



Pavel Nerušil, Ladislav Menšík, Ivan Houdek,
Miroslav Jurka, Zdeněk Stražil, Alois Kohoutek

Pěstování, produkce a kvalita píce vybraných odrůd trav a jejich směsek pěstovaných jako náhrada substrátu pro bioplynové stanice za kukuřici setou

Certifikovaná metodika pro praxi



Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

2016

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.

Výzkumný tým obhospodařování a využívání trvalých travních porostů



Pěstování, produkce a kvalita píce vybraných odrůd trav a jejich směsek pěstovaných jako náhrada substrátu pro bioplynové stanice za kukuřici setou

Ing. Pavel Nerušil, Ph.D.
Ing. Ladislav Menšík, Ph.D.
Ing. Ivan Houdek
Ing. Miroslav Jurka
Ing. Zdeněk Stražil, CSc.
Ing. Alois Kohoutek, CSc.

Uplatněná certifikovaná metodika

Pěstování, produkce a kvalita píce vybraných odrůd trav a jejich směsek pěstovaných jako náhrada substrátu pro bioplynové stanice za kukuřici setou

Výsledky v oblasti pěstování fytomasy z travních porostů (TP) na orné půdě prokazují, že je možné v době nedostatku objemové píce silážní kukuřice, vkládané do anaerobních fermentorů zemědělských bioplynových stanic (BPS), nahradit tento substrát za píci z travních porostů. Metodika charakterizuje vybrané druhy trav a jejich směsky vhodné pro energetické využití v BPS jako náhrada substrátu pro bioplynové stanice za kukuřici setou v řepářských a bramborářských (bramborářsko-obilnářský typ) výrobních oblastech v ČR s cílem pozitivně ovlivnit ochranu životního prostředí (snížení působení vodní eroze na obdělávaných půdách v důsledku nižší výměry pěstované kukuřice). Jsou popsány aspekty a postupy, které mohou ovlivnit výslednou produkci a kvalitu fytomasy vybraných druhů trav a jejich směsek z hlediska energetického využití pro výrobu bioplynu. Metodika posuzuje i ekonomické aspekty pěstování a využití plodin (kukuřice setá x trávy a její směsky) pro energetické účely. Uplatnění metodiky bude u subjektů hospodařících na orné půdě, trvalých travních porostech v konvenčním i ekologickém zemědělství, dále u zemědělských poradců v poradenském systému MZe ČR apod. Předložené poznatky rovněž využijí pracovníci státní správy, studenti a pedagogové středních i vysokých škol, aj.

Klíčová slova: pěstování, kvalita píce, odrůdy trav a jejich směsky, substrát, produkce bioplynu, BPS

Crop management, production and forage quality of selected grass varieties and grass mixtures as a maize substitute for biogas plants

Results from the cultivation of permanent grassland on the arable land show, that in the time of silage maize shortage, used as fuel in agricultural biogas plants, it's possible to substitute the corn by forage from permanent grasslands. The methodology describes selected grass species and grass mixtures, suitable for use in biogas plants as a substituent of silage maize, especially in sugar beet and potato growing areas, with the aim to positively affect the environment (decreasing of water erosion on arable land due to the lower acreage of cultivated corn). The methodology describes aspects and practices influencing the final production and quality of selected grass species and grass mixtures in light of energy yield during the biogas production. It also assesses the economic aspects of grass cultivation and usage (corn x grasses and grasses mixes) for energetic purposes. The methodology can be used by agronomical subjects, managing on arable lands and permanent grasslands conventionally or organically, by advisors from the counselling system of the Czech Republic's Ministry of the Agricultural, by bureaucrats of Civil Service and finally by students and teachers at high schools and universities.

Keywords: crop management, forage quality, grasses varieties, grasses mixtures, substrate, biogas production, biogas plants

Metodika vznikla za finanční podpory Technologické agentury ČR v rámci řešení projektu TA02021257 „Optimalizace provozu bioplynové stanice s prizmatickými fermentory v modelovém zemědělském podniku ve vztahu k zemědělské soustavě a životnímu prostředí“ (60 %) a projektu MZe - RO041 (40 %), byla vydána ve Výzkumném ústavu rostlinné výroby, v.v.i. ve spolupráci s Hanáckou zemědělskou společností Jevíčko a.s. a DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice, s.r.o.

Autorský kolektiv:

Ing. Pavel Nerušil, Ph.D., Ing. Ladislav Menšík, Ph.D., Ing. Ivan Houdek, Ing. Miroslav Jurka, Ing. Zdeněk Stražil, CSc., Ing. Alois Kohoutek, CSc.

Oponenti:

Ing. Michaela Budňáková, Ministerstvo zemědělství ČR, Praha
doc. Ing. Jiří Skládanka, Ph.D., Mendelova univerzita v Brně, Brno

Publikace neprošla jazykovou úpravou.

Foto na obálce: A. Kohouek, P. Nerušil

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR pod č.j. 16316/2016–MZE–17221.

© Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha – Ruzyně, VS Jevíčko, 2016

ISBN 978-80-7427-200-4

Obsah

1. Úvod	4
2. Cíl metodiky	4
3. Současný stav řešené problematiky	4
4. Metodická část	9
4.1. Metodické postupy pěstování píce (trávy a jejich směsky)	9
4.2. Produkce sušiny a výtěžnost bioplynu trav a jejich směsek	16
4.3. Provozní zkušenosti při přechodu substrátu kukuřičné siláže na travní senáž	19
5. Ekonomický přínos metodiky	20
6. Srovnání novosti postupů a uplatnění metodiky	22
7. Seznam publikací, které předcházely metodice	23
8. Literatura	24
Seznam obrázků, tabulek a zkratk	26

1. Úvod

Současný výzkum v oblasti pěstování TP na orné půdě ukazuje, že je možné nahradit substrát silážní kukuřice do anaerobních fermentorů zemědělských bioplynových stanic (BPS) pící vybraných perspektivních odrůd trav a jejich směsek, produkujících vysoké množství kvalitní a hodnotné fytomasy. Analýzy produkce bioplynu prokazují, že BPS dosahuje instalovaného výkonu i při substrátu na bázi zavadlých travních siláží bez kukuřičné siláže, což v budoucnu může vést ke snížení výměry pěstované kukuřice seté určené pro BPS a současně pozitivně ovlivnit ochranu životního prostředí v ČR.

2. Cíl metodiky

Cílem metodiky je podat nejnovější informace o pěstování, produkci a kvalitě píce vybraných odrůd trav a jejich směsek (víceletých pícnin) pěstovaných jako náhrada substrátu pro bioplynové stanice za kukuřici setou v řepářských a bramborářských (bramborářsko-obilnářský typ) výrobních oblastech v ČR a současně pozitivně ovlivnit ochranu životního prostředí (snížení působení vodní eroze na obdělávaných půdách v důsledku nižší výměry pěstované kukuřice).

Metodika respektuje pravidla správné zemědělské praxe a ochrany životního prostředí. Poznátky jsou čerpány jednak z vlastního výzkumu, ale i z výzkumu institucí domácích a zahraničních vědeckých pracovišť.

3. Současný stav řešené problematiky

Kukuřice setá je v současném zemědělství považována za stále významnou krmnou, potravinářskou a také průmyslovou plodinou (Zimolka et al. 2008) pěstovanou na orné půdě. Celková výměra osevních ploch kukuřice pěstované na zrno a na zeleno a siláž v roce 2015 činila podle údajů ČSÚ 324 928 ha a oproti roku 2000 došlo k navýšení ploch zejména z důvodu vyššího zastoupení kukuřice na zrno o více než 15 % (Tab. 1).

Tab. 1: Vývoj osevních ploch kukuřice seté v ČR v letech 1980–2015.

Plodina	1980	1990	2000	2010	2015	Index (%)			
						2015/2014	2015/2000	2015/1990	2015/1980
Osevní plocha celkem	3 317 831	3 270 963	3 020 564	2 495 859	2 457 465	99,5	81,4	75,1	74,1
Zrniny celkem	1 821 018	1 708 792	1 688 095	1 490 823	1 436 570	100,4	85,1	84,1	78,9
Kukuřice na zrno	24 304	44 941	39 317	99 945	93 575	93,2	238,0	208,2	385,0
Plodiny na zeleno celkem	1 019 962	1 099 907	725 252	406 450	458 266	101,3	63,2	41,7	44,9
Jednoleté pícniny celkem	456 272	594 526	308 243	225 151	280 893	99,0	91,1	47,2	61,6
Kukuřice na zeleno a siláž	281 981	381 525	232 406	181 939	231 353	98,2	99,5	60,6	82,0
Víceleté pícniny celkem	563 690	505 381	417 008	181 299	177 373	105,1	42,5	35,1	31,5

Pozn.: upraveno dle ČSÚ 2015

U kukuřice na zeleno a siláž pěstované pro krmné účely došlo z důvodu snížení stavů skotu v průběhu 15 let k poklesu výměry osevních ploch až o 20 % v roce 2010. V současné

době je kukuřice na zeleno a siláž pěstována na obdobné ploše jako v roce 2000, nárůst je způsoben využitím její biomasy pro energetické zpracování. Díky používání kvalitních hybridních osiv a aplikací moderních systémů agrotechniky, hnojení a účinných přípravků na ochranu rostlin jsou dosahovány výnosy vysoké úrovně, srovnatelné s vyspělými státy země EU.

V současnosti je přibližně 70 % kukuřice pěstováno na zeleno a siláž, která představuje hlavní energetickou složku objemných krmiv pro hospodářská zvířata. Dále je významnou energetickou surovinou pro výrobu biopaliv (bioetanol) a základním substrátem pro výrobu bioplynu (metanu) v zemědělských bioplynových stanicích (BPS). Podle odhadu agentury Kleffman bylo v roce 2013 prodáno 12 % osiva kukuřice v České republice na produkci biomasy pro výrobu bioplynu /plocha cca 40 tis ha/ (Skládanka et al. 2014). Zbýlých 30 % tvoří kukuřice na zrno, která se využívá jednak k výrobě krmiv pro všechny kategorie hospodářských zvířat a dále se využívá v potravinářství a pro průmyslové zpracování.

Mezi nevýhody pěstování kukuřice patří riziko náchylnosti ke vzniku půdní eroze (8–10 týdnů po výsevu nezakrývá půdu) převážně na svažitéch pozemcích, dále tvorba škraloupů na povrchu půdy i útlum biologické aktivity půdy. Kukuřice se v rámci osevních postupů řadí k plodinám, které jsou kumulátory energie a dále snižují při jejím vyšším zastoupení úrodnost půdy (úbytek organické hmoty v půdě, zhoršování půdní struktury apod.), naopak jako stabilizátory v zemědělské půdě působí víceleté pícniny.

Rozvoj bioplynových provozů (stanic) v posledních 5–7 let se promítl do zvýšené potřeby výroby rostlinné biomasy jako substrátu pro BPS a nově vede ke zvyšování zemědělské produkce u nejen podniků provozujících BPS, ale i v okolních podnicích, které často svou rostlinnou produkci těmto provozovatelům BPS prodávají. Nové zvyšování zemědělské produkce se projevuje nárůstem výměry plodin vhodných pro vsázku do BPS, zejména silážní kukuřice viz *Tab. 1* na úkor jednoletých a víceletých pícnin na orné půdě. Současně dochází k intenzifikaci výroby použitím progresivních agrotechnických a pratotechnických opatření, zejména vhodné druhové a odrůdové skladby, výživy a hnojení porostů, ochrany rostlin, sklizně, organizace a řízení práce.

Česká republika se v rámci Evropského společenství (EU) zavázala ke zvýšení výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů energie (OZE) a to zákonem č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie. Zprávy Energetického regulačního úřadu (ERÚ) o plnění indikativního cíle výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie za roky 2012–2014 podávají informace o výrobě elektrické energie z obnovitelných zdrojů (ERÚ 2012, 2013, 2014). Na výrobě elektřiny v ČR se OZE podílely od 11,43 do 13,17 % a bylo vyrobeno 8055 až 9243 GWh hrubé elektřiny. Bioplynové stanice se podílely na výrobě elektřiny z OZE od 18,3 do 27,9 %, přičemž z nich bylo vyrobeno 1472–2566 GWh hrubé elektřiny. Zprávy se podrobně nezabývají z jakých materiálů bylo uvedené množství hrubé elektřiny vyrobeno.

Výhřevnost 1 m³ bioplynu o obsahu 60 % metanu představuje 25 MJ, což odpovídá cca 6,2 kWh. Při 50–60 % účinnosti využití výhřevnosti bioplynu při spalování (cca 40 % odpadní teplo) je množství vyrobené hrubé elektřiny z 1 m³ cca 3–3,6 kWh (Jurka et al. 2014). Produkce bioplynu ze substrátů na bázi energetických rostlin se pohybuje v uvedeném průměru plodin v rozpětí od 500–700 m³ na t sušiny vsázky (Váňa, Ust'ak 2011). Z 1 t sušiny s produkcí bioplynu 600 m³ lze tedy vyrobit při uvedené účinnosti 1,800–2,160 MWh elektrické energie (Kohoutek et al. 2015). Na výrobu hrubé elektřiny v letech 2012–2014 bylo potřeba cca 800–1200 tis. t sušiny substrátu rostlinných materiálů (kukuřice setá, jednoleté a víceleté pícniny na orné půdě i píce z TTP). Hlavní plodinou v BPS je převážně silážní kukuřice, přičemž z instalovaných zemědělských BPS je jich část schopna využívat i zavadlé siláže z travních porostů.

Z energetického hlediska lze travní fyto masu využívat pro přímé spalování nebo na kogeneraci /výrobu elektřiny a tepla/ (Frydrych et al. 2001; Kára et al. 2004; Stražil 2008;

Prochnow et al. 2009a; Stražil et al. 2011) nebo pro výrobu bioplynu (Geber 2002; Schulz, Eder 2004, Prochnow et al. 2009b). Tradičně je fytomasa trav využívána pro krmení polygastrů a to v zeleném stavu (čerstvá píce) nebo jako konzervovaná objemová píce /seno, senáž, siláž/ (Klesnil et al. 1978; Petřík et al. 1987; Niemelainen et al. 2001; Hrabě et al. 2004; Houdek 2010; Kohoutek et al. 2010; Skládanka et al. 2014 aj.).

Jako energetického zdroje za kukuřici setou lze využít také fytomasy některých druhů trav (Stražil et al. 2011; Heinsoo et al. 2015) a jejich směsek pěstovaných na orné půdě, zejména na stanovištích s vyšší nadmořskou výškou i vyšší svažitostí terénu. K tomuto účelu lze využít pozemky erozně ohrožené, nevhodné pro pěstování kukuřice, dělicí pásy s travními porosty na velkých honech nebo v oblastech, kde dochází k přemnožení černé zvěře. 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 (Havlíčková et al. 2010; Stražil et al. 2011). Nejdůležitějším faktorem pro úspěšný rozvoj produkce bioplynu z travních porostů, je znalost specifického výtěžku bioplynu (metanu) a potenciálních hektarových výnosů biomasy a metanu pro různé druhy a odrůdy trav (Prochnow et al. 2008). Fytomasa takto získaná z travních porostů (TP) může být vedle silážní kukuřice významným zdrojem pro získávání energie v bioplynových stanicích.

Anaerobní fermentace travní biomasy

Anaerobní fermentace travní biomasy na bioplyn má největší výhody v tom, že lze využít jak čerstvou, tak i zakonzervovanou biomasu (silážováním, sušením). Bioplyn vznikající při fermentaci slouží zejména k výrobě elektrické energie, tepla a případně po úpravě ji lze dodávat do sítě zemního plynu. Zbytkem po anaerobní fermentaci je organické hnojivo digestát, obsahující téměř nezměněné množství minerálních látek, obsažených v původní biomase a umožňující recyklaci živin spojenou se zvyšováním produkce biomasy a následné snížení provozních nákladů na produkci a sklizeň travní biomasy.

Anaerobní metanová fermentace organického materiálu (metalizace) je proces, při kterém směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu (Kalač 2011). Konečnými produkty je bioplyn (směs CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S + minoritní plynné složky) a fermentační zbytek - digestát, který obsahuje nerozložený, resp. částečně rozložený zbytek organické hmoty a narostlou mikrobiální biomasu (Schulz, Eder 2004). 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, CO_2 , H_2). V dalším stadiu rozkladu (acetogenezi) probíhá oxidace těchto látek na, H_2 , CO_2 a kyselinu octovou. V posledním stadiu (metanogenezi) dochází činnosti metanogenních mikroorganismů k produkci metanu (Stražil et al. 2011).

V případě anaerobní fermentace rostlinné biomasy jsou hlavním zdrojem bioplynu polysacharidy celulóza a hemicelulóza, resp. škrob. Hemicelulózy společně s celulóзовými polysacharidy a ligninem vytvářejí vlákninu. Lignin je však nejhůře rozložitelnou částí rostlinných buněk a jeho obsah se obecně zvyšuje se stárnutím rostliny (Kalač 2011). Obsah metanu v bioplynu se u substrátů s dominantním obsahem sacharidů pohybuje v rozmezí 50–55 %. Výhodou bioplynu z rostlinných materiálů oproti např. kejďe prasat, je nízká koncentrace sulfanu, pohybující se řádově v desítkách miligramů v m^3 bioplynu.

Konzervace píce

Čerstvá, volně uskladněná píce z TP podléhá degradativním procesům vlivem rozvoje nežádoucích mikroorganismů, plísní a je potřeba ji rychle stabilizovat. V zemědělství jsou

nejpoužívanější dva způsoby konzervace, a to usušení na seno a silážování (Klesnil et al. 1978; Petřík et al. 1987). Při výrobě sena se snižuje obsah vody sušením pod 15 %, což je hodnota, při které je možné seno dostatečně dlouho skladovat. Z hlediska technologie anaerobní fermentace je daleko výhodnější využít píci z TP silážovanou, kdy sušina píce dosahuje 28–35 %. Konzervace silážováním je založena na principu okyselení biomasy kyselinou mléčnou na hodnoty pH 4,0–4,5. Kyselina mléčná vzniká činností bakterií z vodorozpuštěných cukrů v prostředí bez přístupu vzduchu, které jsou v píci TP přirozeně přítomné (např. rodu *Lactobacillus* nebo *Streptococcus*). Výhodou použití siláže v porovnání se senem jsou kratší částice rostlin (řezanka 2–7 cm). Kratší částice umožňují snadnější čerpání a míchání travní suspenze a navíc produkce bioplynu je nepřímo úměrná délce řezanky.

Používané typy reaktorů k anaerobní fermentaci fytomasy Suspenzní fermentace

V současnosti jsou daleko nejrozšířenějším typem reaktorů k anaerobní fermentaci rostlinné biomasy suspenzní vertikální válcové reaktory (Kára et al. 2007). 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 plynotěsnosti reaktoru postačuje kvalitní betonová konstrukce nádrže a střechy, případně doplněná plynotěsnou 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 úroveň 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 vysokосуšivých suspenzních 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 míchadel může být umístěna v podélné ose reaktoru, nebo na šířku. Hřídel je poháněn 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 nízkосуšivých 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 v 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 plynotěsné komoře

vybavené podlahovým vytápěním. Biomasa je před naskladněním zahřátá aerobní fermentací na 60°C. Substrát je v komoře zkrápný perkolátem, sbíraným ze dna a předeříváným 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. Podle některých studií je odbourání organické hmoty 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.

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) na délku přibližně 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 (Stražil et al. 2011). 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 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 následným 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 přidáním zásad, recyklací perkolátu, případně kofermentací se substrátem s vysokou pufrovací kapacitou (keřda).

4. Metodická část

4.1. Metodické postupy pěstování píce (trávy a jejich směsky)

Agrotechnika pěstování trav a travních směsek závisí na způsobu jejich využití a také na půdně-klimatických podmínkách stanoviště. Zásady pěstování jsou obdobné. Trávy a jejich směsky pěstované intenzivním způsobem pro produkci bioplynu je třeba zakládat na nezaplevelené pozemky (bez vytrvalých plevelů /pýr, šťovíky, oves hluchý apod./) s optimálním pH 5,5–6,5 (Skládanka et al. 2014).

Předplodina: Trávy a jejich směsky nejsou nenáročné na předplodinu. Můžeme je vysévat prakticky po všech předplodinách. Vhodnou předplodinou jsou okopaniny hnojené chlévským hnojem, luskovinoobilní směsky a obilniny, které následují buď po pícnině nebo po ozimé řepce.

Příprava půdy: Při zakládání TP se před setím doporučuje středně hluboká až hluboká podzimní orba do hloubky 150-180 (300) mm se současným urovnáním povrchu a rozdrobením skýv (Klesnil et al. 1978; Hrabě et al. 2004). Před vlastní orbou je vhodné provést podmítku povrchu půdy diskovým kypřičem a dle potřeby provést vápnění. Vápenatá hnojiva se v závislosti na pH aplikují v dávce 1–6 t.ha⁻¹ CaO (Kohoutek et al. 2007). Jarní příprava půdy zahrnuje prokypření se zapravením minerálních hnojiv a dále důkladné a pečlivé urovnání povrchu pozemku, aby seťové lůžko bylo kompaktní (vzlínání vody).

Setí: Nejvhodnější termín je časně z jara, na vlhčích stanovištích je možné zakládat TP v létě, nejpozději do poloviny září. Hloubka setí se volí podle druhu půdy, na těžších půdách sejeme do hloubky 10–20 mm, na lehčích půdách 20–30 mm. Trávy a jejich směsky pro BPS zpravidla zakládáme v čistosevu, popř. výsevem do krycí plodiny. Doporučené druhové složení a výsevky trav a jejich směsí uvádí *Tab. 2 a 3*.

Tab. 2: Doporučované výsevky pro založení čisté kultury vybraných druhů trav a jejich směsek (DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice s.r.o.).

Travní druh / typ směsi	Odrůda/název směsi	Výsevek (kg.ha ⁻¹)
Festulolium - jílkovitý hybrid	BEČVA	40
Kostřava rákosovitá	KORA	25
Bojínek luční	LEMA	16
Kostřava luční	KOLUMBUS	25
Srha říznačka	VEGA	20
Ovsík vyvýšený	MEDIAN	40
Dočasná silážní směs s jetelem plaz.	BPS 1	35
Víceletá silážní směs s jetelem plaz.	BPS 2	35
Trvalá silážní směs do sucha	BPS 3	35

Tab. 3: Složení travních směsí s využitím pro BPS (DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice s.r.o.).

BPS 1		
Druh	Odrůda	% ve směsi
Jílek jednoletý	Jivet	16
Festulolium	Hykor	30
Festulolium	Lofa	30
Festulolium	Perseus	20
Jetel plazivý	Rivendel	4

Pozn.: dočasná intenzivní silážní směs na ornou půdu, max. 3–4 roky pěstování, 2/3 jílkovitých trav

BPS 2		
Druh	Odrůda	% ve směsi
Festulolium	Hykor	30
Jílek jednoletý	Jivet	16
Kostřava luční	Kolumbus	20
Festulolium	Lofa	20
Festulolium	Perseus	10
Jetel plazivý	Rivendel	4

Pozn.: víceletá intenzivní silážní směs na ornou půdu, min. 4 roky pěstování, téměř polovina jílkovitých trav

BPS 3		
Druh	Odrůda	% ve směsi
Festulolium	Hykor	35
Kostřava luční	Kolumbus	15
Festulolium	Felina	35
Bojíněk luční	Lema	15

Pozn.: víceletá silážní směs do suchých podmínek

BPS 4		
Druh	Odrůda	% ve směsi
Festulolium	Hykor	35
Kostřava luční	Kolumbus	15
Festulolium	Felina	35
Bojíněk luční	Lema	15

Pozn.: vysoký podíl jílkovitých trav, vytrvalost 2–3 užitkové roky

BPS 5		
Druh	Odrůda	% ve směsi
Festulolium	Hykor	30
Kostřava rákosovitá	Kora	30
Festulolium	Perun (Hostyn)	10
Festulolium	Lofa	20
Jílek jednoletý	Jivet (Lolan)	16
Jetel plazivý	Klondike	4

Pozn.: vyšší podíl kostřavy rákosovité, vytrvalost 3–4 užitkové roky

Výživa a hnojení:

Hnojení travních porostů minerálními hnojivy

Doporučené dávky minerálních hnojiv jsou variabilní podle půdně-klimatických stanovištních podmínek a podle způsobu a intenzity využití porostů.

Dusík

Doporučená roční dávka dusíku při 4 sečném způsobu obhospodařování (velmi intenzivním) je ve výši 140–160 (180) kg.ha⁻¹ N čistých živin (č.ž.). Celkové dávky dusíku nad 80 kg.ha⁻¹ je třeba dělit k jednotlivým sečům.

Fosfor, draslík, hořčík a vápník

Při hnojení pouze minerálními hnojivy (absence statkových) se odvíjí dávky P, K a Mg od výnosové úrovně – tedy hnojení dusíkem a zásobenosti těchto prvků v půdě. To vše za předpokladu, že se půdní reakce pH pohybuje v rozsahu 5,0–6,0 a vyhovujícího obsahu těchto makroprvků v půdě. Při nižším obsahu, než jsou hraniční hodnoty, násobíme každých chybějících 10 mg koeficientem (+0,1) a při vyšším obsahu (–0,1). Tedy např. při obsahu fosforu v půdě 41 mg.kg^{-1} je třeba povýšit základní dávku ročního hnojení a násobit ji koeficientem 1,1. Na TP, kde není přísun dusíku ovlivněn výkaly pasoucích se zvířat ani vyšším zastoupením jetelovin, se zachovává poměr N : P v minerálních hnojivech 1 : 0,40 při dávce dusíku 50–75 kg.ha^{-1} , 1 : 0,22 při dávce dusíku 75–125 kg.ha^{-1} a 1 : 0,20 při dávce dusíku nad 125 kg.ha^{-1} .

Doporučená roční dávka fosforu (P) při 4 sečném způsobu obhospodařování (velmi intenzivním) je ve výši 28–32 kg.ha^{-1} č.ž., u draslíku (K) 100–120 kg.ha^{-1} č.ž. a hořčíku ve výši 32–35 kg.ha^{-1} č.ž.

Hořčíkem je třeba hnojit v TP při výnosech vyšších než 3,5 t sušiny. ha^{-1} za rok. Hořčík ovšem není dobře využit v kyselých půdách s pH nižším než 5,2. Je-li v půdě obsah draslíku a hořčíku v poměru do 1,6 (mg.kg^{-1} půdy, Mehlich III), pak je výživa v pořádku; při obsahu od 1,6 do 3,2 je třeba při hnojení sledovat kontrolu poměru a nad 3,2 je nutné korigovat K, respektive Mg.

Pokles pH v půdě pod TP nastává až při vysokých dávkách dusíku (nad 200 kg.ha^{-1}) a vyšších výnosech než 8 t sušiny na ha. Jinak stačí doplnění CaO v hnojivech (je-li v nich obsažen), není-li ovšem půda kyselá (pH méně než 5,0). Potom je třeba doplnit CaO v dávkách do 1 t CaO.ha^{-1} na středních půdách a do 0,8 t. ha^{-1} na lehkých půdách za rok. V případě nutnosti vyšší dávky vápnění rozdělíme aplikaci na více roků.

Minerální hnojiva je třeba aplikovat v termínech, kdy je rostliny nejlépe využijí. Na jaře je to v začátku vegetace, kdy trávy začínají intenzivněji růst. To se týká dusíku, hořčíku a fosforu. Vlastní aplikace je závislá na době působení jednotlivých druhů hnojiv a důležitá je pravidelnost a dávkování, což významně ovlivňuje použité rozmetadlo.

Hnojení travních porostů statkovými hnojivy

Racionální využívání statkových hnojiv je proti minerálním levnější, ale je i v souladu s filosofií trvale udržitelného zemědělství. Minimalizuje totiž vnější vstupy a využívá vnitřní, které jsou v zemědělství k dispozici v rámci koloběhu živin v podniku. Zvyšuje, resp. udržuje kvalitu půdy a vody a také kvalitu píce (Fiala et al. 2007).

Racionální využití statkových hnojiv ke hnojení travních porostů předpokládá ale použití správné technologie jejich skladování a aplikace. Tzn. hnůj vyzrálý, schopný pravidelné aplikace, bez dlouhé slámy apod. Dostatečně dlouhou dobu skladování kejdy i močůvky, aby se odstranily, respektive potlačily zdroje infekcí (koliformní bakterie, salmonely, zárodky parazitů apod.), látky s inhibičním účinkem na rostliny (kyselina hipurová, močová, benzoová) a také aby došlo ke ztrátě klíčivosti plevelných semen. Dále je nutné dodržovat pravidla pro aplikaci a skladování statkových hnojiv.

Statková hnojiva neobsahují jen nejúčinnější makroprvek dusík, ale i o organické látky, širší spektrum makro a mikroprvků, bakterie a látky stimulující povahy (heteroauxiny).

Tab. 4 uvádí již jen „čistý“ přívod dusíku do půdy výkaly a močí pasených zvířat, přičemž s celkového obsahu dusíku se odečítají ztráty 40 %. Pro účely výživy travního porostu pak z tohoto přívodu počítáme využitelný dusík, což je v prvním roce ohodnoceno koeficientem účinnosti 0,6. Zbytek (0,4) je započítán další rok. Pokud se tedy pase každoročně, tak se vlastně každým rokem započítává celý přívod (0,6 + 0,4).

Tab. 4: Průměrný přívod živin do půdy ve statkových a organických hnojivech v kg.t⁻¹ dle Vyhlášky č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, Příloha č. 3.

Hnojiva		Průměrný obsah sušiny	Průměrný přívod živin		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O
				%	kg/t
Statková hnojiva					
Hnůj skotu	telata, jalovice, býci	22	6,5	4,0	7,6
	krávy dojené	22	6,9	4,0	7,6
	skot bez tržní produkce mléka	22	5,6	2,1	5,7
Močůvka skotu a hnojůvka		1,3	1,5	0,2	2,1
Hnůj prasat	předvýkrm	24	5,5	8,8	7,0
	výkrm, prasničky, prasnice	24	8,5	8,8	7,0
Močůvka prasat a hnojůvka		1,2	2,2	0,5	2,1
Hnůj koňský		30	5,2	3,5	8,7
Hnůj ovci a koz		32	8,9	5,4	17,7
Kejda skotu	telata	5,9	3,7	1,5	3,0
	jalovice, býci	9,2	3,9	1,9	3,8
	krávy dojené	7,2	3,8	1,6	3,1
	směs kejdy od více kategorií skotu	7,3	3,9	1,6	3,1
	tekutá část po separaci (fugát)	5,8	3,9	1,6	3,2
	tuhá část po separaci (separát)	21	4,2	1,7	2,5
Kejda prasat	předvýkrm	4,7	3,1	2,5	2,0
	výkrm, prasničky	6,0	4,8	3,1	2,6
	prasnice	4,6	4,0	2,4	1,5
	směs kejdy od více kategorií prasat	5,3	4,3	3,0	2,1
	tekutá část po separaci (fugát)	3,4	4,1	2,4	2,0
	tuhá část po separaci (separát)	27	6,6	9,7	2,9
Drůbeží trus	čerstvý	28	18,5	12,8	8,9
	uleželý	32	19,0	14,6	10,2
	sušený	73	35,0	33,3	23,2
	s podestýlkou	42	20,4	18,8	15,2
Hnůj králíků		29	7,9	6,2	10,4
Kejda králíků		18	4,1	4,1	4,2
Silážní šťávy ředěné		2,1	1,3	0,7	2,5
Organická hnojiva					
Kompost ze statkových hnojiv		40	5,5	4,5	6,1
Digestát ze zemědělské bioplynové stanice		5,8	5,3	1,6	3,5
Tekutá část po separaci digestátu (fugát)		3,9	5,1	1,4	3,4
Tuhá část po separaci digestátu (separát)		23	6,8	3,0	4,5

¹⁾ Přívod živin ve statkových hnojivech je uveden k termínu jejich použití, tedy po odpočtu ztrát živin ve stájích a při skladování statkových hnojiv. Při odlišném obsahu sušiny u tekutých statkových hnojiv se obsah živin úměrně přepočte. Pokud je k dispozici rozbor obsahu živin, použijí se hodnoty tohoto rozboru.

Poznámka:

Analýzy na obsahy dusíku, fosforu a draslíku v upravených kalech (v sušině) i v půdách pozemků, kde budou aplikovány, zajišťují původci kalu podle vyhlášky č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (obsah P₂O₅ = obsah P x 2,292; obsah K₂O = obsah K x 1,204).

Mezi organická hnojiva, které můžeme použít k hnojení TP je i **digestát**. Digestát je fermentační zbytek po anaerobní digestaci vstupních materiálů při výrobě bioplynu v bioplynové stanici (BPS) (Marada et al. 2008). V některých případech je digestát následně mechanicky separován a vzniká tak pevná část, takzvaný separát a kapalná část, takzvaný fugát. Všechny tři frakce (digestát, separát, fugát) jsou zpravidla využívány jako organické hnojivo (Lošák, Dostál 2014).

Uvádění digestátu do oběhu řeší zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech a navazující prováděcí předpis - vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Organická hnojiva vzniklá anaerobní fermentací při výrobě bioplynu smějí být používána na zemědělské půdě a lesních pozemcích pouze pokud jsou registrována podle tohoto zákona; to neplatí, jsou-li vyrobeny výhradně ze statkových hnojiv nebo krmiv (§ 9 odst. 4 zákona o hnojivech). Aplikace digestátu, který byl vyroben výhradně ze statkových hnojiv a krmiv, na pozemcích producenta nepodléhá registraci ani ohlášení (Smatanová 2015).

Vlastnosti digestátu

- základní digestát: 0,4–0,7 % N; 0,15–0,25 % P_2O_5 ; 0,3–0,5 % K_2O ; sušina 6–9 %, pH 7–9. Jde o hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem (poměr C : N < 10, průměrně 5–6).
- Fugát: 0,1–0,3 % N+ 0,05–0,10 % P_2O_5 ; 0,1–0,2 % K_2O ; sušina do 3 %; pH 7–9. jde o hnojivo s rychle uvolnitelným dusíkem (poměr C : N < 10, průměrně 4–5).
- Separát: 0,6–1,0 % N; 0,3–0,5 % P_2O_5 ; 0,4–0,7 % K_2O ; sušina 20–30 %; pH 7–9. Jde o hnojivo s pomalu uvolnitelným dusíkem (poměr C : N $\geq$ 10, průměrně 14–17).

Použití digestátu: Amonný dusík obsažený v digestátu snadno podléhá ztrátám do ovzduší; těmto ztrátám lze předejít přímým zapravením do půdního profilu, omezením aplikace digestátu rozstřikem a aplikací při nižších teplotách (například ráno a večer). Maximální aplikační dávka digestátu či fugátu je 10 tun sušiny/ha v průběhu tří let; maximální aplikační dávka separátu je 20 tun sušiny/ha v průběhu tří let. Ve zranitelných oblastech je nutné respektovat omezení hnojení v závislosti na aplikačním pásu. Období zákazu používání dusíkatých hnojivých látek na zemědělské půdě včetně travních porostů na orné půdě uvádí Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu - Příloha 2 Období zákazu používání dusíkatých hnojivých látek na zemědělském pozemku, stanovení aplikačních pásem a způsobů hnojení.

Ošetřování:

Vláčení TP se provádí za účelem vyhrabání nebo odstranění části stařiny, rozhrnutí krtin a mravenišť a provzdušnění povrchu půdy. Mělo by se provádět zejména v TP s vysokým množstvím ulehlé stařiny, případně krtin. Operaci vláčení provádíme co nejdříve na jaře, aby nedošlo k poškození listů trav i jetelovin a současně při vhodné vlhkosti půdy a únosnosti drnu, aby nedošlo ke vzniku kolejí. Optimální termín je březen, nejpozději pak do poloviny dubna, dokud není porost obrostlý (převážně zelený). Používáme lehké brány, vhodné je též obrátit brány hřeby vzhůru a využít je jako smyk. Vhodné je používat tzv. luční brány, které pracují šetrně a svým účinkem se podobají smykování (viz. Obr. 1).



Obr. 1: Luční brány 8-4RBH (<http://www.agrozetshop.cz/lucni-brany-8-4rbh/d-131358-c-2358/>).

Válení TP utužujeme povrch půdy a podporuje se vztlínání vody v půdním profilu (Obr. 2). Většina druhů pícninářsky významných trav vyžaduje spíše ulehlou půdu. Válení je třeba provádět těžkými lučními válci v době vhodné půdní vlhkosti, kdy půdu lze stlačit (kdy není příliš vyschlá ani příliš vlhká z důvodu únosnosti drnu a vzniku kolejí). Optimální termín válení je březen až polovina dubna, nebo těsně po seči. Účinek válení na zvýšení výnosů je však většinou nepatrný.



Obr. 2: Luční vály LV 520 (<http://www.smscz.cz/zemedelske-stroje/cz/produkty/valy/lucni-valy-lvx-lvxt/>).

Regulace výskytu plevelů v TP je možné dosáhnout řadou vhodných pratotechnických opatření (frekvence a termíny sečí, vhodnou výživou a hnojením travních porostů). V případě výskytu vytrvalých plevelů je v některých případech nutná aplikace selektivních herbicidů (Starane, Lontrel 300 aj.), nebo bodová (též knotová) aplikace systémových (totálních) herbicidů (Clinic, Roundup, Touchdown). Je možné použít i další herbicidy, které jsou uvedeny např. v příručkách pro ochranu rostlin.

Sklizně a posklizňové zpracování: 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 a jejich směsek jako optimální sklizeň při obsahu vody kolem 70 %. Při sklizni trav a jejich směsek na bioplyn se doporučují 2–3 seče za rok v závislosti na délce vegetačního období, vodním režimu a úrodnosti půdy. Dále dle ranosti, vzrůstu a obrůstací schopnosti trav i úrovni hnojení v daném roce.

Doporučený postup vícefázové sklizně a zpracování pro porosty trav a jejich směsek:

- 1) žací stroj bubnový nebo diskový s kondicionérem (prstový, válcový): pro rychlé snížení obsahu vody (zavadání) v biomase pro BPS (požadavkem je, aby píce nebyla znečištěna zeminou), termín sklizně 1. seče na začátku metání trav před dosažením maximálního hektarového výnosu (výnos představuje cca 60-70 celkového výnosu daného roku);
- 2) obracení (dle agroklimatických podmínek stanoviště, podmínky pro zavadání - posílení a zlepšení průběhu fermentačního procesu apod.);
- 3) shrnování (velkorotorové shrnovače, volit typ stroje dle následného sběru);
- 4) sběr z řádků: sklízecí řezačka (samojízdná) se sběracím ústrojím nebo sběrací vůz s řezacím ústrojím, doporučený optimální obsah sušiny při sklizni trav a jejich směsek na orné půdě je 38 % s rozmezím 35–45%, a doporučená délka řezanky 10–30 (40) mm dle aktuální sušiny při sklizni;
- 5) odvoz do bioplynové stanice (naskladnění píce) nebo její konzervace silážováním v silážních žlabech (snadné plnění a vyskladňování, odolné na nízké hodnoty pH, zajištění anaerobního prostředí a stabilitu substrátu po celou dobu skladování), a následným převozem do BPS (v průběhu roku podle spotřeby v BPS);
- 6) podmínky plnění, hutnění a zakrytí silážních skladů: čistý silážní sklad, funkčnost odtokových kanálů pro silážní šťávy, zabránit kontaminaci substrátu zeminou, pískem nebo jinými nečistotami, doba plnění musí být co nejkratší, ale nesmí být porušena intenzita hutnění (měrná hmotnost sušiny 180–200 kg.m⁻³ prostoru), vzduchotěsnost

a vodotěsnost - dokonalé zakrytí udusaného substrátu (tenká mikroténová fólie a krycí pevná fólie), zatížení fólií v průběhu skladování substrátu zabránění poškození fólií apod.

Vícefázový způsob sklizně rostlinné biomasy je časově a personálně náročnější a zahrnuje větší počet operací, které nutně znamenají větší počet přejezdů po pozemku.

Hlavní rozdíly mezi pastevními, resp. píceinářskými 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.

4.2. Produkce sušiny a výtěžnost bioplynu trav a jejich směsek

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.

V maloparcelkových polních pokusech v letech 2009–2011 byly ověřovány následující trávy: 1) jílek mnohokvětý 'Lubina'; 2) jílek vytrvalý 'Algol', 'Mustang', 'Jaran', 'Korok' a 'Jaspis'; 3) kostřava luční 'Kolumbus' a 'Pronela'; 4) srha laločnatá 'Niva' a 'Vega'; 5) kostřava rákosovitá 'Kora', 'Proba' a 'Prolate'; 6) odrůdy kříženců *Festulolium* (festucoid) 'Felina', 'Rebab' a 'Fojtan'; 7) odrůdy kříženců *Festulolium* (loloid) 'Hostyn', 'Lofa' a 'Perseus'; 8) bojínek luční 'Bobr' a 'Sobol'; 9) ovsík vyvýšený 'Medián'; 10) trojštět žlutavý 'Rožnovský'. Pokus se sortimentem trav byl využíván čtyřsečně resp. třísečně. První seč se uskutečnila zpravidla v polovině května, druhá a následující seče vždy po 45 dnech od předcházející. Celková dávka hnojení N byla $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ č.ž., aplikace dusíku byla dělena na tři dávky v poměru 60–60–60 (jaro, po první a druhé seči). Jednorázové jarní hnojení P a K bylo provedeno v dávce $35 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ P, resp. $100 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ K č.ž. ve formě trojitého superfosfátu, resp. draselné soli.

Dále v letech 2013–2014 probíhal polní pokus se šesti druhy a odrůdami trav (Tab. 2) a tři směsi pro BPS (Tab. 3). Pokus byl využíván jako a) čtyřsečný (2013), resp. b) třísečný (2014). První seč se uskutečnila v polovině května, druhá a následující seče vždy po 45 dnech od předcházející. Hnojení pokusných variant bylo zabezpečeno na podzim dávkou $0,2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ NPK 15/15/15 a dělenou dávkou dusíku 60–60–60 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ č.ž. (jaro, po první a druhé seči) ve formě LAV.

Trávy a jejich směsky 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.

Tab. 5: Produkce sušiny, výtěžnost metanu a potenciální produkce metanu hodnocených travních druhů v období 2009–2011.

Travní druh	Počet odrůd	Roční průměry ¹ produkce sušiny v $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$				Specifická výtěžnost metanu ($\text{Nm}^3 \cdot \text{t}^{-1}$ suš.)	Potenciální roční produkce metanu
		2009	2010	2011	průměr		
Ovsík vyvýšený	1	15,4	11,7	11,2	12,8	247	3152
Jílek mnohokvětý	1	17,4	8,82	--	13,1 ²	237	3108
Kostřava rákosovitá	1	17,5	11,1	9,60	12,7	239	3045
Bojínek luční	2	17,1	12,1	9,40	12,9	227	2924
Srha laločnatá	2	16,4	11,1	10,0	12,5	230	2873
<i>Festulolium</i> (festuc.)	4	16,1	10,8	8,70	11,8	228	2700
<i>Festulolium</i> (loloid)	3	18,3	10,6	5,90	11,6	222	2577
Kostřava luční	3	15,6	9,59	7,00	10,7	214	2293
Jílek vytrvalý	5	15,2	8,47	4,20	9,3	233	2162
Trojštět žlutavý	1	14,1	10,7	6,00	10,3	200	2054

Pozn.: ¹ v případě počtu odrůd většího než 1 se jedná o průměr všech odrůd

² dvouletý průměr (ve třetím užitkovém roce porost vypadl)

Průměrné roční výnosy sušiny trav v období 2009–2011 se pohybovaly v rozmezí od 9,3 t.ha⁻¹ u jílku vytrvalého do 12,8 t.ha⁻¹ u ovsíku vyvýšeného (Tab. 5). Rozpětí hodnot průměrných výnosů hodnocených sklizní bylo ještě vyšší - od 4,2 t.ha⁻¹ sušiny biomasy u jílku vytrvalého v třetím užitkovém roce, do 18,3 t.ha⁻¹ sušiny u festulolia (loloid) v prvním užitkovém roce.

Získané výsledky specifické výtěžnosti metanu jako hlavní složky bioplynu se pohybují v poměrně širokém rozmezí od 370 do 480 Nm³ na t sušiny bioplynu, resp. od 200 do 247 Nm³ na t sušiny metanu. Koncentrace metanu kolísala v rozmezí od 50 do 56 %. Odpovídající průměrné roční hektarové výnosy metanu se pohybovaly v rozmezí od 2054 Nm³.ha⁻¹ u jílku vytrvalého do 3152 Nm³.ha⁻¹ u ovsíku vyvýšeného. Druhý nejvyšší potenciální hektarový výnos metanu měl jílek mnohokvětý (3108 Nm³.ha⁻¹), i když v tomto případě se jedná pouze o dvouletý průměr s ohledem na to, že tento druh má krátkou vytrvalost. Kostřava rákosovitá dosáhla produkce metanu 3045 Nm³.ha⁻¹ metanu. Jedná se o druh s vysokou vytrvalostí (až 30 let) a proto ji lze považovat za jednu z nejperspektivnějších travních druhů pro potřeby pěstování trav s využitím pro vsázku do BPS.

Z výsledků je patrné, že nejvyšší výnosy sušiny biomasy ne vždy korelují s nejvyššími hodnotami specifické výtěžnosti metanu v bioplynu. Například bojínka luční má nejvyšší tříletý průměr výnosu sušiny biomasy (nepočítáme-li dvouletý průměr jílku mnohokvětého), ale současně jednu z nejnižších hodnot výtěžnosti bioplynu a metanu (sedmé místo s hodnotou výtěžnosti metanu 227 Nm³ na t sušiny). Travní druhy v tabulce jsou seřazeny sestupně podle potenciálního tříletého průměru ročního výnosu metanu z 1 ha (hodnoty v sloupci vpravo).

Průměrné roční výnosy sušiny sledovaných trav v období 2013–2014 se pohybovaly v rozmezí 13,74 t.ha⁻¹ u festulolia 'Bečva' do 17,92 t.ha⁻¹ u kostřavy rákosovité 'Kora', což představovalo o 30 % vyšší produkci sušiny, než bylo dosaženo u kontrolní varianty (festulium 'Bečva') viz Tab. 6. V případě směsí pro BPS se výnosy sušiny pohybovaly v hodnotách od 14,21 t.ha⁻¹ u jílkové směsi BPS 1 do 18,13 t.ha⁻¹ u směsi do suchých podmínek BPS 3 (132 % kontroly). Rozpětí dosažených průměrných výnosů hodnocených sklizní bylo nepatrně vyšší – od 12,4 t.ha⁻¹ sušiny biomasy u směsi BPS 1 do 20,63 t.ha⁻¹ sušiny u směsi BPS 3 (obě hodnoty dosaženy ve druhém užitkovém roce).

Tab. 6: Produkce sušiny travních druhů a směsí pro BPS v období 2013–2014.

Travní druh (odrůda), směs pro BPS	Roční úhrn produkce sušiny (t.ha ⁻¹)			
	2013 (4 seče)	2014 (3 seče)	průměr	relativně
FL 'Bečva'	14,54	12,93	13,74	100,0
KL 'Kolumbus'	14,29	13,98	14,14	102,8
BL 'Lema'	14,08	16,67	15,38	111,9
OV 'Median'	15,87	17,19	16,53	120,4
SL 'Vega'	16,10	18,90	17,50	127,4
KR 'Kora'	15,88	19,96	17,92	130,5
BPS 1	16,01	12,40	14,21	104,5
BPS 2	15,69	15,60	15,65	113,9
BPS 3	15,63	20,63	18,13	132,0

Pozn.: Travní druhy a směsi v tabulce jsou seřazeny vzestupně podle průměru produkce sušiny (trávy a směsi odděleně).

Celková výtěžnost bioplynu a metanu u sledovaných trav a směsí pro BPS v 1. a 2. seči 2013 se pohybovala v rozmezí 411–520 Nm³ na t sušiny bioplynu, resp. 216–272 Nm³ na t sušiny metanu (Tab. 7). V průměru hodnocených variant činila specifická výtěžnost metanu 258,1 Nm³.t⁻¹ sušiny v 1. seči, resp. 240,0 ve 2. seči, což bylo o téměř 20 Nm³.t⁻¹ sušiny méně. Specifická výtěžnost metanu u vzorků hybridů kukuřice rovněž testovaných v anaerobních fermentorech VÚRV, v.v.i., VS Chomutov se pohybovala na úrovni 300 Nm³ na t sušiny, což představuje v porovnání s průměrem hodnocených variant z 1. seče 86 % výtěžnosti kukuřice, resp. 80 % ze 2. seče.

Nejvyšší specifická výtěžnost metanu travních druhů byla v 1. seči dosažena u festulolia 'Bečva' (271,9 Nm³.t⁻¹ sušiny), resp. ve 2. seči u kostřavy rákosovité 'Kora' (262,0 Nm³.t⁻¹ sušiny). V případě směsí pro BPS bylo dosaženo nejvyšší specifická výtěžnost metanu u směsi BPS 1 s vysokým podílem jílkových trav, a to v obou hodnocených sečích (278,4; resp. 234,5 Nm³.t⁻¹ sušiny). Specifické výtěžnosti metanu u směsi BPS 1 v 1. seči předčila úroveň výtěžnosti metanu dosaženou u všech hodnocených travních druhů. Průměrná koncentrace metanu dosažená u obou sečí se pohyboval v rozmezí od 52 do 54 %.

Tab. 7: Výtěžnost bioplynu a metanu hodnocených travních druhů a směsí pro BPS z 1. a 2. seče 2013.

Travní druh, směs ¹	1. seč			2. seč		
	Celková výtěžnost bioplynu (Nm ³ .t ⁻¹ suš.)	Specifická výtěžnost metanu (Nm ³ .t ⁻¹ suš.)	Průměrná koncentrace metanu (%)	Celková výtěžnost bioplynu (Nm ³ .t ⁻¹ suš.)	Specifická výtěžnost metanu (Nm ³ .t ⁻¹ suš.)	Průměrná koncentrace metanu (%)
FL 'Bečva'	519,8	271,9	52,3	445,0	234,4	52,7
SL 'Vega'	509,3	265,6	52,2	445,0	234,4	52,7
BL 'Lema'	494,0	262,7	53,2	493,1	260,0	52,7
KL 'Kolumbus'	486,3	252,0	51,8	468,8	248,0	52,9
OV 'Median'	474,8	249,1	52,5	456,9	240,8	52,7
KR 'Kora' ²	-	-	-	498,5	262,0	52,6
směs BPS 1	534,8	278,4	52,1	445,3	234,5	52,7
směs BPS 3	477,0	254,2	53,3	433,0	229,2	52,9
směs BPS 2	426,6	230,8	54,1	411,6	216,9	52,7
průměr	490,3	258,1	52,7	455,2	240,0	52,7

Pozn.: ¹ travní druhy a směsi v tabulce jsou seřazeny sestupně podle specifické produkce bioplynu dosažené v 1. seči (trávy a směsi odděleně); ² rozbor vzorku z 1. seče nebyl z technických důvodů proveden (porucha fermentoru)

V experimentech Strašila (2011) byla dosažena produkce metanu u trav a travních porostů v rozpětí 216–264 Nm³.t⁻¹ organické sušiny, což bylo v porovnání s kukuřicí (342–368), resp. tritikale (275) méně; to však neznamená, že trávy a luční porosty nejsou vhodným substrátem do bioplynových stanic. Je na provozovateli zemědělské BPS, pro jaký substrát se v závislosti na struktuře jeho zemědělské činnosti a pěstovaných plodin rozhodne. Nezbytné však je zabezpečit celoroční provoz bioplynové stanice vsázkou kvalitního substrátu. Ušřák (2014) zjistil při srovnávání siláží kukuřice s 11 druhy trav i jiných bylin v letech 2009–2012 produkci metanu u kukuřice 290 Nm³.t⁻¹ sušiny a u kostřavy rákosovité 265 Nm³.t⁻¹ sušiny, tj. 91 % výtěžnosti metanu z kukuřičné siláže. Weisbach (2008) prováděl laboratorní analýzy velkých souborů porostů kukuřice, obilovin, vojtěšky a trav z TPP i TP na pěstovaných na orné půdě. Uvádí produkci metanu u kukuřice na úrovni 327–335 Nm³.t⁻¹ organické sušiny, u intenzivních trav 368 Nm³.t⁻¹ organické sušiny, ale u extenzivních trav 240 Nm³.t⁻¹ organické sušiny.

4.3. Provozní zkušenosti při přechodu substrátu kukuřičné siláže na travní senáž

V poloprovozních pokusech na stanovišti Jevíčko byla vyhodnocena výroba elektrické energie na základě vsázky na bázi kukuřičné siláže v porovnání se siláží z TTP a bilanci výroby elektrické energie ve vztahu k vstupní sušině.

Tab. 8: Složení substrátu do BPS HZS Jevíčko a.s. s instalovaným výkonem 2 MW v roce 2014 a průměrná denní výroba elektřiny při přechodu z kukuřičné siláže na travní senáž.

Měsíc	Složení vsázky	Denní množství vsázky (t)	Průměrná denní výroba elektřiny (MWh)
květen	kukuřičná siláž	50	46,8
	travní senáž	20	
	cukr. řízky	40	
	kejda skotu (m ³)	50	
červen	kukuřičná siláž	10	46,0
	travní senáž	48	
	píce z travních porostů	58	
	kejda skotu (m ³)	50	
červenec	travní senáž	60	42,4
	obilní odpad	4	
	píce z travních porostů	60	
	kejda skotu (m ³)	50	
srpen	travní senáž	30	43,6
	GPS na bázi žita	40	
	píce z travních porostů	40	
	kejda skotu (m ³)	50	

Hanácká zemědělská společnost Jevíčko a.s., v zemědělské BPS s prizmatickými fermentory fy ENSERV o instalovaném výkonu 2 MW vyrobila v roce 2013 cca 14 980 MWh hrubé elektřiny. V roce 2013 se průměrný denní substrát skládal ze 40 t travní senáže, 46 t kukuřičné siláže, 25 t GPS na bázi ozimého žita a 50 m³ kejdy skotu. Denní výroba elektřiny dosahovala 46–48 MWh el. energie a pohybovala se na hranici smluvně sjednané dodávky do sítě (Jurka 2014).

V Tab. 8 je uvedeno složení vsázky do zemědělské BPS v roce 2014, v modifikaci jak na bázi silážní kukuřice, tak píce z travních porostů, resp. jejich kombinace.

Z dosažených výsledků je patrné, že množstvím vsázky a využitím náběhové křivky tvorby bioplynu ve fermentoru se podařilo udržet plánovaný výkon na stejné úrovni, jako byl substrát na bázi kukuřičné siláže z počátku května. Tyto provozní poznatky jsou cenné pro další provoz BPS, protože ukázaly její velkou flexibilitu a vhodnost pro různé materiály rostlinné produkce a to jak konzervované, tak v čerstvém stavu.

5. Ekonomický přínos metodiky

V systému pěstování a využití energetických plodin na bioplyn je rozhodující cena vypěstované biomasy a náklady na její pěstování. Důležité jsou jak hektarové výnosy fytomasy a produkce metanu z 1 ha, tak i hodnocení výrobních nákladů na jejich produkci (Prochnow et al. 2009b; Havlíčková et al. 2010). V Tab. 9 je provedena analýza výrobních nákladů (v průměru ČR) na pěstování a produkci metanu vytrvalých trav v porovnání s kukuřicí setou. Pro kukuřici setou jsou uvedeny ve dvou variantách, odpovídajících standardním a intenzivním technologickým postupům pěstování, lišících se ve výnosech i v nákladech. Obdobně jsou porovnány výrobní náklady u vytrvalých trav při jednosečném a dvousečném využití. Celkové náklady na základní přípravu půdy a založení travních porostů byly vypočítány na cca 12,8 tisíc Kč a byly rozpočítány pro následujících 10 let pěstování (Kohoutek et al. 2015).

Tab. 9: Hodnocení výrobních nákladů na pěstování vytrvalých trav na krmivo a bioplyn v přepočtu na výnos nadzemní biomasy.

Hodnocené plodiny	Výnos fytomasy z 1 ha		Průměrná výtěžnost CH ₄ , Nm ³ /t suš. fytomasy	Průměrný výnos CH ₄ , Nm ³ /ha	Celkové náklady produkce fytomasy v přepočtu na 1 ha (Kč/ha za rok) včetně založení	
	původní hmotnost (t)	sušina (t)			odběr na poli	včetně konzervace a uskladnění
Kukuřice setá (stand. technologie)	40	12,8	282	3 610	21 380	23 797
Kukuřice setá (intenz. technologie)	55	17,6	282	4 963	24 587	27 367
Vytrvalé trávy (jedná seč)	27	8	217	1 736	10 176	12 772
Vytrvalé trávy (dvě seče)	37	11	220	2 420	12 870	17 914

Hodnocené plodiny	Celkové náklady v přepočtu na 1 t produkce fytomasy (Kč/t suš.) včetně založení		Měrné náklady v přepočtu na výtěžek metanu (Kč/Nm ³ CH ₄) včetně založení		Průměrné ztráty při silážování, % sušiny	Cena metanu ze siláže korigovaný ztrátou sušiny siláže (Kč/Nm ³ CH ₄)
	odběr na poli	včetně konzervace a uskladnění	odběr na poli	včetně konzervace a uskladnění		
Kukuřice setá (stand. technologie)	1 670	1 859	5,92	6,59	4	6,87
Kukuřice setá (intenz. technologie)	1 397	1 555	4,95	5,51	4	5,74
Vytrvalé trávy (jedná seč)	1 272	1 597	5,86	7,36	10	8,17
Vytrvalé trávy (dvě seče)	1 170	1 629	5,32	7,40	10	8,22

Pozn.: V tabulce nejsou zahrnuty žádné dotace; pro stanovení výrobních nákladů byly použity „Normativy pro zemědělskou a potravinářskou výrobu“ (<http://www.agronormativy.cz>) a expertní systémy Výzkumného ústavu zemědělské techniky („Provozní náklady zemědělských strojů“ a „Technologie a ekonomie plodin“).

Z uvedených výsledků je patrné, že vytrvalé trávy dosahují nižších výnosů a celkové potenciální produkce metanu v přepočtu na 1 ha než kukuřice setá, ale cenově tato produkce vychází výrazně levněji, a to jak v přepočtu na siláž, tak i na metan (viz 1. část *Tab. 9*, sloupec vpravo). Pro objektivnost byla provedena korekce měrných nákladů produkce siláže v přepočtu na metan snižená o ztrátu při silážování, které jsou u vytrvalých trav vyšší než u kukuřice (viz 2. část *Tab. 9*, sloupec vpravo). Cenové ekvivalenty nákladů na jednotku metanu se u dražších variant výrazně neliší, zatím co a u levnějších variant jsou tyto náklady nižší u trav. Závěrem lze říct, že trávy mají nižší výrobní náklady na jednotku produkce sušiny fytomasy a přepočteného výtěžku metanu, především ve variantě jednorázové sklizně.

Problémem však je druhý rozhodující faktor - intenzita produkce fytomasy na bioplyn, vyjádřená celkovým výnosem buď sušiny fytomasy, nebo ekvivalentního množství metanu z 1 ha. To znamená, že při využití vytrvalých trav sice snížíme náklady na jednotku produkce, ale současně snížíme intenzitu využití pozemků s ohledem na jejich nižší produktivitu (tj. na produkci stejného množství fytomasy nebo metanu budeme potřebovat větší plochy). To si můžeme dovolit především v případě lokalit, kde pěstovat kukuřici nesmíme nebo nemůžeme (např. výše položené oblasti, svažité pozemky apod.), a kde vystačíme i s extenzivní výrobou biomasy na bioplyn. Na rozdíl od kukuřice mají trávy jednu velmi důležitou výhodu, a to protierozní a zúrodnující efekt při jejich pěstování. Z toho důvodu jsou vytrvalé trávy vhodné pro pěstování na bioplyn nebo na krmivo v oblastech a na půdách s méně příznivými půdně-klimatickými podmínkami, včetně erozně ohrožených půd.

6. Srovnání novosti postupů a uplatnění metodiky

V předložené metodice jsou zahrnuty kromě vlastních, nově získaných poznatků i současné údaje ze světové literatury. V metodice jsou charakterizovány vybrané druhy trav a jejich směsky potenciálně vhodné pro energetické využití v BPS jako náhrada substrátu pro bioplynové stanice za kukuřici setou v řepařských a bramborářských (bramborářsko-obilnářský typ) výrobních oblastech v ČR s cílem pozitivně ovlivnit ochranu životního prostředí (snížení působení vodní eroze na obdělávaných půdách v důsledku nižší výměry pěstované kukuřice). Jsou popsány aspekty a postupy, které mohou ovlivnit výslednou produkci a kvalitu fytohmoty vybraných druhů trav a jejich směsek z hlediska energetického využití pro výrobu bioplynu. Metodika posuzuje i ekonomické aspekty pěstování a využití plodin (kukuřice setá x trávy a její směsky) pro energetické účely.

Ověřené výsledky substrátů na bázi zavadlých travních siláží pěstovaných intenzivním (2–3 sečným) způsobem do BPS prokazují možnost náhrady siláže kukuřice seté, aniž by byla snížena výkonnost BPS (nosné travní druhy tuzemského pícního sortimentu trav dosahují v optimální sklizňové zralosti výtěžnosti metanu 230–270 Nm³.t⁻¹ sušiny). Při částečně nižší výtěžnosti metanu u zavadlých travních siláží oproti kukuřici seté se zvyšuje vsázka substrátu zavadlé travní siláže, aby se dosáhlo instalovaného výkonu BPS a požadované denní výroby elektrické energie. Poznatky z provozního testování jsou cenné i v budoucnosti, protože ukázaly velkou flexibilitu BPS a možnost využitelnosti různých materiálů rostlinné produkce, a to jak konzervované, tak v čerstvém stavu.

Metodika je určena širokému okruhu uživatelů, její uplatnění bude u subjektů hospodařících na orné půdě a trvalých travních porostech v konvenčním i ekologickém zemědělství (nejen z podniků zemědělské prvovýroby, především uživatelů bioplynových stanic), dále u zemědělských poradců v poradenském systému MZe ČR apod. Může sloužit k zásadním strategickým rozhodnutím pro zařazení energeticky využitelných trav a jejich směsek, pro výběr vhodných druhů a technologií transformace energie z fytohmoty. Předložené poznatky rovněž využijí pracovníci státní správy, studenti a pedagogové středních i vysokých škol, aj.

7. Seznam publikací, které předcházely metodice

- Houdek I., Kohoutek A., Ust'ak S. (2015): Produkce bioplynu ze siláží z píce prvních sečí vybraných travní druhů a směsí. Úroda 12, roč. LXIII, vědecká příloha, s. 99-104. ISSN 0139-6013.
- Jurka M. (2013): Konverze vsázky z TTP bioplynovou stanicí s prizmatickými fermentory. In: Nové technologie přísevů do TTP pro zlepšení kvality píce a využití v bioplynových stanicích, VÚRV, v.v.i, VS Jevíčko, Jevíčko 4. 6. 2013.
- Jurka M., Kohoutek A., Nerušil P. (2014): Konverze vsázky z TTP bioplynovou stanicí s prizmatickými fermentory. In: POZDÍŠEK, J., KOHOUTEK, A. (eds.). *Reintenzifikace travních porostů - základ výroby kvalitní píce pro živočišnou výrobu a vsázku do BPS*. Sborník příspěvků ze semináře s mezinárodní účastí, VÚCHS, s.r.o., Rapotín, 19.11.2014, str. 70- 74. ISBN 978-80-87144-28-2.
- Kohoutek A. (2014): Obhospodařování a využívání TTP v období reintenzifikace rostlinné výroby. In: POZDÍŠEK, J., KOHOUTEK, A. (eds.). *Reintenzifikace travních porostů - základ výroby kvalitní píce pro živočišnou výrobu a vsázku do BPS*. Sborník příspěvků ze semináře s mezinárodní účastí, VÚCHS, s.r.o., Rapotín, 19.11.2014, str. 16 – 29. ISBN 978-80-87144-28-2.
- Kohoutek A. a kol. (2015): Výtěžnost bioplynu u vybraných odrůd trav, jetelovin a jetelovino-travních směsek perspektivních pro pěstování náhradou za kukuřici setou. Uplatněná certifikovaná metodika. Hanácká zemědělská společnost Jevíčko a.s., 24 s.
- Kohoutek A., Ust'ak S., Muñoz J., Odstrčilová V., Novák K., Nerušil P., Němcová P. (2014): Biogas production potential of selected grass species used to restore grasslands. In: JAMBOR, V. et al. (eds.). *Forage Conservation*. Proc. of the 16th International Symposium, BRNO, 3 – 6th June 2014, pp. 113-115. ISBN 978-80-7375-975-9.
- Ust'ak S., Kohoutek A. (2015): Směsný substrát optimalizovaný pro produkci bioplynu. Užitečný vzor č. 28587, Úřad průmyslového vlastnictví Praha.
- Ust'ak S., Kohoutek A., Muñoz J., Odstrčilová V., Komárek P., Nerušil P., Němcová P. (2013): Potential production of biogas of selected grassland species from renovated grasslands. In: Helgadóttir Á., Hopkins A. (eds.). *The role of Grasslands in less Favoured Areas*, Proc. of the 17th Symposium of the Europ. Grassl. Fed., Grassl. Science in Europe, vol. 18, Akureyri, Iceland, 23-26 June 2013, pp. 572-574. ISBN 978-9979-881-20-9.

8. Literatura

- ANONYMOUS (2006): VDI 4630 - Vergärung organischer Stoffe (German Guideline: Fermentation of organic materials – Characterisation of the substrate, sampling, collection of material data, fermentation tests). Berlin, Beuth Verlag GmbH.
- ERÚ (2013): Roční zpráva o provozu ES ČR 2012. Energetický regulační úřad, 30 s.
- ERÚ (2014): Roční zpráva o provozu ES ČR 2013. Energetický regulační úřad, 29 s.
- ERÚ (2015): Roční zpráva o provozu ES ČR 2014. Energetický regulační úřad, 35 s.
- Fiala J., Kohoutek A., Klír J. (2007): Výživa a hnojení travních a jetelotravních porostů. Výzkumný ústav rostlinné výroby, Praha, 36 s. ISBN 978-80-87011-25-6.
- Frydrych J., Cagaš B., Machač J. (2001): Energetické využití některých travních druhů. 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.
- Havlíčková K. a kol. (2010): Analýza potenciálu biomasy v České republice. VÚKOZ, Průhonice, 498 s.
- Heinsoo K., Melts I., Kull T. (2015): Agricultural Bioenergy Production. In: E. Lichtfouse (ed.) Sustainable Agriculture Reviews, Sustainable Agriculture Reviews 18, Springer International Publishing Switzerland, p. 77–106.
- 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.
- Hrabě F. a kol. (2004): Trávy a jetelovino-trávy v zemědělské praxi. Agrární obzor, Olomouc, 149 s. ISBN 80-903275-1-6.
- Kalač P. (2011): The required characteristics of ensiled crops used as a feedstock for biogas production: a review. Journal of Agrobiology 28(2): 85–96.
- Kára J. a kol. (1997): Výroba a využití bioplynu v zemědělství. Vyd. 1. Praha: VÚZT, 117 s. ISBN 978-80-86884-28-8.
- 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. Závěrečná zpráva VÚZT Praha, projektu QD 1209, 121 s.
- Klesnil A. a kol. (1978): Intenzivní výroba píce. SZN Praha, 378 s.
- 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.
- Kohoutek A., Odstrčilová V., Nerušil P., Komárek P., 2007: Obnova trvalých travních porostů v LFA. Výzkumný ústav rostlinné výroby, v. v. i., Praha, 24 s. ISBN 978-80-87011-29-4.
- Lošák T., Dostál J. (2014): Organická hmota v půdě - předpoklad úspěšného využití digestátu při hnojení plodin. In Ochrana půdy. 1. vyd. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, o.s., s. 1-9. ISBN 978-80-87226-29-2.
- Marada P., Večeřová V., Kamarád L., Dundálková P., Mareček J. (2008) Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem. In: EAgri [online]. 2008 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf

- Niemelainen O., Jauhiainen L., Niettinen E. (2001): Yield profile of tall fescue (*Festuca pratensis*) in Finland. *Grass and Forage Science*, vol. 56, no. 3, s. 249–258.
- Petřík M. a kol. (1987): Intenzivní pícninářství. Státní zemědělské nakladatelství Praha, 473 s.
- Prochnow A., Heiermann M., Idler C., Linke B., Plöchl M., Amon T., Langeveld H. and Hobbs P. (2008): Biogas yields from grassland. *Grassland Science in Europe* 13, 727–729.
- Prochnow A., Heiermann M., Plöchl M., Amon T., Hobbs P.J. (2009a): Bioenergy from permanent grassland – a review: 2. Combustion. *Bioresour. Technol.*, 100, 4945–4954.
- Prochnow A., Heiermann M., Plöchl M., Linke B., Idler C., Amon T. and Hobbs P. (2009b): Bioenergy from permanent grassland – a review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*, 100, 4931–4944.
- Schulz H., Eder B. (2004): Bioplyn v praxi. 1. české vyd. Ostrava: HEL, 168 s. ISBN 80-86167-21-6.
- Skládanka J. a kol. (2014): Pícninářství, 1. vyd. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 368 s. ISBN 978-80-7509-111-6.
- Smatanová M. (2015). Použití digestátu a kompostu Použití digestátu a kompostu na zemědělské půdě, na zemědělské půdě, legislativa, registrace, výsledky pokusů. In: <http://www.zeraagency.eu> [online]. 2015 [cit. 2016-03-04]. Dostupné z: http://www.zeraagency.eu/dokumenty/008011002/22_ukzuz_smatanova_dg_zera_smatanova_9_15.pdf
- Stražil 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.
- Stražil Z. a kol. (2011): Trávy jako energetická surovina. Uplatněná metodika pro zemědělskou praxi. Vyd. 1 Praha, VÚRV, v.v.i. Praha-Ruzyně, 36 s.
- Ust'ak S., Muñoz J., Novák K., Ust'aková M., Jambor V. (2014): Non-traditional Crops Prospective for Biogas Production. In: Jambor V. et al. (eds.). *Forage Conservation. Proc. of the 16th International Symposium*, Brno, 3–6th June 2014, pp. 117–120. ISBN 978-80-7375-975-9.
- Weisbach F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. *Landtechnik* 6/2008, pp. 356–358.
- Zimolka J. a kol. (2008): Kukuřice: hlavní a alternativní užitkové směry. 1. vyd. Praha: Profi Press, 200 s. ISBN 978-80-86726-31-1.

ČESKÁ REPUBLIKA. Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. In: *Sbírka zákonů*. 2012, 89/2012.

ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv. In: *Sbírka zákonů*. 2013, 149/2013.

ČESKÁ REPUBLIKA. Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. In: *Sbírka zákonů*. 2000, 137/2000.

ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech). In: *Sbírka zákonů*. 1998, 54/1998.

ČESKÁ REPUBLIKA. Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů. In: *Sbírka zákonů*. 2012, 59/2012.

www.agronormativy.cz

www.agrozetshop.cz

www.eagri.cz
www.eru.cz
www.smscz.cz
www.vuzt.cz

Seznam obrázků, tabulek a zkratek

Seznam obrázků

Obr. 1: Luční brány 8-4RBH (<http://www.agrozetshop.cz/lucni-brany-8-4rbh/d-131358-c-2358/>).

Obr. 2: Luční vály LV 520 (<http://www.smscz.cz/zemedelske-stroje/cz/produkty/valy/lucni-valy-lvx-lvxt/>).

Seznam tabulek

Tab. 1: Vývoj osevních ploch kukuřice seté v ČR v letech 1980–2015.

Tab. 2: Doporučované výsevky při stoprocentní užitné hodnotě osiva pro založení čisté kultury vybraných trav a jejich směsek (DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice s.r.o.).

Tab. 3: Složení travních směsí s využitím pro BPS (DLF - TRIFOLIUM Hladké Životice s.r.o.).

Tab. 4: Průměrný přívod živin do půdy ve statkových hnojivech v kg.t^{-1} dle Vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 274/1998 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, příloha č. 2.

Tab. 5: Produkce sušiny, výtěžnost metanu a potenciální produkce metanu hodnocených travních druhů v období 2009–2011.

Tab. 6: Produkce sušiny travních druhů a směsí pro BPS v období 2013–2014.

Tab. 7: Výtěžnost bioplynu a metanu hodnocených travních druhů a směsí pro BPS z 1. a 2. seče 2013.

Tab. 8: Složení substrátu do BPS HZS Jevíčko a.s. s instalovaným výkonem 2 MW v roce 2014 a průměrná denní výroba elektřiny při přechodu z kukuřičné siláže na travní senáž.

Tab. 9: Hodnocení výrobních nákladů na pěstování vytrvalých trav na krmivo a bioplyn v přepočtu na výnos nadzemní biomasy.

Seznam zkratek

BPS - bioplynová stanice

CO₂ - oxid uhličitý

ČR - Česká republika

ČSÚ - Český statistický úřad

ERÚ - Energetický regulační úřad

EU - Evropská unie

GWh - gigawatthodina

H₂ - vodík

H₂S - sirovodík

CH₄ - metan

K - draslík

kWh - kilowatthodina

LAV - ledek amonný s vápencem

Mg - hořčík

MZe - Ministerstvo zemědělství ČR

N₂ - dusík

OZE - obnovitelné zdroje energie

P - fosfor

pH - záporný dekadický logaritmus vodíkových iontů

TP - travní porost

TTP - trvalý travní porost

VÚRV, v.v.i. - Výzkumný ústav rostlinné výroby

Název: Pěstování, produkce a kvalita píce vybraných odrůd trav a jejich směsek pěstovaných jako náhrada substrátu pro bioplynové stanice za kukuřicí setou

Autoři: Pavel Nerušil, Ladislav Menšík, Ivan Houdek, Miroslav Jurka, Zdeněk Stražil, Alois Kohoutek

Vydal: Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha - Ruzyně

Tisk: Vydavatelství Mendelovy univerzity v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vydání: rok 2016

Počet stran: 27

Náklad: 100 ks

ISBN 978-80-7427-200-4