdy a setí	10
3.1.4.	Ošetření porostu	10
3.1.4.	Skližeň a posklizňové zpracování	11
4.	Produkce nadzemní fytomasy	12
5.	Vliv hnojení dusíkem na výnosy	15
6.	Využití travní biomasy pro spalování	18
6.1.	Technologické parametry fytomasy trav určených pro spalování	18
7.	Využití travní biomasy pro výrobu bioplynu	21
7.1.	Produkce a složení bioplynu z fytomasy	21
7.2.	Produkce metanu dosažená v experimentální činnosti	23
7.3.	Technologické aspekty anaerobní fermentace travní biomasy	24
7.4.	Dávkování rostlinné biomasy	24
7.5.	Používané typy reaktorů k anaerobní fermentaci fytomasy	25
8.	Ekonomické aspekty energetického využití trav	26
9.	Závěry	27
III.	Srovnání novosti postupů	27
IV.	Popis uplatnění metodiky	28
V.	Ekonomické aspekty	28
VI.	VI. Seznam použité související literatury	29
VII.	Seznam publikací, které předcházely metodice	30

I. Cíl metodiky

Metodika si klade za cíl seznámit uživatele s vybranými druhy trav produkujících vysoké množství kvalitní a hodnotné fytomasy z hlediska energetického využití. Jsou v ní porovnávány agroekologické požadavky vybraných druhů trav, jejich vlastnosti z hlediska energetického využití suchou nebo mokrou cestou.

Cílem metodiky je dále seznámení prvovýrobců – pěstitelů s agrotechnikou zaměřenou podle účelu využití hlavně na způsob a termíny sklizně ovlivňující kvalitu fytomasy z energetického hlediska.

II. Vlastní popis metodiky

Metodika stručně hodnotí současný stav produkce, kvality a využití travní biomasy v České republice. Popisuje významné druhy trav vhodné pro energetické využití, seznamuje čtenáře s jejich botanickou charakteristikou, výnosovými, kvalitativními a technologickými parametry z hlediska energetického využití, rajonizací a zásadami agrotechniky.

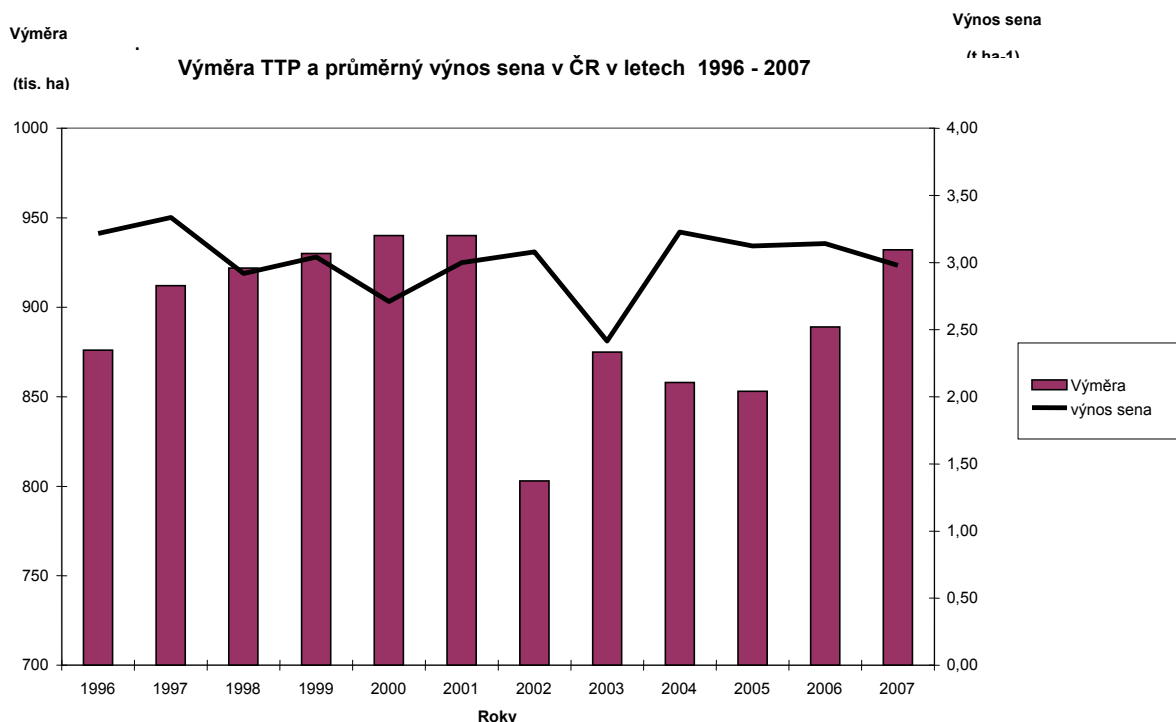
Metodika se zaměřuje především na technologie sklizně, resp. způsoby konzervace, termíny sklizně a na využití travní biomasy pro spalování či výrobu bioplynu.

V závěru jsou uvedeny i ekonomické a energetické bilance pěstování a energetického využití vybraných druhů trav. Metodika respektuje pravidla správné agronomické praxe, ochranu životního prostředí. Poznatky jsou čerpány jednak z vlastního výzkumu (metodika experimentů a sledování je součástí kapitoly 4), jednak z výzkumu institucí a vědeckých pracovišť domácích i zahraničních.

1. Úvod

Trvalé travní porosty (TTP) zaujímají v České republice (ČR) dle evidence katastru nemovitostí Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního výměru 974 tis. ha, tj. 22,8 % ze zemědělské půdy (4280 tis. ha). Podle údajů Českého statistického úřadu (ČSÚ) bylo v roce 2007 zemědělsky využíváno 932 tis. ha s průměrným výnosem 2,98 t.ha⁻¹ sena (graf 1). Výnosový potenciál stanovený v přesných lukařských pokusech je však více jak dvojnásobný (Kohoutek a kol., 2008). Požadavkem agrární politiky státu s ohledem na péči o trvalé travní porosty je alespoň dvojnásobný přesečení ročně. Tímto opatřením se výrazně snižuje riziko sukcese dřevního náletu a šíření ruderálních plevelů.

Vývoj výměry TTP a hlavních druhů a kategorií přežvýkavců a koní v ČR uvádí tabulka 1 (Kohoutek a kol., 2009). Je z ní zřejmé, že zatímco v období 1990 až 2008 se zvýšila výměra TTP o cca 100 tis. ha (12 %), stavy skotu, ovcí a koz se ve stejném období snížily o 60, 57 a 59 %. Stav přežvýkavců a koní lze v roce 2008 odhadnout na 1 031 tis. dobytčích jednotek (DJ). Je to o 1 446 tis. DJ a 58 % méně než činily stavy stejných druhů a kategorií hospodářských zvířat v roce 1990. Přes výrazný nárůst stavů krav bez TPM (na 163 tis. v roce 2008) se spolu s omezením pastvy dojníc a mladého skotu zřetelně snížila využitelnost TTP pastvou přežvýkavců.



Graf 1: Výměra TTP a průměrný výnos sena v ČR v letech 1996 – 2007 dle ČSÚ (v letech 2002- 2007, statistické šetření dle metody EUROSTAT)

Tabulka 1: Vývoj výměry TTP a početních stavů přežvýkavců a koní v ČR

Rok	TTP ha tis.	skot (tis.)	krávy		ovce (tis.)	kozy (tis.)	koně (tis.)	DJ (tis.) ²⁾
			dojené	BTPM				
1990	833	3 506	1 248	20 ³⁾	430	41	25	2 477
1995	902	2 030	768	37 ³⁾	165	45	18	1 453
2000	961	1 574	548	67	84	32	21	1 123
2005	974	1 397	438	141	140	13	21	1 018
2006	976	1 374	423	140	148	14	23	1 003
2007	932	1 391	410	155	169	16	24	1 018
2008	933	1 402	406	163	184	17	27	1 031

1) *Pramen: Český úřad zeměměřičský a katastrální; ČSÚ*

2) *kráva a kůň = 1 DJ, ovce a koza = 0,15 DJ, ostatní skot nad 6 měsíců věku = 0,65 DJ*

3) *odhad*

Zemědělským způsobem nelze trvale využívat cca 80 tis. ha (trvale zamokřené půdy evidované jako louky, meze, remízky, rozptýlené pozemky v krajině, dřevní nálet na plochách aj.). Znamená to, že kolem 160 až 300 tis. ha (17 až 33 %) TTP by v tomto případě nebylo možno využít chovem zvířat (Kohoutek a kol., 2009). V přirozeném a kulturním stavu by tato plocha musela být pouze udržována. Ke zlepšení tohoto ukazatele by bylo nutno v rámci ČR rozšířit pastevní chov dojnic, odchov jalovic a výkrm skotu (především jalovic a volů), zvýšit stavy přežvýkavců využívajících TTP a přejít od extenzivního k intenzivnímu obhospodařování TTP spočívající ve zvýšení frekvence sečení. Stavy dojnic v důsledku regulace výroby mléka kvótami se snižují úměrně zvyšování užitkovosti, využívání pastvy

dojnic a dalších kategorií skotu s výjimkou krav bez TPM stagnuje hlavně z ekonomických důvodů. Proto by nejlepším řešením této neuspokojivé situace, vedle rozšíření pastvy stávajících druhů a kategorií přežvýkavců, bylo zvýšení stavů krav bez TPM o cca 80 až 100 tis. kusů. Pokud nedojde k navýšení stavů zvířat, je část této výměry možné využít i pro bioenergetické účely.

Evropská unie požaduje, aby v roce 2015 činil podíl na spotřebě energie z obnovitelných zdrojů až 15 %. Zákon 180/2005 Sb. o využívání obnovitelných zdrojů energie na období let 2006–2009 obsahuje řadu motivačních opatření, která by měla podpořit rychlejší nárůst podílu rostlinné biomasy, jež by měla představovat dvě třetiny energie z obnovitelných zdrojů. Pro energetické využití lze použít nejrůznější druhy biomasy. Jedná se o biomasu odpadní nebo biomasu záměrně pěstovanou k tomuto účelu. K těmto zdrojům lze počítat také fytomasu trav. Jde o tuzemský obnovitelný zdroj energie, který není lokálně omezen, a který může snížit spotřebu dovážených energetických zdrojů.

2. Výkonné druhy trav

Jako energetického zdroje lze využít také fytomasu některých druhů trav zejména na stanovištích s vyšší nadmořskou výškou (nad 400 m n.m.) a vyšší svažitostí terénu (erozní ohrožení). Trávy jsou jednoleté nebo vytrvalé rostliny patřící do čeledi *lipnicovité*. Při dobrém založení porostu a vhodné péči během vegetace dávají stabilní výnosy po více let. Většina trav má širokou ekologickou amplitudu a lze je pěstovat v různých půdně – klimatických podmínkách. Přesto mezi jednotlivými druhy trav jsou z agroekologického hlediska zřejmě určité rozdíly. Z řady důvodů jsou doporučovány vytrvalé druhy.

Z energetického hlediska lze travní fytomasu využívat pro přímé spalování nebo na kogeneraci (výrobu elektřiny a tepla) – (Frydrych a kol., 2001; Kára a kol., 2004; Stražil, 2008) nebo pro výrobu bioplynu (Geber, 2002). Uvažuje se také o jejím využití v papírenském průmyslu (Saijonkari-Pahkala, 2001). Tradičně je fytomasa trav využívána pro krmení polygastrů a to v zeleném stavu (čerstvá píče) nebo jako konzervovaná objemová píče (seno, senáž, siláž) – (Houdek, 2010; Kohoutek a kol., 2010; Niemelainen a kol., 2001).

Pro energetické využití lze použít odpadní fytomasu z úhorů, luk a pastvin nebo z porostů cíleně pěstovaných trav, které lze pěstovat jako travní směsi nebo jako monokultury. Pro energetické využití na spalování se doporučují travní monokultury. Výnosový potenciál vhodných trav pěstovaných jako monokultura je 8-9 krát vyšší než ze spontánních úhorů (Frydrych a kol., 2001).

Na pěstování a energetické využití trav byla u nás zaměřena řada výzkumných aktivit. Z výnosového a dalších hledisek byly sledovány např. kostřava rákosovitá, ovsík vyvýšený, psineček velký, kostřavice bezbranná, chrastice rákosovitá, chrastice kanárská, proso seté, třtina křovištní, rákos obecný, sveřep vzpřímený, bezkoleneček rákosovitý případně další druhy trav. Výsledky výzkumu byly částečně zapracovány do této metodiky.

Z výsledků výzkumu vyplývá, že za vhodné druhy trav pro energetické využití lze zejména považovat chrastici rákosovitou, sveřep bezbranný, ovsík vyvýšený, srhu laločnatou, psineček velký a kostřavu rákosovitou. Stručné shrnutí agroekologických nároků vybraných trav s ohledem na jejich rozdílnosti je uvedeno níže.

2.1. Chrastice rákosovitá (*Phalaris arundinacea* L.)

Chrastice rákosovitá je rozšířená téměř po celé Evropě, Asii (kromě jižní části) a v Severní Americe. U nás je cizosprašným autochtonním (původním) druhem, rozšířeným na celém území našeho státu, značně náročným na vláhu a živiny (Havlíčková a kol., 2007). Patří

mezi vytrvalé výběžkaté trávy. Je to mohutný (výška přes 2 metry), pozdní, vytrvalý druh (Velich a kol., 1994). Stébla jsou ukončena jednostrannou latou, sterilní výhony jsou hustě olistěné. Listy jsou dlouhé a široké. Tvoří silné a dlouhé podzemní rhizomy, které se rozprostírají těsně pod povrchem půdy (Šantrůček a kol., 2001). Má mocný a do hloubky pronikající kořenový systém, který rostlinu zásobuje vodou. Je rozšířena na stanovištích s přebytkem vody. Snáší přechodné záplavy, ale i přísušky (Šantrůček a kol., 2007). Hmotnost tisíce semen se pohybuje okolo 0,8 g. Má perspektivu jako surovina pro výrobu buničiny (obsah celulózy 30 - 36 %, ligninu okolo 14 %). V seznamu odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize České republiky v současné době není zaregistrována žádná odrůda. V přirozených travních porostech se chřastice nejvíce vyskytuje v okolí vodních toků. Je odolná vůči drsným klimatickým podmínkám. Nejlépe se jí daří na těžších půdách s bohatou zásobou živin. Na půdní reakci není citlivá. Je přizpůsobivá půdní reakci v rozmezí pH od 4 do 7,5 s optimem okolo pH 5. Po zakořenění ji nevádí ani delší přísušek. Holomrazy ani pozdní mrazíky jí nevádí. Dobře snáší i zaplavení nebo krátkodobé zastínění. Její předností je široká ekologická amplituda. Uplatňuje se na všech půdách i při přebytku nebo nedostatku vláhy. Vysokých výnosů je dosahováno v letech s vyšším srážkovým úhrnem a na půdách, kde se hranice spodní vody pohybuje mezi 30 – 40 cm. Chřastice je velmi vytrvalá, ale po zasetí má pomalejší vývoj než ostatní trávy (Šantrůček a kol., 2007). Průměrné roční výnosy sušiny v okolních státech se pohybují v rozmezí 4,5 až 9,0 t.ha⁻¹. Uvádí se, že na uměle založených loukách při hnojivé závlaze lze dosáhnout výnosů více než 15 tun sena z 1 ha.

2.2. Sveřep bezbranný (*Bromus inermis* L.) Leys.

Tento druh je jednou z nejrozšířenějších vysokých trav vhodných do kontinentálního klimatu. Pěstuje se ve stepních oblastech. Je pozoruhodně odolný vůči drsnému podnebí, zvláště vůči mrazům, zrovna tak vůči horku. Utváří mohutnou kořenovou soustavu (dlouhé podzemní výběžky) a vyznačuje se značnou suchovzdorností. Dává přednost kyprým provzdušněným půdám s dostatkem přístupných živin. Na mezofilních loukách se nevyskytuje. Je převážně ozimého charakteru. Má vysoce vyvinutou schopnost vegetativního rozmnožování. Po sečích dobře obrůstá a vytváří početné sterilní výhonky. Je citlivý na zastínění a sešlapávání. Je vhodný pro produkci fytomasy pro energetické účely (Šantrůček a kol., 2007). V setých porostech na vhodných stanovištích při odpovídajícím hnojení a obhospodařování porostů vytrvává 5 a více let, resp. 10-12 let. Velice přijatelné výnosy a dobře zapojený porost měl sveřep bezbranný i po 22 letech na jednom stanovišti, byl-li řádně hnojen a udržován. Snáší celkem dobře mírně až středně zasolené půdy. Má vyšší nároky na obsah přijatelného Ca v půdě. V širokém spektru ekologických podmínek skýtá výnosy sušiny vyšší než 10 t.ha⁻¹ srovnatelné s našimi nejvýkonnějšími travami (*Arhenatherum elatius*, *Dactylis glomerata*) – (Míka a Řehořek, 2003). U nás jsou nebo byly v seznamu odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize České republiky odrůdy sveřepu Tribun a Tabron. Návrh registrace je pro odrůdu Radmil. Odrůda Tribun metá pouze v první seči. Vysévá se převážně v monokultuře, neboť ostatní druhy snadno potlačuje. Pastvu nesnáší. Požadavky na stanoviště má jako odrůda Tacit příbuzného druhu sveřep americký (*Bromus catharticus* Vahl). Odrůda Tacit efektivně využívá dodaný dusík. Výnosy sušiny ve třech až 4 sečích dosahují 10-15 t.ha⁻¹. Největší výnosy byly zaznamenány ve druhém až pátém roce. Daří se mu od nížin do podhůří, na půdách nezamokřených, strukturních, dostatečně provzdušněných, spíše lehčích, neslévavých. Snáší nižší pH, přísušky i tuhé zimy. Delší záplavy ho likvidují. Je třeba ho sekat výše (nad prvním kolénkem), pak dobře obrůstá (Míka a kol., 1999).

2.3. Srha laločnatá (*Dactylis glomerata* L.)

Srha laločnatá (říznačka) patří do skupiny volně trsnatých trav. Do Čech byla introdukována již v 18. století. Řadí se mezi nejvýnosnější trávy se širokým uplatněním v nejrůznějších podmínkách (Velich a kol., 1994). Plného výnosu dosahuje již ve 2 - 3 roce vegetace. V příznivých podmínkách (dostatek živin a vláhy) vydrží v porostu 6 - 10 let, ale po pátém roce vegetace její výnosnost klesá. Vysoký výnosový potenciál je podmíněn vysokým vzrůstem, rychlým obrůstáním, ale i délkou vegetační doby. Na jaře obrůstá jako jedna z nejranějších trav. Při své ranosti bývá často poškozena jarními mrazíky, velmi rychle však regeneruje. Metat začíná již v polovině května. Je nevyhraněně ozimá, proto v prvním roce setby většinou nemetá. Pokud se však první seč sklídí ještě před metáním, je tvorba fertálních výhonků v druhé seči četná (Vrzal a Novák, 1995). Srha obrůstá i dlouho do podzimu, kdy není poškozena mrazíky kolem -5°C . Nejlépe jí vyhovuje mezofytní stanoviště s dostatkem vláhy. Déletrvající záplavy luk i v mimovegetační dobu srha snáší špatně. Disperzní složení půdy i půdní reakce nejsou pro uplatnění srhy rozhodující. Nejlepší půdy jsou vlhké, písčitohlinité až hlinité, humózní s pH 6, i když srha snáší i slabě kyselé půdy. Nevhodné jsou půdy těžké. Na půdách lehkých a vysychavých poskytuje nízké výnosy s horší kvalitou (Vrzal a Novák, 1995) i když evapotranspirační koeficient (250-400) je podstatně nižší než pro ostatní trávy (Petřík a kol. 1987). Hlavním výnosovým faktorem je dusík, který dokáže srha výborně zhodnotit. Ve třetím užitkovém roce byly dosaženy při aplikaci vysoké dávky kejdy výnosy přes $10\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Petřík a kol. (1987) stejně jako Šantrůček a kol. (2007) dosáhli ve víceletých odrudových pokusech při hnojení $\text{N } 100\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ a trojsečném využití výnosy $13,2\text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$. Na oligotrofních stanovištích srha neroste a při ročních dávkách dusíku pod $100\text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ má sníženou vitalitu, konkurenční i produkční schopnost (Petr a kol., 1989). V seznamu odrud zapsaných ve Státní odrudové knize České republiky jsou registrovány následující odrůdy: Ambassador (rok zápisu 2003), Barexcel (2005), Dana (syn.: Baridana) 1992), Horizont (2008), Intensiv (2000), Lada (1995), Niva (1982), Toscali (1998), Vega (syn.: Lyra) (1995), Velana (1996), Zora (1993). Dále jsou podány žádosti na další odrůdy: Hapsung 2Ho, Benchmark Plus, Extend, Harvestar.

2.4. Ovsík vyvýšený (*Arrhenatherum elatius* L.) M. K.

Ovsík vyvýšený je víceletá, vysoce vzrůstná tráva. Dorůstá až do výšky 150 cm. Jedná se o travu domácího původu. Plodonosná stébla dosahují výšky 120 - 150 cm. Trs je vzpřímený, mohutný, vystoupavý, středně hustý, vysoký 80 - 130 cm. Stéblo je hrubší, středně poléhavé se středním olistěním. Listy jsou široké, dlouhé, typicky převislé a řídce ochmýřené (Ochodek a kol., 2006). Mohutným kořenovým systémem čerpá vodu i z hlubších půdních vrstev. Stejně jako srha říznačka je ovsík volně trsnatou travou. Trpí holomrazy a plísní sněžnou, proto není vhodný do horších klimatických podmínek (Šantrůček a kol., 2001). Uplatní se na lehčích, sušších půdách s neutrální nebo slabě kyselou půdní reakcí a s dobrou zásobou živin. Je náročný na vápník. Nesnáší sešlapávání a spásání. Předností ovsíku je vynikající produkční schopnost a odolnost proti přísušku (Velich a kol., 1994). Je vhodný k protieroznímu zatravnění svažitých pozemků a náspů (Vrzal a Novák, 1995). Má obtížné semenářství i setí (zahnutá osinka), užší ekologickou amplitudu a je méně vytrvalý (Velich a kol., 1994). Vyšlechtěním bezosinné odrůdy 'Medián' tyto důvody pominuly. Vývin po zasetí probíhá rychle, vytváří mohutné vystoupavé trsy. Plných výnosů dosahuje již od druhého roku vegetace. Je převážně jarního charakteru. Z jara obrůstá jako jedna z prvních trav. Dobře snáší zastínění. Je podporován k pěstování na energetické účely (Šantrůček a kol., 2007). Vzhledem k vysokému hrubšímu, středně poléhavému stéblu má předpoklady využití ve fytoenergetice pro přímé spalování nebo jako přídatek do fermentoru při výrobě bioplynu. V seznamu odrud

zapsaných ve Státní odrůdové knize České republiky jsou registrovány odrůdy Rožnovský a Median. Běžně dosahuje výnosy 8-12 t.ha⁻¹. Petřík a kol. (1987) stejně jako Frydrych a kol. (2001) uvádějí výnos sušiny biomasy v 1. užitkovém roce (1. seč) 4,31 t.ha⁻¹, ve 2. užitkovém roce (1. seč) 8,77 t.ha⁻¹.

2.5. Kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea* Schreb.)

Kostřava rákosovitá je vysoká, hustě trsnatá tráva s krátkými podzemními výběžky. Kořenový systém rostlin je bohatý, silně rozvinutý, sahající až do hloubky 150 cm, s dobrou sorpcí živin a vláhy. Kostřava rákosovitá vyniká časným jarním a pozdním podzimním růstem. Je to vytrvalá rostlina dorůstající do výšky až 2 metry (Veselá a kol., 2007). Vyskytuje se od nížin až do podhůří. Vyznačuje se vysokou tolerancí k půdním a klimatickým podmínkám, snáší dobře sucho i krátkodobé zamokření. Daří se jí dobře na stanovištích s vyšší hladinou podzemní vody. Na jaře brzy obrůstá a zůstává zelená dlouho do podzimu. Kostřava je naší domácí rostlinou. V našich přirozených porostech není příliš rozšířena, vyhovují jí zejména vlhké louky a je jedním z druhů vyskytujících se na slaných půdách s vyšší hodnotou pH. V našich podmínkách se výnosy sušiny fytomasy pohybují od 5 do 13 t.ha⁻¹. Fiala a Tichý (1994) uvádějí průměrný výnos monokultury kostřavy rákosovité při třech sečích 8,42 t.ha⁻¹. Frydrych a kol. (2001) udávají průměrný hektarový výnos sušiny kostřavy rákosovité ve vhodných podmínkách ČR v prvním užitkovém roce při sklizni v plné zralosti 5,29 t.ha⁻¹, ve druhém užitkovém roce 10,11 t.ha⁻¹. Kavka a kol. (2006) uvažují při ekonomických kalkulacích podle intenzity vstupů s výnosem kostřavy od 5 do 9 tun sušiny na hektar. Pokud jde o výnosy kostřavy rákosovité v zahraničí, potom např. Wellie-Stephan (1998) uvádí pro podmínky SRN výnosy sušiny fytomasy v rozmezí 11,4 až 13,1 t.ha⁻¹. Na chudších lokalitách v Litvě uvádí Kryzeviciene (2005) výnosy sušiny fytomasy trav určených pro energetické využití při jedné sklizni za rok od 6,4 do 9,2 t.ha⁻¹. Niemelainen a kol. (2001) zjistili, že v podmínkách Finska má kostřava rákosovitá v průměru o 12 % vyšší výnosy sušiny fytomasy než kostřava luční. V seznamu odrůd zapsaných ve Státní odrůdové knize České republiky je v současné době registrováno 21 odrůd a je podáno dalších 16 žádostí o registraci nových odrůd.

3. Pěstování trav

Agrotechnika trav závisí na způsobu jejich využití a také na půdně-klimatických podmínkách stanoviště. Zásady pěstování jsou obdobné. Jako příklad je uvedena agrotechnika chrastice rákosovité.

Chrastice rákosovitá

Zařazení do osevního postupu

Je vhodné zařadit chrastici na nezaplevelený pozemek. Chrastice je nenáročná na předplodinu. Může se sít prakticky po všech předplodinách. Vhodnou předplodinou jsou okopaniny hnojené chlévským hnojem, luskovinoobilní směsky a obilniny, které následují buď po pícnině nebo po ozimé řepce.

Hnojení

V literatuře se uvádí, že chřastice je značně náročná na živiny. Ve Švédsku uvádějí průměrné dávky živin při pěstování chřastice sklizené na jaře $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N, $30 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K a $10 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P. S úspěchem tam také bylo použito přihnojování čistírenským kalem. Ve Finsku používali v polních pokusech prvním rokem $40\text{-}70 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N a později $70\text{-}100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ N. Podle našich sledování postačují na úrodnějších půdách každoroční dávky N 50 až $80 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Při hnojení musíme také uvažovat jaká je zásoba živin v půdě, kde se plodina pěstuje a jakých výnosů se dosahuje na daném stanovišti, tedy jak mnoho živin odchází z pole se sklizenou fytomasou. Při pěstování chřastice k energetickým účelům lze porost založený na více let přihnojovat průmyslovými N, P, K hnojivy každoročně ihned po sklizni.

Dávka dusíku v semenářských porostech se doporučuje vyšší, minimálně $110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, od druhého užitkového roku ($130\text{-}150 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) z čehož alespoň $40\text{-}60 \text{ kg}$ je nutné aplikovat spolu s fosforem a draslíkem počátkem září. Na jaře je třeba aplikovat N hnojiva včas. Jarní dávku N lze rozdělit, ale i druhá dávka by měla být aplikována před sloupkovaním.

Příprava půdy a setí

Agrotechnika závisí na účelu pěstování. Chřastici je možno pěstovat na semeno, píci nebo průmyslové využití. Na semeno se seje na přiměřeně vlhký pozemek s těžší půdou s dostatkem živin do širších řádků ($25\text{-}30 \text{ cm}$). Pozemek musí být nezaplevelený. Z plevelů jsou nejnebezpečnější plevelné trávy jako pýr plazivý, lipnice obecná apod. Po předplodině by měla být provedena podmítka, přihnojení P, K následované střední orbou. Půda by měla být před setím dokonale připravena a před setím uvalena. Výsevek při pěstování na semeno činí $10\text{-}15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Optimální hloubka setí je $2\text{-}3 \text{ cm}$. Výsev je možno provádět na podzim nebo časně z jara zároveň s krycí plodinou nebo bez krycí plodiny časně na jaře. Na podzim by měla být chřastice zasetá co nejdříve (do $20\text{-}25.$ srpna), aby do zimy dobře zakořenila. Při setí na jaře do vhodné krycí plodiny (např. jarní pšenice, oves) se doporučuje výsevní množství snížené o **20-40 %**. Pokud chceme, aby chřastice měla dobré podmínky pro vzcházení a dala již v prvním užitkovém roce plný výnos semene je nejvhodnějším termínem výsev brzy na jaře. Chřastice dozrává ke konci července. Chřastici na semeno je třeba sklízet opatrně, neboť obilky dozrávají značně nestejně a snadno vypadávají. Výnosy semene se udávají $0,2\text{-}0,4 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Při pěstování na píci (nadzemní fytomasu) se seje chřastice do užších řádků na vzdálenost $12,5$ (15) až 30 cm . Výsevek v čisté kultuře činí $20\text{-}25 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ semene. Porosty chřastice určené pro energetické využití se zakládají obdobně jako na píci. Dobře založené porosty vydrží několik let. Doporučují se však sklízet během zimy nebo po zimě brzy na jaře před novým obrážením, kdy mají rostliny nízký obsah vody ($12\text{-}20 \%$). Porosty je možné každoročně přihnojovat nejlépe na jaře počátkem vegetačního období. Většina plodin, stejně tak jako chřastice, se pro energetické účely, na rozdíl od pěstování na píci sklízí pouze jedenkrát do roka. Z tohoto důvodu je dosahováno nižších výnosů, v porovnání s pěstováním na píci, kdy se seče dva až třikrát za rok.

Ošetření porostu

Choroby ani škůdci obvykle u chřastice nečiní problémy. Za určitých podmínek se mohou vyskytnout listové choroby (*Stagonospora*, *Helminthosporium*). Proti plevelům je možno aplikovat herbicidy, které se používají do jarních obilnin a to nejlépe ve fázi $2\text{-}5$ listů chřastice. Doporučuje se Starane EC 250 v dávce $2 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ nebo Lontrel 300 v dávce $0,8 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$, Agritox v dávce $1,5 \text{ l} \cdot \text{ha}^{-1}$ nebo Harmony Extra v dávce $0,5 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$. Je možné použít i další herbicidy, které jsou uvedeny např. v příručkách pro ochranu rostlin.

Sklizně a posklizňové zpracování

Chrastice určená pro spalování se v roce výsevu sklízí v dřtivé většině na jaře, kdy se poseká na řádek a potom se lisuje do balíků. Sklízecí mechanismy se někdy upravují tak, že se sníží otáčky bubny a zvětší se průchodnost sklízecího ústrojí. Při těchto opatřeních je snižován odrol listů. Při energetickém využití se dají též lisovat brikety nebo pelety. Při sklizni lze využít existující zemědělskou mechanizaci, která je běžně dostupná v zemědělských provozech. Dodržení správného termínu sklizně a včasná transformace suroviny do skladovatelného stavu je základním předpokladem úspěšné produkce.

Při jednofázové sklizni sklízecí řezačkou v ranějších termínech (léto až podzim) je řezanka odvezena na místo, kde je obvykle třeba ji dosušit.

Při vícefázové sklizni je porost v první fázi sklizen pomocí sklízecí mlátičky nebo žacího stroje. Sklízecí mlátička je použita v případě, že je v první fázi sklizeno semeno. To je v pracovním ústrojí odděleno. Zbylý materiál je uložen na pozemku v řádcích a sklízí se jako seno (obracení, shrnování, lisování). Při sklizni na semeno je stěžejní výnos fytomasy z první seče. Druhou seč (otavu) je možno použít podle stávajícího počasí a potřeby (fytomasa na energii, případně senáž). V případech kdy se v první fázi semeno neskylí, lze použít žacího stroje.

Při vícefázové sklizni s využitím sklízecích lisů je porost v první fázi pokosen žacím strojem. Následně je možno materiál, který se nechá doschnout na řádcích, sklídit do balíků hranolovitých či kulatých. Hranolovité balíky je nutné následně skladovat v zakrytých prostorech s ochranou proti dešti, kulaté balíky opatřené folií je možno skladovat přímo na poli. Výhodou sklizně svinovacím lisem do kulatých balíků je vyšší výkonnost a vyšší hustota stlačeného materiálu, ve srovnání s hranatými balíky. V případě omezeného prostoru pro skladování a při manipulaci však lze předpokládat výhody hranatých balíků.

Vícefázový způsob sklizně rostlinné biomasy je časově a personálně náročnější a zahrnuje větší počet operací, které nutně znamenají větší počet přejezdů po pozemku. Výhodou je možnost oddělené sklizně semen a možnost samovolného dosychání suroviny na pozemku mezi jednotlivými fázemi sklizně. Při porovnání sklízecích lisů a sklízecích řezaček ve vícefázových postupech sklizně z hlediska měrné spotřeby PHM nebyl zaznamenán výrazný rozdíl. Při sklizni chrastice určené na bioplyn se doporučují 3-4 seče za rok. Při sklizni se používá řezačka a sklizená fytomasa se odváží přímo do bioplynové stanice nebo se z ní připravuje senáž.

Technologie pěstování trav pro energetické využití se podstatně neliší od technologií doporučených pro produkci píce. Zásadní rozdíl je v době sklizně v relaci ke způsobu energetického využití a tím optimálního výnosu sušiny nadzemní biomasy a obsahu vody. Pro výrobu bioplynu se jeví u sledovaných trav jako optimální sklizeň při obsahu vody kolem 70 %, zatímco pro spalování z hlediska vlhkosti sklizeň při 20-25 % vody, což je dosaženo až po přemrznutí, kdy však ztráty opadem činí až 50 % (v průměru 25,2 %).

Hlavní rozdíly mezi pastevními, resp. pícninářskými a energetickými travními porosty, spočívají v důrazu na tvorbu fytomasy a čistotu porostu. Zatímco u pastevních a lučních porostů a porostů určených pro produkci píce na orné půdě je environmentální funkce plněna ve vysoké míře, u energetických travních porostů dochází k jejímu oslabení. Protierozní efekt zůstává zachován, avšak vzhledem k důrazu na maximální přiblížení travní monokultury dochází k oslabení podpory biodiverzity. Kvůli nutnosti přihnojování a případně i dodatečných zásahů proti plevelům je nemožné, resp. neefektivní pěstovat energetické trávy v ekologických systémech hospodaření. Významným rozdílem je i snížení důrazu na krmivářskou hodnotu energetických trav, resp. na jejich složení z hlediska výživy hospodářských zvířat.

Dalšími travami, které v našich podmínkách dosahují obdobných výnosů jako chrastice rákosovitá a které se jeví jako vhodné pro energetické využití, jsou např. kostřava rákosovitá (*Festuca arundinacea*), psineček veliký (*Agrostis gigantea*), ovsík vyvýšený (*Arhenatherum*

elatus) apod. Nepříznivé ekologické podmínky drsného klimatu nejlépe snáší kostřava červená (*Festuca rubra*). Uvedené trávy mají velmi podobnou agrotechniku a možnosti využití jaké jsou uvedeny pro chrastici rákosovitou, proto při jejich zakládání, pěstování, sklizni a posklizňové úpravě lze postupovat obdobně jako u chrastice. Je však třeba přihlížet k některým odlišnostem u jednotlivých trav. Například ovsík vyvýšený vyžaduje díky stavbě obilky (osinky) speciální secí stroj s kartáčovým ústrojím nebo pro kostřavu rákosovitou, zakládanou do krycí plodiny, je nevhodná krycí plodina jarní ječmen, který pomalu se vyvíjející kostřavu příliš potlačuje apod. Doporučované hloubky setí a výsevky při stoprocentní užitné hodnotě osiva pro založení čisté kultury vybraných trav jsou uvedeny v tabulce 2. Při podsevu na jaře do vhodné krycí plodiny (např. pšenice jarní) se doporučuje snížení výsevu o 20-40 %.

Tabulka 2: Doporučované hloubky setí a výsevky při stoprocentní užitné hodnotě osiva pro založení čisté kultury vybraných trav

Plodina	hloubka setí (cm)	výsvek (kg.ha ⁻¹)	poznámka
Ovsík vyvýšený	3-4	27-30	vyžaduje speciální secí stroj s kartáčovým ústrojím
Psineček veliký	1	10-12	méně vhodná krycí plodina je ječmen jarní
Kostřava rákosovitá	2-3	15-16	
Srha laločnatá	2-3	18-20	
Chrastice rákosovitá	2-3	20-25	
Sveřep bezbranný	3-4	30-45	

4. Produkce nadzemní fytomasy

Výnosy fytomasy trav jsou značně ovlivňovány půdně-klimatickými podmínkami a hnojením dusíkem. Dusík má daleko větší vliv na výnosy trav než hnojení fosforečnými nebo draselnými hnojivy. Hnojení dusíkem také ovlivňuje z dlouhodobého hlediska stav a životnost porostu. Příklady jsou uvedeny níže.

V maloparcelkových polních pokusech byly ověřovány následující trávy: ovsík vyvýšený odrůda Rožnovský, srha laločnatá odrůda Niva a chrastice rákosovitá odrůda Palaton. Pokusy s travami byly založeny na jaře roku 2007 jako monokultura na třech stanovištích. Trávy byly vysety a následně ošetřovány tak, aby se zamezilo jejich zaplevelení a byly tak připraveny na plné produkční využití v následujících letech. Během vegetace nebyl zaznamenán na žádném stanovišti silnější výskyt chorob nebo škůdců ani u jednoho druhu trav.

Podle metodiky byly každoročně provedeny dvě sklizně trav a to před metáním (1. termín) a po prvních mrazech (2. termín). Třetí termín jednorázové sklizně byl na jaře následujícího roku.

Výnosy sledovaných trav a obsah sušiny na daných stanovištích podle jednotlivých let a termínů sklizně jsou uvedeny v tabulkách 3, 4 a 5. Při prvním termínu sklizně je obsah sušiny všech sledovaných trav kolem 30 %, což je vhodný stav pro výrobu bioplynu nebo senážování. Porovnáme-li výsledky průměrných hodnot z podzimního a jarního termínu sklizně za sledované období lze konstatovat, že obsah sušiny v druhém termínu sklizně je v celkovém průměru u srhy kolem 50,6 %, u ovsíku 52,4 %, u chrastice 49,7 % oproti 78,0 % resp. 78,2 %, resp. 80,5 % zjištěným při jarním termínu sklizně. Tato fytomasa s obsahem sušiny vyšším než 80 % je vhodná pro přímé spalování.

U sledovaných trav bylo v průměru dosaženo vyšších výnosů sušiny v druhém termínu sklizně na podzim v Lukavci oproti Českým Budějovicům. Z uvedeného vyplývá, že na tomto srážkově bohatším stanovišti jsou příznivější podmínky pro tvorbu fytomasy trav. V druhém

termínu sklizně bylo v průměru v Lukavci dosaženo výnosu u srhy 9,01 t.ha⁻¹, u ovsíku 8,66 t.ha⁻¹ a u chrastice 8,01 t.ha⁻¹ (tabulky 3, 4 a 5). V Českých Budějovicích bylo v daném termínu v průměru dosaženo následujících výnosů sušiny fytomasy: srha 7,45 t.ha⁻¹, ovsík 6,50 t.ha⁻¹, chrastice 7,67 t.ha⁻¹, v Ruzyni srha 7,96 t.ha⁻¹, ovsík 7,69 t.ha⁻¹, t.ha⁻¹, chrastice 9,28 t.ha⁻¹. Nejvyššího výnosu sušiny fytomasy za sledované období 12,36 t.ha⁻¹ bylo v průměru dosaženo u chrastice v Ruzyni při druhém termínu sklizně v roce 2008 (tabulka 5). Z výsledků vyplývá, že za sledované období byla na stanovišti v Lukavci nejvýnosnější srha, v Českých Budějovicích a v Ruzyni chrastice. V průměru za daná stanoviště byla ze sledovaných trav nejvýnosnější chrastice.

Ztráty fytomasy přes zimní období při porovnání druhého a třetího termínu sklizně byly v průměru na stanovišti v Lukavci, v Českých Budějovicích resp. v Ruzyni u srhy 37 %, 17 % resp. 27,4 %, u ovsíku 50 %, 12,3 % resp. 29,4 %, u chrastice 34,6 %, 0,2 % resp. 26,8 %. Pokud jde o porovnání výnosů součtu dvou sečí trav s jednou sečí pouze po prvních mrazech lze konstatovat následující. Srha dosáhla v průměru na sledovaných stanovištích vyšších výnosů sušiny sklizené fytomasy při samotné druhé seči. V celkovém průměru je výnos sušiny fytomasy (7,87 t.ha⁻¹) vyšší u srhy o 17,3 % oproti součtu dvou sečí. U ovsíku bylo dosaženo podobných výnosů při porovnání výše uvedeného. U chrastice naopak byl zjištěn vyšší výnos (8,07 t.ha⁻¹) při součtu dvou sečí o 11,0 % (tabulka 6).

Z hlediska samotné sklizně se pro účely spalování jeví jako nejvhodnější porost chrastice rákosovité, který většinou nepoléhá, má menší opad listů a sklízí se bez problémů i v pokročilejších růstových stádiích na jaře. Porosty ovsíku a srhy se sklízí hůře, neboť obě tyto trávy v období po prvním přemrznutí poléhají a dochází tak i k větším ztrátám během sklizně. Po zimě je sklizeň obtížná, porosty jsou polehlé a dochází k větším ztrátám biomasy. Na jednotlivá stanoviště je třeba pečlivě vybírat takový druh nebo odrůdu trav, která je vhodná pro dané půdně-klimatické podmínky a zajistí dobrý výnos.

Tabulka 3: Výnos sušiny fytomasy srhy laločnaté (t.ha⁻¹) a sušina (%) v daných termínech sklizně za sledované období na jednotlivých stanovištích

Rok	Termín sklizně	Stanoviště					
		Lukavec		České Budějovice		Praha-Ruzyně	
		Sušina	Výnos sušiny	Sušina	Výnos sušiny	Sušina	Výnos sušiny
2007	1. termín	21	1,68	-	-	-	-
	2. termín	30,4	4,10	-	-	-	-
	3. termín	77,1	2,78	-	-	-	-
2008	1. termín	32,5	8,90	21,9	6,08	26,0	2,41
	2. termín	60,9	8,32	55,7	8,60	75,2	4,33
	3. termín	89,4	5,18	66,8	6,54	84,9	4,39
2009	1. termín	25,3	5,74	32,3	3,79	32,2	6,08
	2. termín	34,7	9,15	22,0	6,63	60,6	7,37
	3. termín	67,5	7,50	92,0	10,58	86,6	5,82
2010	1. termín	25,6	4,25	28,3	3,51	25,2	5,85
	2. termín	48,1	9,56	43,0	7,11	55,1	12,17
	3. termín	78,1	4,37	60,0	6,41	76,9	7,14
průměr 2008/10	1. termín	27,8	6,29	27,5	4,46	27,8	4,78
	2. termín	47,9	9,01	40,2	7,45	63,6	7,96
	3. termín	78,3	5,68	72,9	6,18	82,8	5,78

Poznámky: 1. termín - odběr v době největšího nárůstu fytomasy
 2. termín - odběr na podzim
 3. termín - odběr brzy na jaře

Tabulka 4: Výnos sušiny fytohmoty ovsíku vyvýšeného ($t \cdot ha^{-1}$) a sušina (%) v daných termínech sklizně za sledované období na jednotlivých stanovištích

Rok	Termín sklizně	Stanoviště					
		Lukavec		České Budějovice		Praha-Ruzyně	
		Sušina	Výnos sušiny	Sušina	Výnos sušiny	Sušina	Výnos sušiny
2007	1. termín	26,8	2,39	-	-	-	-
	2. termín	34,6	4,15	-	-	-	-
	3. termín	83,9	2,10	-	-	-	-
2008	1. termín	43,1	8,66	29,3	7,13	28,8	3,23
	2. termín	75,2	11,33	52,8	7,03	72,0	4,99
	3. termín	90,6	3,53	67,1	5,92	75,1	3,85
2009	1. termín	23,9	4,16	35,3	4,89	34,4	6,94
	2. termín	34,5	10,07	24,0	6,40	70,0	6,94
	3. termín	71,9	4,85	92,0	7,78	89,9	4,89
2010	1. termín	31,5	4,99	29,3	4,50	29,1	7,45
	2. termín	45,8	4,59	41,5	6,10	55,7	11,14
	3. termín	65,4	4,64	65,0	5,41	86,6	7,55
průměr 2008/10	1. termín	32,8	5,94	31,3	5,51	30,7	5,87
	2. termín	51,8	8,66	39,4	6,50	65,9	7,69
	3. termín	76,0	4,34	74,7	5,70	83,9	5,43

Tabulka 5: Výnos sušiny fytohmoty chřastice rákosovité ($t \cdot ha^{-1}$) a sušina (%) v daných termínech sklizně za sledované období na jednotlivých stanovištích

Rok	Termín sklizně	Stanoviště					
		Lukavec		České Budějovice		Praha-Ruzyně	
		Sušina	Výnos sušiny	Sušina	Výnos sušiny	Sušina	Výnos sušiny
2007	1. termín	23,6	1,49*	-	-	-	-
	2. termín	40,6	2,03	-	-	-	-
	3. termín	87,6	2,10	-	-	-	-
2008	1. termín	42,4	7,80	25,0	6,79	28,4	4,85
	2. termín	67,4	9,98	58,1	8,36	50,6	6,96
	3. termín	92,7	3,89	78,0	7,77	81,9	5,46
2009	1. termín	36,5	6,66	34,3	5,98	27,0	3,95
	2. termín	50,2	7,28	30,0	7,73	54,1	8,53
	3. termín	83,7	5,61	94,0	9,57	81,0	6,99
2010	1. termín	28,9	5,07	29,3	5,54	26,3	6,52
	2. termín	63,1	6,78	45,3	6,91	43,4	12,36
	3. termín	66,8	6,23	58,0	7,64	88,6	10,70
průměr 2008/10	1. termín	32,9	6,51	29,5	6,10	27,2	5,11
	2. termín	55,3	8,01	44,5	7,67	49,4	9,28
	3. termín	81,0	5,24	76,7	7,66	83,8	7,72

Poznámky – * panenská odplevelovací seč

Tabulka 6: Výnosy sušiny fytomasy jednotlivých trav na vybraných stanovištích (součet obou sečí a samotná druhá seč) za sledované období

Lokalita	Druh	Rok	1. seč (t.ha ⁻¹)	2. seč (t.ha ⁻¹)	Seče celkem (t.ha ⁻¹)	Pouze jedna seč (t.ha ⁻¹)
České Budějovice	Srha	2009	3,79	1,75	5,54	6,63
České Budějovice	Srha	2010	2,06	3,51	5,57	6,13
Průměr let	Srha		2,93	2,63	5,56	6,38
Lukavec	Srha	2008	7,80	1,58	9,38	9,98
Lukavec	Srha	2009	5,74	2,43	8,17	9,15
Lukavec	Srha	2010	4,25	2,48	6,73	9,56
Průměr let 2009–10	Srha		5,00	2,45	7,45	9,36
Průměr stanovišť	Srha		3,97	2,54	6,51	7,87
České Budějovice	Ovsík	2009	4,89	1,03	5,92	6,40
České Budějovice	Ovsík	2010	1,92	4,50	6,42	6,10
Průměr let	Ovsík		3,40	2,77	6,17	6,25
Lukavec	Ovsík	2008	8,70	2,65	11,35	11,33
Lukavec	Ovsík	2009	4,16	2,34	6,50	10,07
Lukavec	Ovsík	2010	4,99	3,87	8,86	4,59
Průměr let 2009–10	Ovsík		4,58	3,10	7,68	7,33
Průměr stanovišť	Ovsík		3,99	2,94	6,93	6,79
České Budějovice	Chrastice	2009	5,98	2,15	8,13	7,73
České Budějovice	Chrastice	2010	2,29	5,54	7,83	6,91
Průměr let	Chrastice		4,13	3,85	7,98	7,32
Lukavec	Chrastice	2008	8,90	1,94	10,84	8,32
Lukavec	Chrastice	2009	6,66	2,30	8,96	7,28
Lukavec	Chrastice	2010	5,07	2,29	7,36	6,78
Průměr let 2009–10	Chrastice		5,86	2,30	8,16	7,03
Průměr stanovišť	Chrastice		5,00	3,07	8,07	7,18

5. Vliv hnojení dusíkem na výnosy

Vliv hnojení N na výnosy nadzemní fytomasy chrastice rákosovité v různých půdně-klimatických podmínkách byl sledován v pokusech založených v roce 1994. Před setím byla použita na všech variantách dávka 50 kg.ha⁻¹ K a 26,5 kg.ha⁻¹ P. V produkčních letech byly použity každoročně 3 odlišné dávky N v průmyslových hnojivech: N0 = bez dusíku, N1 = každoroční jednorázová dávka na jaře 30 kg.ha⁻¹, N2 = každoroční jednorázová dávka na jaře 60 kg.ha⁻¹. V tabulce 7 jsou uvedeny výsledky z let 1996-2000, tedy již z plně zapojených a vyzrálých porostů. Z výsledků je patrné, že výnosy fytomasy chrastice jsou značně závislé na průběhu klimatických podmínek v jednotlivých letech a na daných stanovištích. Např. v Ruzyni výnosy fytomasy kolísaly v průměru od 5,7 t.ha⁻¹ sušiny v roce 2000 do 12 t.ha⁻¹ v roce 1996. Obdobné značné kolísání výnosů je patrné i na ostatních stanovištích. Kolísání výnosů je závislé hlavně na rozdělení srážek během vegetace v jednotlivých letech a na daných stanovištích. Největší meziroční kolísání průměrných výnosů přepočtených na sušinu bylo zaznamenáno v Lukavci (3,9 až 13,8 t.ha⁻¹), nejmenší v Troubsku (7 až 12,3 t.ha⁻¹). Chrastice také reagovala příznivě zvýšením výnosů fytomasy na stupňované dávky N. Již každoroční nižší dávky N (30 kg.ha⁻¹) aplikované na jaře zvyšovaly v průměru let výnosy fytomasy na všech stanovištích. V průměru let a stanovišť zvyšovala dávka 30 kg.ha⁻¹ N výnosy sušiny fytomasy chrastice o 15,5 % (1,1 t.ha⁻¹). Také následné přihnojení N v dávce dalších 30 kg.ha⁻¹

v ledku amonném během vegetace dále zvyšovalo výnosy fytomasy o 32,4 % (2,3 t.ha⁻¹) oproti nehnojeným parcelám.

Tabulka 7: Vliv stanoviště a hnojení N na výnosy sušiny fytomasy chrastice rákosovité (t.ha⁻¹) sklizené pozdě na podzim (průměr let 1996-2000)

Stanoviště	Hnojení N:	N0	N1	N2	Průměr
Ruzyně		7,6	7,7	9,2	8,3
Lukavec		5,8	7,9	8,8	7,5
Troubsko		7,9	8,9	10,1	9,0
Průměr za všechna stanoviště		7,1	8,2	9,4	8,2

Poznámky: Hnojení dusíkem v průmyslových hnojivech (kg.ha⁻¹) N0=0, N1=30, N2=60 (porosty byly založeny v roce 1994)

Ve Švédsku jsou uváděny průměrné výnosy sušiny chrastice za 5 let pěstování (od druhého roku) při dávce 100 kg.ha⁻¹ N 9 t.ha⁻¹ na konci vegetační sezóny a 7,5 t.ha⁻¹ na jaře. Ztráty sušiny přes zimní období se uvádějí kolem 25 %. Průměrné výnosy sušiny v okolních státech se pohybují v rozmezí 4,5 až 9,0 t.ha⁻¹. Uvádí se, že na uměle založených loukách při hnojivé závlaze lze dosáhnout výnosů více než 15 tun sena z 1 ha.

Výsledky z jednorázové sklizně kostřavy rákosovité na podzim jsou uvedeny v tab. 8. Pokud jde o celkové výnosy je třeba si uvědomit, že byla použita pouze jedna sklizeň za rok. Z výsledků je patrné, že výnosy fytomasy kostřavy jsou značně závislé na průběhu počasí v jednotlivých letech a na daných stanovištích. V průměru bylo za sledované období dosaženo výnosu sušiny fytomasy kostřavy 6,99 t.ha⁻¹ (tab. 8). Výnosy kostřavy byly v průměru o 1 tunu nižší v porovnání s podobnými pokusy, které probíhaly na stejných stanovištích s lesknicí rákosovitou (Stražil, 2008).

Pro obě stanoviště byly v nejnvýnosnějším roce 2006 oproti průměrným dlouhodobým hodnotám srážky za vegetační období (IV až X) v Ruzyni o 13,5 % (56 mm), v Lukavci o 15,2 % (81 mm) vyšší. Srážky byly navíc příznivě pro plodinu rozděleny během vegetačního období. Obdobně teploty byly v Ruzyni v daném roce oproti dlouhodobému průměru za vegetační období (IV až X) v Ruzyni o 2,2 °C a v Lukavci o 1,1 °C vyšší. Tyto okolnosti se částečně příznivě projeví na zvýšení výnosů kostřavy, která podobně jako ostatní trávy reaguje zvýšeným výnosem na příznivější vláhové ale i teplotní podmínky.

Hnojení dusíkem se statisticky průkazně projevilo na zvýšení výnosů na obou stanovištích. V průměru zvyšovaly dávky N1 výnosy sušiny fytomasy kostřavy o 24,6 %, dávky N2 o 35,8 % a dávky N3 o 38,5 % oproti nehnojené variantě (tabulka 8).

Tabulka 8: Vliv hnojení N na výnosy fytomasy kostřavy rákosovité přepočtené na sušinu (t.ha⁻¹) sklizené jednou sečí na podzim na stanovištích v Ruzyni (RU) a Lukavci (LU).

Hnojení N:	N0		N1		N2		N3		Průměr	
Rok/stanoviště	RU	LU	RU	LU	RU	LU	RU	LU	RU	LU
2005	6,44	6,78	6,64	7,41	9,85	8,29	9,77	7,49	8,18	7,49
2006	5,93	6,43	11,13	5,39	12,58	10,13	12,20	10,73	10,46	8,17
2007	3,20	6,26	6,41	6,40	8,02	6,9	7,58	8,98	6,30	7,13
2008	2,65	5,02	4,11	7,36	4,80	7,51	4,37	8,50	3,99	7,10
2009	4,80	3,11	6,56	5,81	5,08	5,86	6,66	6,27	5,78	5,26
Průměr let	4,61	5,52	6,97	6,47	8,07	7,74	8,12	8,39	6,94	7,03
Průměr N	5,07		6,72		7,90		8,25		6,99	
Průměr N (%)	100		124,6		135,8		138,5		127,5	

Příznivý vliv hnojení N na výnosy kostřavy rákosovité potvrzují Kašper a Gáborčík (1989), kteří uvádějí, že v horské oblasti východního Slovenska dávky dusíku 120, 240 a 360 kg.ha⁻¹ zvyšovaly výnosy 2,02, resp 2,47, resp. 2,79 krát. Saijonkari-Pahkala (2001) uvádí, že dávky dusíku ke kostřavě rákosovité vyšší než 100 kg.ha⁻¹ již nepřinášejí potřebný užitek.

Kostřava rákosovitá 'Kora' dosáhla na stanovišti Jevíčko (Kohoutek a kol. 2010) produkci sušiny z obnoveného TTP v roce 2008 při úrovni hnojení 180 kg. ha⁻¹ N + PK (P 30, K 100 kg.ha⁻¹ č.ž.) při čtyřsečném využívání v 1. užitkovém roce 2009 výnosu 17,74 t.ha⁻¹ sušiny hospodářského výnosu. Ve druhém užitkovém roce 2010 byla u této varianty dosažena produkce sušiny 11,11 t.ha⁻¹ sušiny hospodářského výnosu.

Kostřavu rákosovitou 'Kora' pěstovanou v čisté kultuře doporučuje k využití pro energetické účely Houdek (2010). Produkční schopnosti na tomto stanovišti běžně dosahují 12 - 16 t.ha⁻¹ sušiny v závislosti na použité dávce hnojení, zejména N.

Hnojení dusíkem mělo příznivý vliv nejen na výnosy ale také životnost porostu. Např. na stanovišti v Ruzyni při každoročních jarních inventarizacích porostu chřastice rákosovité nebo kostřavy rákosovité bylo zjištěno, že na každoročně dusíkem nehnojených parcelkách docházelo od čtvrtého roku po založení k viditelnému řidnutí porostu, které se v následujících letech ještě zvyrazňovalo. Od čtvrtého roku po založení porostu bylo zjištěno nepatrné řidnutí porostu také na hnojených parcelkách N.

Vliv hnojení N na stav diskutovaného porostu chřastice a kostřavy rákosovité na jaře v šestém roce po založení porostu je dokumentován na fotografiích 1,2,3,4. Na snímcích jsou porosty bez hnojení N a porosty, které byly každoročně na jaře přihnojeny dávkou 120 kg.ha⁻¹ N ve dvou termínech (první termín brzy na jaře 60 kg.ha⁻¹ N v síranu amonném a druhý termín před sloupkováním 60 kg.ha⁻¹ N v ledku amonném s vápencem). Na snímcích je vidět patrný vliv každoročního hnojení na stav porostu v porovnání s nehnojeným porostem.



Foto 1: Stav porostu chřastice rákosovité na jaře v šestém roce po založení porostu bez hnojení N



Foto 2: Stav porostu chřastice rákosovité na jaře v šestém roce po založení porostu při každoročním hnojení N



Foto 3: Stav porostu kostřavy rákosovité na jaře v šestém roce po založení porostu bez hnojení N



Foto 4: Stav porostu kostřavy rákosovité na jaře v šestém roce po založení porostu při každoročním hnojení N

6. Využití travní biomasy pro spalování

U travní fytomasy určené na spalování se většinou uvažuje o jednorázové sklizni. Je třeba si vybrat zda sklízet 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 (před metáním) je obsah vody ve fytomase mezi 60 - 80 %. Takto vlhká fytomasa se dá přímo využít pouze na výrobu bioplynu. Pokud by se měla používat pro účely spalování přímo v kotlích nebo na výrobu pelet nebo briket je třeba ji dosušet, za příznivého počasí přímo na poli nebo uměle v sušárnách. V těchto případech je třeba počítat s vícenásobnou operací, které nejsou hlavně v případě dosoušení teplým vzduchem nejnižší.

Při pozdně podzimním termínu je u většiny energetických vytrvalých rostlin včetně trav obsah vody většinou i nadále relativně vysoký a dosahuje hodnot 30 až 70 %. Výnos není o mnoho menší v porovnání s prvním termínem.

Rozdíly ve výnosech fytomasy a vlhkosti u chřastice rákosovité v různých termínech sklizně uvádí tabulka 9. Fytomasa chřastice není bez dosoušení ani koncem listopadu vhodná pro okamžité spalování. V daném termínu jsme v průměru zjistili obsah vody kolem 50 %. Jsou dvě možnosti jak se zbavit do zimy přebytečné vody. Buď porost na podzim desikovat nebo jej sklídit a dosušit uměle. Porost je možno také sklízet přes zimní období, pokud to půdně-klimatické podmínky a sněhové poměry dovolí, nebo je možno sklízet až na jaře, až do doby než začne znovu růst (obrážet). První mrazy porost vysuší, takže jej lze pak sklízet a přímo spalovat. Vlhkost pod 20 % při jarním termínu sklizně je vhodná přímo k lisování do briket nebo pelet, ke skladování nebo okamžitému spalování. Ztráta fytomasy 22,5 % (tab. 9) přes zimní období není v porovnání s některými ostatními plodinami vysoká. Ztráta je kompenzována úbytkem vlhkosti, neboť na podzim bychom museli sklizenou fytomasu dosušet. Porost chřastice přes zimní období většinou nepoléhá, což umožňuje bezproblémovou sklizeň bez větších ztrát fytomasy.

Technologické parametry fytomasy trav určených pro spalování

Jarní sklizeň je doporučována také proto, že při pozdějších termínech sklizně se snižuje obsah draslíku, chlóru, dusíku a síry ve fytomase chřastice i dalších plodin oproti

raným termínům sklizně. Množství živin obsažených v rostlinách je na jaře téměř poloviční v porovnání s rostlinami sklizenými např. v srpnu. Jako důvod se uvádí translokace živin do kořenové části a jejich vyluhování během zimy. Porovnání obsahu prvků v nadzemní fytomase chrastice rákosovité při podzimní a jarní sklizni podle našich sledování je uvedeno v tabulce 10. U pozdních termínů sklizně (březen) se např. při spalování fytomasy chrastice zvyšuje teplota spékání popele a jsou zaznamenány nižší emise SO_x a NO_x oproti ranějším termínům sklizně (červenec-září). Obsah popele v rostlinách je ovlivněn také typem půdy. Bylo zjištěno, že při pěstování chrastice na těžkých jílovitých půdách byl obsah popele 10,1 % v porovnání s rostlinami pěstovanými na půdách humózních, kde byl obsah popele pouze 2,2 %.

Tabulka 9: Výnosy čerstvé hmoty (č.h.), sušiny fytomasy (t.ha⁻¹) a vlhkost při sklizni (%) chrastice rákosovité v různých termínech sklizně (průměr let 1996 až 2001)

Plodina	I. odběr*			II. odběr**			III. odběr***		
	Výnos		Vlhkost	Výnos		Vlhkost	Výnos		Vlhkost
	č.h.	Sušina		č.h.	Sušina		č.h.	Sušina	
Chrastice	24,55	8,10	67,0	15,04	8,00	46,8	7,61	6,20	18,5

Poznámky: * odběr v době největšího nárůstu fytomasy

** odběr na podzim

*** odběr brzy na jaře

Tabulka 10: Obsah prvků v rostlinách chrastice rákosovité v různých termínech sklizně

Termín sklizně	Obsah prvků v % sušiny				
	N	P	K	Ca	Mg
V době kvetení	1,36	0,23	1,05	0,70	0,19
Podzim	0,96	0,17	0,57	0,40	0,12
Jaro	0,92	0,14	0,14	0,25	0,06
Průměr	1,09	0,18	0,59	0,45	0,12

Pro spalování je důležitým faktorem energetický obsah spalovaného materiálu. Energetický obsah fytomasy chrastice rákosovité v různých termínech sklizně za období let 2006-2009 uvádí tab. 11. Průměrná energetická hodnota sušiny fytomasy chrastice 17,77 GJ.t⁻¹ je podobná hodnotám hnědého uhlí používaného při vytápění v domácnostech. Obdobné hodnoty výhřevnosti byly zjištěny i u jiných plodin jako např. ozdobnice, kostřavy rákosovité, šťovíku apod. (Kára a kol., 2004). Wellie-Stephan (1998) uvádí pro sušinu kostřavy rákosovité energetickou hodnotu kolem 17,00 kJ.kg⁻¹.

Spalné teplo je silně závislé na vlhkosti fytomasy. Při vlhkosti 50 % je pouze 9,5 GJ.t⁻¹. Při vlhkosti do 20 % vhodné pro přímé spalování ve většině kotlů s nižším výkonem je spalné teplo chrastice 14,7 GJ.t⁻¹ (tab.11, graf 1), což odpovídá hnědému uhlí horší kvality používanému v našich tepelných elektrárnách. Vliv obsahu vody ve fytomase chrastice rákosovité na její energetický obsah je uveden v grafu 2. Z tabulky 11 je dále patrné, že různé termíny sklizně ani hnojení N průkazně neovlivňují energetický obsah sklizené fytomasy chrastice.

Tabulka 11: Energetické hodnoty nadzemní fytomasy chrastice rákosovité (GJ.t^{-1}) při různých termínech sklizně, hnojení N a různém obsahu vody

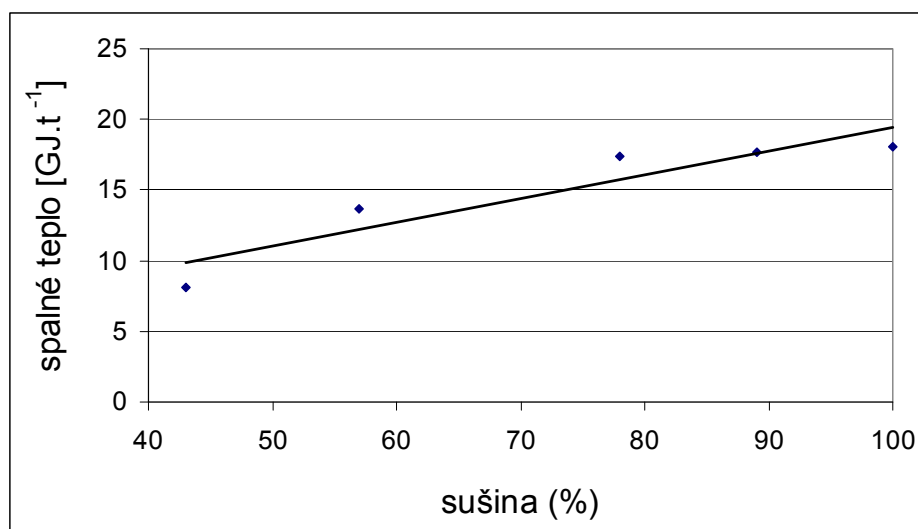
Ukazatel	Termín sklizně	Energetická hodnota
Spalné teplo suché hmoty	1. termín*	17,658
Spalné teplo suché hmoty	2. termín**	17,814
Spalné teplo suché hmoty	3. termín***	17,832
Průměr termínů sklizně suché hmoty		17,768
Spalné teplo suché hmoty při hnojení N0	2. termín**	17,564
Spalné teplo suché hmoty při hnojení N3	2. termín**	17,369
Spalné teplo při obsahu vody 50 %	2. termín**	9,472
Spalné teplo při obsahu vody 20 %	3. termín***	14,730

Poznámky: * odběr v době největšího nárůstu fytomasy

** odběr na podzim

*** odběr brzy na jaře

Hnojení dusíkem v průmyslových hnojivech (kg.ha^{-1}) N0 = 0, N3 = 120



Graf 2: Vliv obsahu vody ve fytomase chrastice rákosovité na její spalné teplo

Chrastici i další trávy lze použít jako palivo přímo dodávané do vhodného kotle, nebo ji lze dále zpracovat lisováním do formy pelet či briket. Přímé spalování je vhodné ve velkých topeništích, kdy je palivo dodáváno ve formě balíků. Vhodným rozduřovadlem jsou pak tyto balíky převedeny do formy, kdy je možno materiál mechanicky a pneumaticky dodávat do kotle. Při spalovacích zkouškách byla v kotli určeném pro spalování slámy použita jako palivo chrastice ve formě balíků. Emise CO byly zjištěny na hladině $1\,000\text{ mg.m}^{-3}$ (při 11 % O_2), přičemž limitní hodnota pro toto spalovací zařízení je 650 mg.m^{-3} . Koncentrace NO_x ve spalinách byly pod dovolenou hranicí. Výhodou chrastice, jako paliva je zvýšená teplota tání popela ($1\,190\text{ }^\circ\text{C}$) oproti obilní slámě ($860\text{ }^\circ\text{C}$). Tím se dá v mnoha případech zabránit spékání popela v topeništi (Hutla a kol., 2004).

Při porovnání spalování fytomasy trav z různých termínů sklizně byly zjištěny výrazně nižší emise NO_x při spalování fytomasy z pozdějších termínů sklizně. Např. Hutla a Jevič (2009), kteří při spalování pelet ozdobnice použili kotle nižších výkonů do 25 kW (spalovací zařízení SK-2 a V 25), zjistili emisní parametry NO_x pro kotel SK-2 resp. V 25 při podzimní sklizni 128 resp. 168 mg.m^{-3} a 83 resp. 102 mg.m^{-3} při jarní sklizni. Toto snížení emisí NO_x

představovalo pro kotel SK-2 35 %, pro kotel V 25 39 %. Obdobné výsledky jsou i u dalších druhů trav.

Při použití chřastice pro lisování topných pelet mají tyto produkty poměrně dobré vlastnosti pro použití v automatických kotlích i mechanické vlastnosti charakterizující možnosti dopravy a skladování. Hodnota otěru dle ÖNORM M 7135 je asi 1,6 %, přičemž hraniční hodnota je 2,3 %. Rovněž hustota pelet ($1,28 \text{ kg.dm}^{-3}$) splňuje požadavek normy ($1,12 \text{ kg.dm}^{-3}$). Při použití pelet lisovaných z čisté chřastice v kotli pro dřevní pelety je možno dosáhnout koncentrací CO a NO_x v kouřových plynech srovnatelných s dřevními peletami a splňujících požadavky na ochranu ovzduší. (Hutla a kol., 2004). Obdobné výsledky uvedené výše pro chřastici byly získány i u dalších ověřovaných druhů trav.

Pro specifikaci, klasifikaci i zkoušení biomasy byly v roce 2010 vydány nové normy (Kotlánová, 2010). V tomto sdělení jsou také citovány další normy vydané v roce 2010 pro stanovení vody, prchavé hořlaviny, obsahu popela, spalného tepla a výhřevnosti, sypané hmotnosti a mechanické odolnosti pelet.

7. Využití travní biomasy pro výrobu bioplynu

Anaerobní fermentace travní biomasy na bioplyn má oproti přímému spalování několik zásadních výhod. Je možné použít čerstvou případně zakonzervovanou (silážováním, sušením) biomasu. Vznikající bioplyn je možno využít k výrobě tepla a elektrické energie, případně po úpravě dodávat do sítě zemního plynu. Digestát – zbytek po fermentaci, obsahuje prakticky nezměněné množství minerálních látek obsažených v původní biomase a umožňuje recyklaci živin spojené se zvyšováním produkce biomasy a následné snížení měrných provozních nákladů na produkci a sklizeň travní biomasy.

Anaerobní metanová fermentace organických materiálů – *metanizace* – je souborem procesů při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty je bioplyn (směs CH₄, CO₂, H₂, N₂, H₂S + minoritní plynné složky) a fermentační zbytek – digestát. Digestát obsahuje nerozložený resp. částečně rozložený zbytek organické hmoty a narostlou mikrobiální biomasu.

V prvním stadiu rozkladu – *hydrolýze* – jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě. Produkty hydrolýzy jsou během druhé fáze – *acidogeneze* – rozkládány dále na jednodušší organické látky (těkavé organické kyseliny, alkoholy, CO₂, H₂). V dalším stadiu rozkladu – *acetogenezi* – probíhá oxidace těchto látek na H₂, CO₂ a kyselinu octovou. V posledním stadiu – *metanogenezi* – dochází činnosti metanogenních mikroorganismů k produkci metanu.

Produkce a složení bioplynu z fytomasy

Použití travní biomasy k výrobě bioplynu má určitá specifika vycházející hlavně z jejího chemického složení. Chemické složení i jednoho druhu rostlinné biomasy je ovlivněno typem půdy a klimatickými podmínkami stanoviště. Navíc je ovlivněno řadou faktorů spojených s produkcí, sběrem a případnou konzervací jako jsou například způsobem hnojení, dobou sklizně, počtem sečí, technologií konzervace atd. Produkce bioplynu a jeho složení ze základních složek organických substrátů jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12: Produkce bioplynu a metanu ze základních složek organické hmoty

Substrát	Produkce bioplynu z tuny organické sušiny (Nm ³)	CH ₄ (%)	Produkce CH ₄ z tuny organické sušiny (Nm ³)
Cukry	790	50	395
Tuky	1250	68	850
Bílkoviny	700	71	497

U anaerobní fermentace rostlinné biomasy jsou hlavním zdrojem bioplynu polysacharidy typu celulózy a hemicelulózy případně škrobu. Složení luční travní biomasy z různých lokalit je uvedeno v tabulce 13.

Tabulka 13: Složení travní biomasy z různých lokalit

Parametr	jednotky	Paseky	Hojná voda	Vatín
sušina	%	22,8	22,2	31,0
organické látky v sušině	% v sušině	93,3	91,7	92,6
proteiny	% v sušině	10,7	11,8	9,8
vláknina	% v sušině	32,6	33,3	33,0
lipidy	% v sušině	3,2	3,7	3,0
popel	% v sušině	6,7	8,3	7,4
BNVL	% v sušině	46,8	42,9	46,8

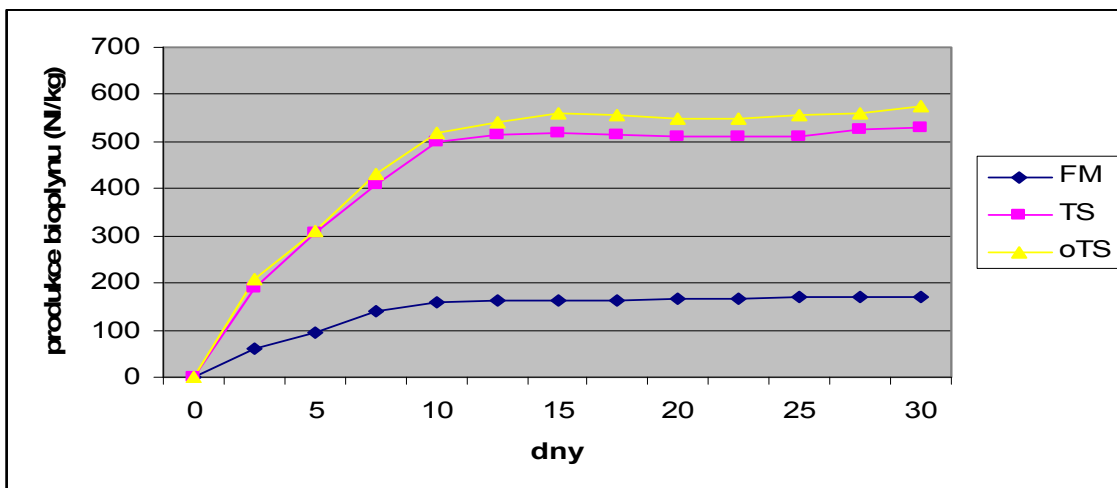
Hemicelulózy společně s celulóзовými polysacharidy vytvářejí vlákninu. Dlouhé řetězce celulózy vytvářejí „armaturu“, obtáčenou rozvětvenými řetězci hemicelulózy. Tato struktura je zpevněna zesíťovanou výplní ligninu. I když hemicelulózy jsou v porovnání s celulózou složitější heteropolysacharidy jejich enzymatické štěpení probíhá snáze a rychleji. Nejtěžší rozložitelnou část rostlinných buněk tvoří lignin. Obsah ligninu a stupeň asociace s polysacharidy se obecně zvyšuje se stárnutím rostlin.

Typický průběh produkce bioplynu při anaerobní fermentaci travní siláže je uveden na následujícím grafu (graf. 3). Produkce bioplynu vyjádřená v „normo“ litrech (objem plynu přepočten na 101,3 kPa a °C) je vztažena na čerstvou siláž (FM) o sušině 32,2 %, sušinu (TS) a organickou sušinu (oTS). Organická sušina tvořila 92 % sušiny vzorku.

Obsah metanu v bioplynu se u substrátů s dominantním obsahem sacharidů pohybuje v rozmezí 50 - 55 %. Je to však stále dostatečně vysoká hodnota pro přímé spalování v kotlích, resp. v kogeneračních jednotkách. Naopak výhodou bioplynu z rostlinných materiálů je nízká koncentrace sulfanu, pohybující se řádově v desítkách miligramů v m³ bioplynu. Například u bioplynu z anaerobní fermentace kejdy prasat se koncentrace sulfanu

pohybují v rozsahu 2000 - 5000 mg/m³. Sulfan má vysoce korozivní vlastností a vzniká v průběhu anaerobní fermentace ze sloučenin obsahujících síru.

Obsah metanu v bioplynu se u substrátů s dominantním obsahem sacharidů pohybuje v rozmezí 50 - 55 %. Je to však stále dostatečně vysoká hodnota pro přímé spalování v kotlích resp. v kogeneračních jednotkách. Naopak výhodou bioplynu z rostlinných materiálů je nízká koncentrace sulfanu, pohybující se řádově v desítkách miligramů v m³ bioplynu. Například u bioplynu z anaerobní fermentace kejdy prasat se koncentrace sulfanu pohybují v rozsahu 2000 - 5000 mg/m³. Sulfan má vysoce korozivní vlastností a vzniká v průběhu anaerobní fermentace ze sloučenin obsahujících síru.



Graf 3: Produkce bioplynu z travní siláže

Produkce metanu dosažená v experimentální činnosti

U trav a travních porostů byla v experimentech dosažena následná produkce metanu v normolitrech (NL) z 1 kg organických látek (OL).

Srha	231 NL metanu z 1kg sušiny OL
Ovsík	264 NL metanu z 1kg sušiny OL
Luční porost	216 NL metanu z 1kg sušiny OL

Pro srovnání je uvedena produkce metanu u tritikale a kukuřice, dosažená v experimentech.

Tritikale	275 NL metanu z 1kg sušiny OL
Kukuřice	nadmořská výška 320m 353 – 368 NL metanu z 1kg sušiny OL
	nadmořská výška 620m 342 - 355 NL metanu z 1kg sušiny OL

Ve srovnání s kukuřicí a obilninou tritikale je u trav a lučního porostu dosažena nižší produkce metanu. To však neznamená, že trávy a luční porosty nejsou vhodným substrátem do bioplynových stanic. Je na vlastníkově bioplynové stanice zemědělského typu jaký substrát zvolí, který vychází z jeho zemědělské činnosti a tím i dosažená produkce metanu z 1kg

sušiny organických látek. Je však důležité zabezpečit kvalitní substrát pro celoroční provoz bioplynové stanice

Technologické aspekty anaerobní fermentace travní biomasy

Pro zabezpečení celoročního provozu bioplynové stanice je potřeba zabezpečit dostatečné zásoby fytomasy. Vzhledem k tomu, že čerstvá volně uskladněná fytomasa podléhá degradativním procesům vlivem rozvoje nežádoucích mikroorganismů a plísní, je potřeba ji rychle stabilizovat. Tradičně jsou v zemědělství používané dvě technologie konzervace a to usušení na seno a silážování.

Při výrobě sena se snižuje obsah vody sušením přímo na kultivační ploše pod 15 %, což je hodnota, při které je možné seno dostatečně dlouho skladovat. Pro nejčastěji používanou technologii - suspenzní anaerobní fermentaci, kdy optimální obsah sušiny vsázky je do 15 %, vyžaduje použití sena opětovné přidávání vody.

Z hlediska technologie anaerobní fermentace je daleko výhodnější využít silážovanou biomasu. Konzervace silážováním je založena na principu okyselení biomasy kyselinou mléčnou na hodnoty pH 4,0 - 4,5. Kyselina mléčná vzniká činností bakterií z vodorozpustných cukrů v prostředí bez přístupu vzduchu. Bakterie mléčného kvašení (*Lactobacillus*, *Streptococcus* aj.) jsou přirozeně přítomné na fytomase. V rámci urychlení silážování je možné je přidávat ve formě suspenzí. Další výhodou použití siláže v porovnání se senem jsou kratší částice rostlin - řezanka 2 až 7 cm. Kratší částice jsou výhodnější pro čerpání a míchání travní suspenze a navíc produkce bioplynu je nepřímo úměrná délce řezanky.

Dávkování rostlinné biomasy

Sušina travních siláží se pohybuje v rozmezí 28 - 35 %. Velikost částic siláží závisí na technologii sklizně a ovlivňuje měrnou hmotnost siláže, která se pohybuje v rozmezí 650 - 800 kg/m³. Jelikož je nepřímá úměra mezi velikostí částic a produkcí bioplynu, je výhodné zpracovávat biomasu nařezanou na co možná nejmenší části. Na druhou stranu jemnější řezání vyžaduje větší spotřebu energie. Proto je volena kompromisní velikost částic - řezanky kolem 2 - 5 cm. Delší vlákna mají tendenci vyplouvat na hladinu suspenze a tvořit pevnou až několika desítek centimetrů silnou, i pro plyny těžko propustnou vrstvu (deku). Vážné problémy může způsobovat namotávání dlouhých vláken na hřídele míchadel.

Jako nejvhodnější se osvědčilo přímé dávkování biomasy do reaktoru. Homogenizace pak proběhne uvnitř reaktoru. Silážována fytomasa je koncentrovaný organický substrát, s obsahem 700-800 kg organické hmoty v m³. Vzhledem k eliminaci nebezpečí látkového přetížení reaktoru, je proto vhodné kontinuální resp. semikontinuální dávkování v průběhu dne. V praxi se běžně používají automatická dávkovací zařízení s kapacitou denní dávky biomasy.

Z hlediska anaerobní fermentace je závažný a limitující faktor procesu úzký rozsah pH optimálního (pH 6,5-7,5) pro růst metanogenních mikroorganismů. Nejčastější příčinou výkyvu pH je jeho pokles vlivem přetížení reaktoru, kdy produkce kyselin rychlejšími mikroorganismy předmetanizační fáze (první a druhá skupina) je vyšší než jejich spotřeba a dochází k jejich akumulaci v systému. Proto je třeba řídit zatížení podle množství a složení mastných kyselin v suspenzi tak, aby nedošlo ke zhroucení procesu.

Při vyšších koncentracích nízkopolymerních sacharidů ve zpracovávané fytomase může při anaerobní fermentaci docházet k jejich relativně rychlé transformaci na organické

kyseliny spojené s výrazným snížením pH vsázky a následném zpomalení až zastavení anaerobního rozkladu.

Pufrovací kapacita je závislá na druhu rostlin, klesá se stářím rostlin a snižujícím se dusíkatým hnojením. Pufrovací kapacita je ovlivněna poměrem C : N, když větší podíl C dává nižší pufrovací kapacitu. Okyselování je možné zabránit přidávkem zásad, recyklací perkolátu, případně kofermentací se substrátem s vysokou pufrovací kapacitou (kejda).

Používané typy reaktorů k anaerobní fermentaci fytomasy

Suspenní fermentace

V současnosti jsou daleko nejrozšířenějším typem reaktorů k anaerobní fermentaci rostlinné biomasy, ***suspenní vertikální válcové reaktory***. Jejich konstrukce vychází ze standardních, betonových nebo ocelových, uskladňovacích nádrží na kejdu. Objem fermentorů se pohybuje v průměru od 1000 do 3000 m³. Nejsou ale výjimkou i reaktory s objemy 6000 m³. Hloubka reaktorů bývá 3 - 6 m a průměr 8 - 24 m. K zabezpečení plynůstnosti reaktoru postačuje kvalitní betonová konstrukce nádrže a střechy, případně doplněná plynůstnou fólií. K tepelné izolaci se používají běžné izolační materiály jako je polystyrén, nebo skelná vata. V některých případech jsou nádrže z důvodu zamezení ztrát tepla umístěny pod úrovní terénu.

Většinou je instalováno dva a více reaktorů provozovaných samostatně, zapojených do série nebo paralelně. Bez ohledu na systém provozování reaktorů je výhodné vzájemné potrubní propojení všech reaktorů.

V posledních letech je možné sledovat stále častější výstavbu ***vysokosušivých suspenních horizontálních reaktorů***. Reaktor bývá sériově propojen s druhým fermentačním stupněm, tzv. postfermentorem. Postfermentor slouží zároveň jako uskladňovací nádrž digestátu a plynojem.

Konstrukce reaktoru umožňuje instalovat výkonné, funkčně bezpečné a energeticky úsporné horizontální mechanické míchadlo. Typické pro tato míchadla je, že zasáhnou celý reakční prostor a působí hlavně v horizontální rovině. Substrát je tak posouván postupně po délce reaktoru, vzniká tzv. pístový tok. Jednotlivá prohrabávací ramena jsou na centrální hřídeli uspořádaná s přesahem a opatřena krátkými lopatkami které rozrušují plovoucí příkrov na hladině. Hřídel míchadla může být umístěna v podélné ose reaktoru, nebo na šířku. Hřídel je poháněná vně umístěným hnacím motorem. Míchadlo se otáčí rychlostí 5 - 10 otáček za minutu. V závislosti na složení substrátu a jeho náchylnosti ke tvorbě plovoucího příkrovu se míchadlo zapíná jenom několikrát denně na dobu 5 - 15 minut. Tímto typem míchadel lze bez problému promíchávat substráty o obsahu sušiny až 20 % s vysokým podílem vláknitých látek.

Suchá fermentace

Z hlediska manipulace s travní biomasou je velice vhodná tzv. „suchá fermentace“. Tímto termínem se označují technologie výroby bioplynu z organických látek o provozní sušině nad 20 %. Vývoj těchto technologií byl a je podmíněn snahou eliminovat některé nevýhody fermentace nízkosušivých vsázek, jako je zlepšení energetické bilance procesu, omezení použití čerpadel případně i míchadel, minimalizovat velikost koncových skladů pro digestát a nákladů na jeho odvoz atd.. Všechny tyto faktory by se měli pozitivně odrazit ve nižších investičních provozních nákladech v porovnání s „mokrou cestou“. Přes všechny snadno pochopitelné výhody se zatím nerozšířily. Hlavní důvodem jsou nižší produkce bioplynu z měrné jednotky substrátu dosahované v provozním měřítku.

Princip technologie je založen na fermentaci volně ložené rostlinné biomasy při 40 °C v uzavřené plynůstné komoře vybavené podlahovým vytápěním. Biomasa je před

naskladněním zahřátá aerobní fermentací na 60 °C. Vsázka je v komoře zkrápěná perkolátem sbíraným ze dna a predehřivaným přes výměník tepla. Doba zdržení biomasy v komoře je přibližně jeden měsíc. V prvních dnech bioplyn obsahuje ještě zbytky vzduchu a je vypouštěn přes biofiltr do atmosféry. Po odčerpání zbytku vzduchu je bioplyn spalován v kogenerační jednotce. Až na plnění a odběr biomasy pomocí kolových nakladačů je zařízení plně automatizováno. Časová vyrovnanost výroby bioplynu je podobně jako v předchozím případě dosahovaná použitím většího počtu komor a jejich postupným plněním.

Dle informací autorů, zatím odbourání organické hmoty je zatím při anaerobní fermentaci suchou cestou o 20- 40 % nižší v porovnání s fermentací v suspenzi. Jedním z důvodů může být právě absence promíchávání vsázky. Vzhledem k nižším investičním a provozním nákladům je tento systém vhodný pro suroviny (odpady) které nevyžadují vysoké náklady na jejich výrobu, sběr a konzervaci.

8. Ekonomické aspekty energetického využití trav

Ekonomika pěstování je z pohledu potenciálních pěstitelů klíčovou otázkou, která v konečné fázi ovlivňuje jejich rozhodnutí o tom, zda budou plodiny za určitým účelem pěstovat či nikoliv. Souhrn ekonomického hodnocení je uveden v tabulce 13. Ve výpočtech jsou uvedeny modelové náklady od založení porostu až po sklizeň, odvoz a úpravu sklizeného materiálu za předpokladu, že budeme hodnotit porost ponechaný 5 let na stejném pozemku. Při výpočtech jsme vycházeli z vlastních zkušeností při pěstování daných plodin. Pro cenové kalkulace jednotlivých operací jsme většinou brali aktuální cenové relace. Do kalkulací nejsou zahrnuty žádné dotace.

Z výsledků je patrné, že z ekonomického hlediska při pěstování na spalování je vhodnější jarní termín sklizně, kde není třeba dosoušení. I přes snížené výnosy způsobené opadem, olámaním částí rostlin a dalšími ztrátami během zimy jsou náklady při jarním termínu sklizně na ha i na tunu produkce lepší v porovnání s letním termínem. Porovnáme-li pěstování fytohmoty travních porostů na spalování a na bioplyn můžeme z výsledků konstatovat, že pěstování trav na bioplyn je dražší než na spalování. Samotné průměrné náklady na tunu sušiny na spalování kolem 1 500 Kč jsou značně vysoké a při daných modelových výnosech nemohou zatím bez dotací konkurovat jiným běžným klasickým palivům. Podobné je tomu s náklady při pěstování uvedených trav na bioplyn.

Při pěstování energetických trav je možné požádat jako u běžných klasických zemědělských plodin o dotace, které podstatně sníží náklady na pěstování. V roce 2010 byly dotace SAPS 4 060,8 Kč.ha⁻¹ a dotace TOP UP 514,0 Kč.ha⁻¹ tedy celkem 4 575 Kč.ha⁻¹. Zvláštní dotace na pěstování vybraných energetických plodin, které bylo možné čerpat v minulosti, v nejsou současné době poskytovány.

Tabulka 13: Modelové náklady na pěstování sledovaných trav podle jednotlivých sledovaných ukazatelů

Plodina	pěstovaná na spalování				pěstování na bioplyn	
	letní sklizeň	jarní sklizeň	letní sklizeň	jarní sklizeň	za sezónu	
	Kč.ha ⁻¹		Kč.t ⁻¹		Kč.ha ⁻¹	Kč.t ⁻¹
Sveřep	10 879	8 376	1 876	1 571	17 306	2 545
Chrastice	10 759	8 800	1 855	1 651	17 471	2 569
Ovsík	11 326	8 871	1 562	1 408	17 601	2 080
Srha	10 796	8 293	1 389	1 489	17 410	1 989

Podle Frydrycha a kol. (2001) se náklady na jednu tunu sušiny travní hmoty jako paliva lisované do balíků pohybují od 1 400 Kč v prvním a druhém užitkovém roce do 1 265 Kč ve třetím a čtvrtém užitkovém roce.

Normativy zemědělských výrobních technologií (Kavka a kol., 2006) uvádějí pro pěstování chrostice rákosovité celkové technologické náklady (variabilní + fixní náklady) podle náročnosti od cca 5 000 do 7 884 Kč.ha⁻¹ (od 657 do 872 Kč.t⁻¹). Tyto normativy uvádějí také náklady pro další trávy jako jsou kostřava rákosovitá, psineček veliký nebo ozdobnice čínská.

9. Závěry

Z výsledků je patrné, že vybrané trávy, pokud jsou dobře založeny a udržovány jejich porosty, vydrží na jednom stanovišti bez snížení výnosů fytomasy po řadu let. Pro jejich zavádění hovoří nízká cena při zakládání porostů, žádné nebo minimální používání herbicidů nebo pesticidů, i další nízké přímé náklady. Trávy dobře reagují zvýšením výnosů na hnojení dusíkem. Travní porosty významně přispívají zejména na svažitých pozemcích k omezení vodní eroze, zadržení živin, k udržení cyklu uhlíku i úrodnosti půdy. Většinu trav lze u nás pěstovat téměř ve všech klimatických podmínkách od nížin, přednost mají humidní oblasti vzhledem k relativně vysokým nárokům trav na vláhu.

Nejběžnějšími formami energetického využití trav v současnosti je spalování a výroba bioplynu. Při pěstování na spalování je vhodnější jarní termín sklizně, kde není třeba dosoušení. Přestože během zimy dochází ke ztrátám, jsou náklady při jarním termínu sklizně na ha i na tunu produkce v porovnání s letním termínem nižší.

Trávy a luční porosty jsou vhodným substrátem do bioplynových stanic ačkoliv při srovnání s kukuřicí a tritikale je u trav a lučního porostu dosažena nižší produkce metanu.

Porovnáme-li pěstování fytomasy travních porostů na spalování a na bioplyn můžeme z ekonomického hodnocení konstatovat, že pěstování trav na bioplyn je dražší než na spalování. Průměrné náklady na tunu sušiny na spalování kolem 1 500 Kč jsou značně vysoké a při daných modelových výnosech nemohou zatím bez dotací konkurovat jiným běžným klasickým palivům. Podobné je tomu s náklady při pěstování uvedených trav na bioplyn.

Energetické využití fytomasy cíleně pěstovaných trav může však být při zahrnutí běžných dotací (SAPS, TOP UP) jako součást komplexního řešení produkčních, environmentálních, energetických i ekonomických aspektů konkrétního podniku již v současných ekonomických podmínkách možné a vhodné.

III Srovnání novosti postupů

Podle našeho soudu nebyla dosud zpracována takto komplexní metodika pro energetické trávy pěstované jako monokultura. V předložené metodice jsou zahrnuty kromě vlastních nově získaných poznatků i současné údaje ze světové literatury. V metodice jsou charakterizovány vybrané druhy trav potenciálně vhodných pro energetické využití v různých stanovištních podmínkách České republiky. Jsou popsány aspekty a postupy, které mohou ovlivnit výslednou produkci a kvalitu fytomasy vybraných druhů trav z hlediska

energetického využití spalováním nebo pro výrobu bioplynu. Metodika posuzuje ekonomické aspekty obou stěžejních způsobů využití pro energetické účely.

IV Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena širokému okruhu uživatelů, nejen z podniků zemědělské prvovýroby, především uživatelů bioplynových stanic nebo zařízení na spalování fytomasy. Může sloužit k zásadním strategickým rozhodnutím pro zařazení energeticky využitelných trav, pro výběr vhodných druhů a technologie transformace energie z fytomasy. Metodika také může posloužit jako podklad pro úpravu technických zařízení, technologických postupů i jako materiál pro výuku na středních školách nebo univerzitách se zemědělským zaměřením případně zemědělským poradcům.

V. Ekonomické aspekty

Produktivita každého výrobního procesu závisí na optimálních vstupech a na jejich zhodnocení tak, aby získaný produkt měl vysokou efektivnost a splňoval co nejlépe požadavky při následném zpracování a využití. Optimalizaci procesu výroby a hlavně kvality trav určených pro energetické využití (spalování, bioplyn) předkládá tato metodika.

Metodika předkládá možnost úspor nákladů při samotném pěstování trav určených pro energetické využití, ale také možnosti zvýšení kvality paliva zahrnující snížení jeho emisních parametrů, růst teploty tání popela apod.

Při aplikaci metodických doporučení představuje podle našich výsledků a modelových kalkulací navýšení výnosu např. letní sklizně v průměru nejméně 20 % ($1,2 \text{ t}\cdot\text{ha}^{-1}$ suché hmoty) při porovnání pěstování stejného druhu trávy při stejných agrotechnických opatřeních v různých půdně-klimatických podmínkách, což při ceně 1 000 Kč za tunu činí $1\,200 \text{ Kč}\cdot\text{ha}^{-1}$. Při hospodaření s travami pro energetické využití na spalování na ploše 70 tis. ha by to představovalo 84 mil. Kč ročně. Snížení emisí např. NO_x nejméně o 30 % při spalování trav ve stejném spalovacím zařízení malého výkonu, porovnáme-li např. fytomasu sklizenou v létě nebo na jaře následujícího roku. Environmentální přínosy snížení emisí jsou obtížně ekonomicky kvantifikovatelné, ale jednoznačně významné.

VI Seznam použité související literatury

- Fiala, J., Tichý, V. (1994): Produkční schopnost a vytrvalost píceňích odrůd trav v monokulturách. (Production ability and persistence of herbage varieties of grasses in monocultures). Rostl. Výr., vol. 40, no. 11, s. 1005-1014.
- Frydrych, J., Cagaš, B., Machač, J. (2001): Energetické využití některých travních druhů. (Energetic use of some grass species). Zemědělské informace ÚZPI, 23/2001, 34 s.
- Geber, U. (2002): Cutting frequency and stubble height of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.): influence of quality and quantity of biomass for biogas production. Grass and Forage Science, vol. 57, no. 4, s. 389-394.
- Havličková, K. a kol. (2007): Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. České Budějovice: Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví Průhonice a Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2007. ISBN 978-80-85116-00-7.
- Houdek, I. (2010): Perspektivní druhy a odrůdy trav a jetelovin z ŠS Hladké Životice, s.r.o. In: Kohoutek, A., (ed.). (2010): Kvalita píce z travních porostů a chov skotu v měnících se ekonomických podmínkách, Kunín 14. října 2010, s. 61 - 67.
- Hutla, P., Jevič, P. (2009): Solid biofuels from miscanthus. In: Proceedings of the International Scientific Conference, ČZU Praha, Technická fakulta, 5. – 7. května, 2009, s. 116-121. ISBN 978-80-213-1897-7
- Hutla, P. a kol. (2004): Systémové využití energetické biomasy v podmínkách ČR. Závěrečná zpráva VÚZT, 2004, 73 s.
- Kára, J., Stražil, Z., Hutla, P., Andert, D., Jevič, P., Šedivá, Z., Adamovský, R., Polák, M. (2004): Technologické systémy pro využití biopaliv z energetických plodin. (Technology systems for the use of biofuels from energy crops). Závěrečná zpráva VÚZT Praha, projektu QD 1209, 121 s.
- Kára, J. a kol. (2005): Energetické rostliny technologie pro pěstování a využití. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005. ISBN 80-86884-06-6.
- Kašper, J., Gáborčík, N. (1989): Tvorba biomasy kostravy trst'ovitej (*Festuca arundinacea* Schreb.) v závislosti od rôznej výživy dusíkom. (Biomass production in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) at different nitrogen fertilization rates). Rostl. Výr., vol. 35, no. 6. s. 665-672.
- Katterer, R., Andren, O. (1999): Growth dynamics of reed canarygrass (*Phalaris arundinacea* L.) and its allocation of biomass and nitrogen below ground in a field receiving daily irrigation and fertilization. Nutrient Cycling in Agroecosystems, vol. 54, no. 1, s. 21-29.
- Kavka, M. a kol. (2006): Normativy zemědělských výrobních technologií. (Pěstební a chovatelské technologie a normativní kalkulace). ÚZPI, Praha, 376 s.
- Kohoutek, A., Odstrčilová, V., Komárek, P., Nerušil, P., Hrabě, F., Rosická, L., Šrámek, P., Kašparová, J., Gaisler, J., Fiala, J., Pozdíšek, J., Mičová, P., Svozilová, M., Jakešová, H. (2008): Effects of fertilizer level and cutting frequency on yield and forage quality and diversity of permanent grassland in the Central Europe in 2003 – 2006. In: *Grassland Science in Europe*, vol. 13 - *Biodiversity and animal feed – future challenges for grassland production*, proceedings of the 22nd General Meeting of the European Grassland Federation (Hopkins, A., Gustafsson, T., Bertilsson, J., Dalin, G., Nilsson-Linde, N., Spörndly, E., eds.). Uppsala, Sweden, 9-12 June 2008, pp. 595-597. ISBN 978-91-85911-47-9.
- Kohoutek A., Kvapilík J., Cagaš B., et al. (2009): Selected indicators of productive and extraproductional management of grasslands in the Czech Republic. In: *Alternative Functions of Grassland*. Proceedings of the 15th of the European Grassland Federation Symposium, p. 11-24, Brno, 7-9 September 2009.

- Kohoutek, A., Komárek, P., Nerušil, P., Odstrčilová, V., Němcová, P. (2010): Kvalita píce trav, jetelovin a jetelovino travních směsek z obnovených TTP v letech 2009 - 2010. In: Kohoutek, A., (ed.). Kvalita píce z travních porostů a chov skotu v měnících se ekonomických podmínkách, Kunín 14. října 2010, s. 37 - 50.
- Kotlánová, A. Nové normy pro specifikace, klasifikaci i zkoušení biomasy. *Energie* 21, 2010, 5, 44-46. ISSN 1803-0394
- Kryzeviciene, A. (2005): Perennial grasses a novel energy crops. *Rural development* 2005, vol. 2, Book 2, Proceedings – Globalisation and integration challenges to rural development in eastern and central Europ, s. 62-64.
- Míka, V., Kohoutek, A., Bumerl, J., Smrž, J., Pozdíšek, J. (1999): Pícninářsky zajímavé sveřepy. In: Sborník referátů z mezinárodní vědecké konference a odborného semináře katedry pícninářství. ČZU Praha, 1999, s.177-190.
- Míka, V., Řehořek V. (2003): Sveřepy ve střední Evropě. VÚRV Praha, 151 s.
- Niemelainen, O., Jauhiainen, L., Niittinen, E. (2001): Yield profile of tall fescue (*Festuca pratensis*) in Finland. *Grass and Forage Science*, SEP 2001, vol. 56, no. 3, s. 249-258.
- Ochodek, T. a kol. (2006): Potenciál biomasy, druhy, bilance a vlastnosti paliv z biomasy. Ostrava:Vysoká škola báňská - technická univerzita, 2006.ISBN 80-248-1207-X.
- Petr, J. a kol. (1989): Rukověť agronoma. Praha:Státní zemědělské nakladatelství, 1989. ISBN 80-209-0062-4.
- Petřík, M. a kol. (1987): Intenzivní pícninářství. SZN Praha, 1987, 473 s.
- Saijonkari-Pahkala, K. (2001): Non-wood plants as raw material for pulp and paper. *Agricultural and Food Science in Finland*, 10: Suppl. 1, 101 pp.
- Šantrůček, J. a kol. (2001): Základy pícninářství. Praha:Česká zemědělská univerzita, 2001. ISBN 80-213-0764-1.
- Šantrůček, J. a kol. (2007): Encyklopedie pícninářství. Praha:Česká zemědělská univerzita, 2007. ISBN 987-80-213-1605-8.
- Veselá, M., Mrkvička, J., Šantrůček, J., Štráfelda, J., Velich J., Vrzal, J. (2007): Návody ke cvičení z pícninářství. Ed.: ČZU v Praze, 203 s. ISBN 987-80-213-1605-8.
- Velich, J. a kol. (1994): Pícninářství. Praha:Vysoká škola zemědělská, 1994. ISBN 80 - 213 - 0156 - 2.
- Vrzal, J., Novák, D. (1995): Základy pěstování kukuřice a jednoletých pícnin. Praha:Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR, 1995. ISBN:80-7105-097-0.
- Wellie-Stephan, O. (1998): Development of grasses adapted for production of bioenergy. Proceedings paper, In 10th European Conference - Biomass for Energy and Industry, 8-11 June 1998, Wurzburg, Germany, p. 1050-1051.

VII Seznam publikací, které předcházejí metodice

- Havlíčková, K., Weger, J., Konvalina, P., Moudrý J., Stražil, Z. (2007): Zhodnocení ekonomických aspektů pěstování a využití energetických rostlin. Vědecká monografie. Ed.: VÚKOZ Průhonice, JČU České Budějovice, 2007, 92 s. ISBN 978-85116-00-7, ISBN 978-80-7040-948-0
- Havlíčková, K. a kol. (2008): Technologie pěstování a využití energetických rostlin. In: kapitola v monografii „Rostlinná biomasa jako zdroj energie“. Průhonice 2008, 83 s. (napsal jsem str. 9-10, 14-19) ISSN 0374-5651 (ISBN 978-80-85116-65-6, ISBN 978-80-7415-004-3)
- Havlíčková, K., Knápek, J., Stražil, Z. (2009): Metodika ekonomického hodnocení pěstování víceletých energetických plodin. Certifikovaná metodika č. 6/2009-057 pro Energetický regulační úřad. Ed.: VÚKOZ Průhonice, 2009, 25 s.

- Havlíčková, K. a kol. (2010): Analýza potenciálu biomasy v České republice. Vědecká monografie. Ed.: VÚKOZ Průhonice 2010, tisk (ntp - Nová Tiskárna Pelhřimov) , 498 s. ISBN: 978-80-85116-72-4 (VÚKOZ), ISBN: 978-80-7415-033-3
- Moudrý J. Jr., Kobes M., Konvalina, P., Fuka, D. (2009): Vhodnost termínu sklizně energetických trav z hlediska výnosových parametrů, Úroda 12 (vědecká příloha časopisu), 2009, str. 405-408. ISSN - 0139-6013
- Moudrý, J., Jr., Kobes, M., Kutil, J., Friebelová, J. (2009): Yield parameters of energy grass species and possibilities of their utilisation, *Lucrari Stiintifice* vol. 52, Seria Agronomie, "Ion Ionescu de la Brad" University Press, 2009, p. 284-290.
- Moudrý, J., jr., Konvalina, P., Prokešová, M., Moudrý, J. (2010): The usability of grasses for energy purposes in relation to other crops, *Lucrari Stiintifice* vol. 53, Seria Agronomie, "Ion Ionescu de la Brad" University Press, 2010, p. 341-346.
- Moudrý, J., jr., Stražil, Z., Kobes, M., Konvalina, P., Moudrý, J. (2010): Energetické využití vybraných víceletých a jednoletých rostlin, *Úroda*, 12, vědecká příloha časopisu, 2010, s. 533-536.
- Stražil, Z. (1999): Energetické rostliny - 1 - Chrastice rákosovitá. *Biom*, 1999, č.5, s. 6-7.
- Stražil, Z. (1999): Pěstování a možnosti využití některých energetických plodin. In: Sborník přednášek z konference "Technologie pro spalování biomasy". 1999, Praha, s. 11-21. (ISBN:80-213-0506-1)
- Stražil, Z. (2000): Energetické hodnocení vybraných klasických a netradičních alternativních plodin jako zdroje různých energetických paliv. In: Sbor. Kalorimetrický seminář 2000. Zvíkovské podhradí, 2000, s. 49-54. (ISBN 80-7042-792-2)
- Stražil, Z. (2000): Ekonomická analýza vybraných energetických rostlin určených pro spalování. (Economic analysis of selected energy plants for combustion). Sbor. Technika a technologie pro nepotravinářské využití půdy a její udržování v klidu. Brno, Techagro, s. 17-22.
- Stražil, Z. (2002): Porovnání chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea* L.) a kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea* Schreb.) jako možných zdrojů fytomasy pro energetické a průmyslové využití. (Comparison of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) and tall brome (*Festuca arundinacea* Schreb.) as possible source of phytomass for energetic and industrial use). In: Sborník referátů z odborné konference „Energetické a průmyslové rostliny VIII“. Chomutov 1.8. 2002, s. 42-49. ISBN 80-86555-16-X
- Stražil, Z. (2003): Energetické bilance vybraných netradičních energetických rostlin určených pro přímé spalování při různých termínech sklizně a systému dosoušení. . (Energy balances of selected untraditional energy plants assigned for combustion at various terms of harvest and systems of drying) In: Sborník referátů z Kalorimetrického semináře 2003. Suchá Rudná v Jeseníkách, 26.5.-30.5. 2003, str. 57-62. ISBN: 80-7042-836-8
- Stražil, Z., Moudrý, J., Kalinová, J. (2003): Produkce a ekonomika vybraných energetických rostlin. (Production and economy of some energy crops). In: Zborník prác z vedeckej konferencie s medzinárodnou účasťou „Udržateľne poľnohospodárstvo a rozvoj vidieka“ . 25.-26. septembra 2003, SPU v Nitre, str.333-335. ISBN 80-8069-246-7
- Stražil, Z., Hutla P. (2004): Chrastice rákosovitá - pěstování a možnosti využití. (publikováno: 10.3.2004, komentářů: 1, zobrazení: 558, obrázků: 5, tabulek: 6) – celkem 12 stran . www.biom.cz.
- Stražil, Z., Javůrek, M., Vach, M., Káš, M. (2004): Study of reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) and tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) as possible phytomass sources for energy and industry utilization. In: Proceedings of the 2nd World Conference and Technology Exhibition on Biomass for Energy, Industry and Climate Protection, Rome, 10-14 May, 2004, pp. 204-205. ISBN 88-89407-03-4, ISBN 3-936-338-17-5

- Strašil, Z. a kol. (2005): Chrastice rákosovitá, zdroj energie. *Zemědělec*, 12, 2005, s. 32. (21. března)
- Strašil, Z. (2005): Pěstování energetických rostlin. In: Kolektiv: *Technologie pro pěstování a využití*. Ed.: VÚZT Praha, listopad 2005, 3: 4-43.
- Strašil, 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. (Vliv půdně-klimatických podmínek, hnojení dusíkem a různých termínů sklizně na výnosy fytomasy a další sledované ukazatele chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea* L.) pěstované pro energetické využití.). *RES.AGR.ENG.*, 51, 2005, (1): 7-12. ISSN 1212-9151
- Strašil, Z. (2006): Využití globálního záření vybranými klasickými a alternativními plodinami. (Utilization of global radiation with selected classical and alternative energy crops). In: *Sborník příspěvků na 28. Mezinárodním slovenském a českém kalorimetrickém semináři, hotel Poľana u Hriňové, Slovenská republika, 22.-26. května 2006: 55-58.* ISBN 80-7194-859-4
- Strašil, Z., Hutla, P. (2006): Pěstování a možnosti energetického a dalšího využití chrastice rákosovité (*Phalaris arundinacea* L.). In *sborník přednášek „Zemědělská technika a biomasa 2006“*. VÚZT, Praha-Ruzyně, listopad 2006, č. 4, s. 132-140. ISBN 80-86884-15-5
- Strašil, Z., Petříková, V., Ustjak, S. (2006): Pěstování energetických plodin. Kapitola v knize „Energetické plodiny“. Ed.: Profi Press, Praha 2006, s. 9-93.
- Strašil, Z., Šimon, J. (2006): Současné zdroje a možnosti využití rostlinné biomasy v energetice. *Agromagazín*, ročník 7, č. 4, 2006, s.16-20.
- Strašil, Z. (2007): Agro-ecological approaches when growing herbaceous energy plants and their effect on soil and the environment. (Agroekologické přístupy při pěstování energetických bylin a jejich vliv na půdu a životní prostředí). In: *Proceedings from the scientific conference with international participation “The tree and flower – a part of life”*, VÚKOZ Průhonice, 4. – 5. 9. 2007, p. 143-146. ISBN 978-80-85116-52-6
- Strašil, Z. (2007): Vliv stanoviště a některých agrotechnických opatření na obsah popele a energetický obsah fytomasy vybraných plodin. (The influence of site, N fertilization and various terms of harvest on ash and energy contents of phytomass selected crops). In: *Sborník příspěvků z 29. Mezinárodního českého a slovenského kalorimetrického semináře, hotel Medlov, Českomoravská vrchovina, 28.5.-1.6.2007, s. 151-154.* ISBN 978-80-7194-957-2
- Strašil, Z., Šimon J. (2007): Potenciál rostlinné biomasy v zemědělství ČR a jeho možnosti využití v energetice. *Agromagazín*, č. 12, 2007, s. 28-32
- Strašil, Z. (2008). Study of reed canary grass – possible source for energy utilization. *Italian Journal of Agronomy (Rivista di Agronomia)*, vol. 3, no 3 supplement, s. 557-558.
- Strašil, Z., Weger J. (2010): Preliminary zoning of agricultural land for reed canary grass (*Phalaris arundinacea* L.) for the Czech Republic. (Předběžná rajonizace zemědělské půdy pro chrastici rákosovitou (*Phalaris arundinacea* L.) v podmínkách ČR). In: *Proceedings of Agro 2010 the XIth ESA Congress, August 29th – September 3th, 2010, Montpellier, France, p. 949-950.* ISBN: 978-2-909613-01-7
- Strašil, Z., Weger, J. (2010): Studium kostřavy rákosovité (*Festuca arundinacea* Schreb.) pěstované pro energetické využití. (Study of tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.) grown for energy purposes.). *Acta Pruhoniana*, 2010, 96: 19-26. ISBN 978-80-85116-76-2, ISSN 0374-5651
- Strašil, Z., Moudrý, J. jr. (2011): Porovnání chrastice rákosovité (*Baldingera arundinacea* L.) a ozdobnice (*Miscanthus*) z produkčního hlediska. (Comparison of reed canary grass (*Baldingera arundinacea* L.) and miscanthus from production point of view). *Acta Pruhoniana* 97: 5–11. ISSN 0374-5651

Stražil, Z. (2011): Porovnání vybraných plodin pěstovaných pro různé využití z hlediska energetických bilancí. (Comparison of selected crops grown for different uses in terms of energy balance). In: Sborník příspěvků z 33. Mezinárodního českého a slovenského kalorimetrického semináře, Srní na Šumavě, 23.5-27.5. 2011, s. 143-146.

ISBN: 978-80-7395-389-0

Weger, J., Havlíčková K. a kol. (2007): Potenciál biomasy v Pardubickém kraji. Vědecká monografie. Ed.: VÚKOZ Průhonice, 2007, 58 s. ISBN: 978-80-85116-57-1, 978-80-86559-52-7

Název: Trávy jako energetická surovina

Autoři: Ing. Zdeněk Stražil, CSc.¹
Ing. Alois Kohoutek, CSc.¹
doc. Ing. Jiří Diviš, CSc.²
Ing. Jan Moudrý, Ph.D.²
prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.²
Ing. Miroslav Kajan³

¹Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Drnovská 507, Praha 6 - Ruzyně

²Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, Studentská 13, 370 05 České Budějovice

³ENKI o.p.s., Dukelská 145, 37901 Třeboň

Kontakt na autory: strasil@vurv.cz, vste@seznam.cz, moudry@zf.jcu.cz,
JMoudry@seznam.cz, aqua@trebon.cz

Vydal: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
Drnovská 507, 161 06 Praha 6 – Ruzyně

Sazba a tisk: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích,
Zemědělská fakulta, Studentská 1, 3370 05 České
Budějovice

Vydání: první, 2011

Náklad: 200 ks

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou v redakci nakladatelství.
Za věcnou a jazykovou správnost díla odpovídají autoři.

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., 2011
ISBN: 978-80-7427-078-9

© Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2011
ISBN: 978-80-7394-313-4



Vydal Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.
ve spolupráci se Zemědělskou fakultou Jihočeské univerzity v
Českých Budějovicích

2011