

# NETRADIČNÍ PÍCNINA ŠŤOVÍK KRMNÝ JAKO VHODNÁ SUROVINA PRO VÝROBU BIOPLYNU

NON-TRADITIONAL FODDER SORREL AS SUITABLE RAW MATERIAL FOR BIOGAS PRODUCTION

S. Ust'ak, J. Váňa, V. Petříková

Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i., Praha

## Abstract

It was shown, that the multiplicative cutting of fodder sorrel provides higher yields of green biomass per weight of dry matter, compared with a single harvest of dry biomass, which reaches about 10 tonnes of dry matter per Ha. The corresponding production of methane as the main energy component of biogas from the harvested green biomass of fodder sorrel amounting up to  $3600 \text{ m}^3 \cdot \text{Ha}^{-1}$ . The greater number of cuts allows more frequent application of digestate from biogas production, which in turn provides more suitable conditions for crop growing. The specific methane production of fodder sorrel was determined to an average of  $284 \text{ l} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$  at silage and  $362 \text{ l} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ DM}$  at fresh green biomass. The substitution of corn silage with fodder sorrel for biogas purposes can be recommended on sloping land and in locations with cooler climatic conditions.

**Keywords:** non-traditional crops; forage for biogas; fodder sorrel; specific methane production; model calculations

## ÚVOD

Šťovík krmný je netradiční pícnina vyšlechtěná na Ukrajině. Jedná se o křížence šťovíku zahradního *Rumex patientia* L. (mateřská linie) a šťovíku ťanšanského *Rumex tianschanicus* A.Los. (otcovská linie), který byl vyšlechtěn metodou víceletého výběru. Původně byl označován jako „Rumex OK2“ a v ČR je rovněž známý jako „šťovík Uteuša“ (Ust'ak, 2003; Ust'ak et al., 2004). V současné době je tato plodina registrována pod názvem „schavnat“ a číslem EU 21629 k ochraně odrůdových práv u Evropského Společenství v souladu s nařízením Rady (ES) č. 2100/94 o odrůdových právech Společenství (Ust'ak, 2007). V České republice bylo pěstování krmného šťovíku zahájeno před 11 lety za účelem jeho energetického využití (Petříková, 2006), zejména jako paliva pro vytápění budov. Krmný šťovík je rostlina vytrvalá a předpoklad životnosti plantáže při správné agrotechnice je 10 – 15 let. Ve srovnání s jednoletými pícninami u šťovíku odpadají každoroční náklady na nákup osiva, na zpracování půdy a setí. Šťovík obrůstá brzy na jaře a jeho porost spolehlivě chrání půdu před erosi. Dobré zkušenosti se zkrmováním zelené hmoty a siláže vyrobené ze šťovíku (Petříková, 2010) dávají předpoklad využití biomasy šťovíku pro výrobu bioplynu (Petříková, 2009a). Krmný šťovík by mohl výhodně substituovat silážní kukuřici na svažitéch pozemcích a v chladných polohách.

O ověření biozplynování šťovíku je k dispozici málo spolehlivých literárních údajů. Prvními laboratorními testy bylo zjištěno, že přidavek biomasy šťovíku do kejdy ve fermentačním pokusu zvyšuje kumulativní produkci metanu a bioplynu za období 25 dnů stejně jako přidavek biomasy silážní kukuřice (Kára, Petříková, 2008). Při ověřování využití šťovíkové siláže na bioplynové stanici Prosečná v roce 2009 bylo zjištěno (Petříková, 2009b), že šťovíková siláž úspěšně alternovala jak kukuřičnou siláž, tak i

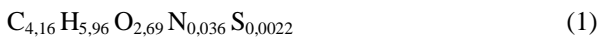
travní senáž aniž by došlo ke snížení produkce bioplynu a vyrobené elektrické energie. Uvedená ověření je nutno považovat pouze za orientační, neboť přesná měření produkce bioplynu je nezbytné provádět minimálně po dobu dvou měsíců, kdy se bioplyn z rostlinného substrátu efektivně uvolňuje. Rovněž chybí informace o možném potenciálu výroby metanu a bioplynu při různém období sklizně, což je u krmného šťovíku zvláště důležité, neboť sklizeň se provádí ve 2 – 3 sečích. Cílem našeho sdělení je zveřejnění chybějících informací o potenciálu výroby bioplynu z biomasy šťovíku při sklizni v různých stadiích růstu a jeho srovnání s dalšími energetickými rostlinami využívanými k výrobě bioplynu.

## MATERIÁL A METODIKA

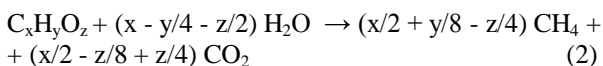
Pro hodnocení potenciální produkce bioplynu z biomasy šťovíku při sklizni v různých stadiích růstu byly využity výsledky ze sledování využití konzervované biomasy této plodiny na ekofarmě v podhorské oblasti v lokalitě Králíky. Na tříletém porostu šťovíku o ploše cca 30 ha byly v roce 2009 provedeny 3 seče a sklizená biomasa byla konzervována v balících. Hlavním účelem sledování byl vliv zkrmování konzervované biomasy šťovíku na dojivost a tučnost mléka (Petříková, 2010). Dynamika růstu a výnosy v jednotlivých fázích vývoje rostlin byly sledovány od 25. dubna do 1. června. Zároveň byly prováděny krmivářské rozborů (Tyrolová, Petříková, Výborná, 2010). Celkový roční výnos biomasy šťovíku byl zjištěn jako součet 3 sečí. První seč byla provedena 1.6.09, druhá 10.7.09 a třetí 22.8.09. Porost byl posečen bubnovou sekačkou s mačkačem píce a ponechán dva dni na řádcích k zavadnutí na sušinu minimálně 30% a pak sklizen sběrací řezačkou a zvážen.

Nejjistějším a nejuznávanějším způsobem stanovení potenciální produkce bioplynu (potažmo metanu jako jeho hlavní energetické složky) z toho či jiného substrátu jsou přímé experimentální testy. V případě že podobné testy nebyly provedeny, lze s tou či jinou mírou přesnosti provést kvalifikovaný odhad, a to na základě modelových výpočtů, zejména pokud jsou k dispozici základní agrochemické rozborů krmivářské kvality, jako je tomu v našem případě. Pro výpočty potenciální produkce bioplynu z konkrétního typu organického substrátu lze v zásadě použít 4 základní postupy: 1) tabulkové údaje získané na základě statistického zpracování většího počtu údajů z laboratorních experimentů nebo z praxe; 2) výpočet na základě stechiometrických rovnic podle elementárního složení substrátu, zejména obsahu základních prvků organické hmoty, tj. C, H a O, eventuálně dalších důležitých prvků, především N a S (Straka, 2006; Dohányos, 2009; Zábranská, 2009); 3) výpočet teoretické produkce bioplynu (metanu) dle komponentního složení substrátu, tj. obsahu jednotlivých skupin organických látek, především obsahu základních skupin polysacharidů, lipidů, proteinů apod. a tabulkových hodnot jejich specifické produkce bioplynu; 4) podle regresních nebo jiných matematických modelů vypočítaných na základě porovnání experimentálně stanovených hodnot produkce bioplynu a souboru ukazatelů chemických rozborů, např. krmivářských hodnot.

Na základě dostupných literárních a vlastních experimentálních údajů jsme provedli výpočty podle všech zmíněných postupů. Pro výpočty dle postupu č. 1 jsme použili průměrnou hodnotu specifické produkce metanu ze siláže šťovíku krmného z vlastních předchozích experimentů, která byla stanovená na 284 l\*kg suš.<sup>-1</sup> s rozpětím 264 -303 l\*kg suš.<sup>-1</sup> (zde a dále je objem metanu nebo bioplynu uveden v přepočtu na tzv. normální podmínky, tj. teplotu 273 °K a tlak 1013 mbar). Pro výpočty teoretické produkce metanu jsme použili elementární složení šťovíku z literárních údajů (Straka et al., 2007), které lze po přepočtu procentuálního obsahu na počet atomů jednotlivých základních prvků souhrnně vyjádřit takto:



Pro výpočty byla použita obecná stechiometrická rovnice vzniku metanu, kterou lze vyjádřit následujícím způsobem::



Ze vztahu (2) vyplývá, že z jedné molekuly obecného organického substrátu o sumárním vzorci C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>O<sub>z</sub> vzniká (x/2 + y/8 - z/4) molekul CH<sub>4</sub>. Vztažením teoretického obsahu metanu na 1 atom uhlíku dostáváme jeho koncentrací. Teoretická produkce metanu pro uvedené elementární složení (1) byla vypočtena na 482 l.kg suš.<sup>-1</sup> šťovíku a průměrná koncentrace CH<sub>4</sub> na 51,83 % obj. vyprodukovaného bioplynu.

Pro výpočty dle komponentního složení substrátu podle postupu č. 3 jsme použili následující námi stanovené průměrné hodnoty produkce metanu: 1) hrubý protein neboli dusíkaté látky - 497 l.kg<sup>-1</sup>; 2) hrubé tuky - 918 l.kg<sup>-1</sup>; 3) monosacharidy a další bezdusíkaté extrahovatelné látky - 363 l.kg<sup>-1</sup>; 4) polysacharidy, např. škrob, vláknina apod. - 401 l.kg<sup>-1</sup>. V případě vlákniny provádíme korekci na nerozložitelný podíl (lignin a podobné látky), který v průměru dosahuje 20 %, a to vynásobením odpovídajícím faktorem 0,8. Výsledná rovnice pro výpočet specifické produkce metanu na základně základních krmivářských rozborů vypadá takto:

$$SPM_{suš.} = 4,97XP + 9,18XL + 3,63XX + 4,01XF * 0,8 \quad (3)$$

kde SPM<sub>suš.</sub> je specifická produkce metanu (l\*kg suš.<sup>-1</sup>), XP je obsah dusíkatých látek v % celkové sušiny biomasy (dále označené jako % suš.), XL je obsah tuku v % suš., XX je obsah extrahovatelných bezdusíkatých látek v % suš. a XF je obsah vlákniny v % suš.

Použití postupu č. 4 vzhledem k jeho složitosti vyžaduje podrobnější komentář. Pro stanovení potenciální produkce metanu z biomasy energetických rostlin ze zjištěných krmivářských hodnot existuje řada matematických modelů (Keymer, 1999; Edelman, 2004; Herrman, 2007; Heiermann et al., 2009; Darnhofer, Eder, 2009), využívajících odlišné parametry krmivářských rozborů (ADF, NDF, obsah ligninu apod.). Podle dostupných literárních zdrojů, nejvyšší shodu vypočítaných hodnot s experimentálně zjištěnými výsledky dosahuje pro energetické rostliny s výjimkou travní a jetelotravní biomasy model podle Amon et al. 2006a. Ve prospěch zvoleného modelu svědčí i ten fakt, že jeho teoretický podklad vychází z ověření poznatku, že energie vyprodukovaného metanu je dána kalorimetricky zjištěnou brutoenergií vstupního substrátu (vsázky) sníženou o energii v neodbouratelném organickém podílu a v mikrobiální biomase a dále sníženou o energii spotřebovanou aktivitou mikroorganismů (tzv. fermentační teplo). Dalším zjištěním je, že u většiny biozplynované biomasy energetických rostlin, představuje kalorimetricky zjištěná energie digestátu 7% vstupní energie vsázky a fermentační teplo je prakticky konstantní ve výši 5 % vstupní energie vsázky. Při tom základní údaje o specifické produkci metanu byly zjišťovány v laboratorním vsádkovém fermentoru po dobu 60 dnů při teplotě 37 – 39 °C a při pravidelném míchání 50 g sušiny rostlinné biomasy a 400 g inokula (po 10 minutách za 1 hod). Další podrobnosti o tomto testu a použitém zařízení jsou uvedeny v normativním předpisu DIN Norm 38414 (S8). Uvedeným způsobem byly na odborných pracovištích v Rakousku a Bavorsku testovány stovky vzorků odrůd energetických rostlin, zejména silážní kukuřice, širokú, prosa, GPS obilovin a olejnin a to v různých fázích sklizňové zralosti v čerstvé, konzervované nebo jinak upravované biomase. Tím vznikla rozsáhlá databáze energetických, krmivářských a výnosových parametrů (Amon et al, 2003a, 2004, 2005, 2007) z které vyplývá

statisticky průkazná závislost potenciální produkce metanu ze siláže energetických plodin, především kukuřice (Amon et al., 2003b) :

$$MEV = 15,27XP + 28,38XL + 1,12XX + 4,54XF, \quad (4)$$

kde MEV je produkce metanu v litrech z 1 kg organické sušiny biomasy (MEV je zkratkou z anglického „methane equivalent value“), XP je obsah dusíkatých látek v % celkové sušiny biomasy (dále označené jako % suš.), XL je obsah tuku v % suš., XX je obsah extrahovatelných bezdusíkatých látek v % suš. a XF je obsah vlákniny v % suš. Pro převod zjištěné hodnoty MEV z organické na celkovou sušinu použijeme faktor org. sušiny, tj. poměr organické sušiny k sušině celkové. U většiny rostlinných materiálů se tento faktor pohybuje v rozmezí 0,88 - 0,92.

S využitím hodnot obsahu popele při 550 °C lze hodnotu  $MEV_{suš.}$  vypočítat takto:

$$MEV_{suš.} = (15,27XP + 28,38XL + 1,12XX + 4,54XF) * (100 - XA) / 100, \quad (5)$$

kde  $MEV_{suš.}$  je specifická produkce metanu v  $l \cdot kg^{-1}$  suš. biomasy, XA je obsah popele v % suš., ostatní zkratky jsou jako u rovnice (4).

Tento model byl vypracován pro kukuřici, ale dle sdělení jeho autorů lze tento model úspěšně aplikovat i na některé netradiční píceiny při hodnocení jejich potenciálního využití na bioplyn. Například, podle sdělení Amon et al., 2006b byl uvedený model úspěšně použit při hodnocení potenciální produkce

metanu u amarantu v různých sklizňových fázích, a proto podobný metodický postup byl námi zvolen při hodnocení potenciální produkce metanu u šťovíku krmného.

Na základě získaných výnosových údajů v sušině a zjištěné krmivářské kvality s využitím zjištěných hodnot obsahu dusíkatých látek v % suš. (XP), obsahu tuku v % suš. (XL), obsahu extrahovatelných bezdusíkatých látek v % suš. (XX) a z obsahu vlákniny v % suš. (XF), použitých jako proměnné v matematickém modelu podle Amon et al., 2006a byla vypočtena potenciální produkce metanu v litrech z 1 kg sušiny (MEV) a z 1 ha sklizené plochy. Výsledné hodnoty potenciální produkce metanu biomasy šťovíku byly srovnány s dostupnými údaji jiných energetických rostlin a především odrůd silážní kukuřice šlechtěné na maximální produkci metanu. Energetické rostliny jsou na zahraničních pracovištích na základě výše uvedených parametrů běžně testovány (Keiser, 2007) a zároveň se hledá nejvýhodnější sklizňový termín k poskytnutí maximální produkce metanu ze sklizené plochy (Minihuber, 2007).

## VÝSLEDKY A DISKUSE

Výzkumné práce na třiletém porostu šťovíku krmného v lokalitě Králíky byly v roce 2009 zahájeny 25.4 postupnými 5 odběry biomasy se zjišťováním krmivářských výnosových a energetických parametrů (tab. 1), které v 5 termínech trvaly až do 26.5. Dne 1.6.09 byla provedena 1. seč celého porostu bubnovou sekačkou s mačkačem píce a s dosušením biomasy na 30 % sušiny.

Tab. 1 – Výnos biomasy, dynamika růstu, obsah sledovaných látek a vypočtená produkce metanu postupně sklizené biomasy krmného šťovíku.

Parametr	Jednotka	D a t u m o d b ě r u				
		25.4.	5.5.	12. 5.	20. 5.	26.5.
Výška porostu	m	0,40	0,80	1,10	1,70	1,95
Výnos zelené hmoty	$t \cdot ha^{-1}$	15,7	19,9	29,9	32,2	32,0
Sušina biomasy	%	8,89	11,47	11,29	12,41	13,66
Výnos sušiny biomasy	$t \cdot ha^{-1}$	1,40	2,29	3,38	3,99	4,37
Popel při 550 °C (XA)	% suš.	11,7	11,2	10,0	8,5	8,3
Dusíkaté látky (XP)	% suš.	31,4	23,9	19,8	17,6	13,4
Tuk (XL)	% suš.	1,47	1,87	1,73	1,18	1,12
Vláknina (XF)	% suš.	9,52	13,41	17,90	24,49	26,72
Extrah. bezdusík. látky (XX)	% suš.	45,9	49,6	50,5	48,3	50,5
Specif. produkce metanu $SPM_{suš.}$ dle rovnice (3)	$l \cdot kg \text{ suš.}^{-1}$	367	359	355	352	346
Specif. produkce metanu $MEV_{suš.}$ dle rovnice (5)	$l \cdot kg \text{ suš.}^{-1}$	544	474	441	428	380

Když porovnáme dle rovnic (3) a (5) vypočtené hodnoty specifické produkce metanu z biomasy šťovíku krmného s hodnotami maximální teoretické produkce ( $482 \text{ l*kg suš.}^{-1}$ ) a experimentálních výsledků s laboratorně připravenými a analyzovanými silážemi ( $284 \text{ l*kg suš.}^{-1}$  s rozpětím  $264 - 303 \text{ l*kg suš.}^{-1}$ ), tak zjistíme, že výsledky dle rovnice (5) které dosahují v průměru  $453 \text{ l*kg}^{-1}$  jsou zřejmě příliš vysoké, neboť v některých případech překračují i výše uvedený teoretický potenciál. Více pravděpodobně vypadají výsledky vypočtené dle naší sestavené komponentní rovnice (3), kdy hodnoty  $\text{SPM}_{\text{suš.}}$  zelené biomasy šťovíku krmného dosahují v průměru  $356 \text{ l*kg suš.}^{-1}$ . Zjištěna naší experimentální hodnota specifické produkce metanu z biomasy šťovíku je sice o cca 20 % nižší ( $284 \text{ l*kg suš.}^{-1}$ ), ale to lze snadno vysvětlit tím, že naší stanovené hodnoty byly zjištěny u siláže šťovíku, kdežto krmivářské rozborů a modelové kalkulace jsou provedeny pro čerstvou hmotu, neboť je známo, že v průběhu silážování rostliny ztrácejí cca 20 - 25 % a občas i více původní potenciální produkce metanu. Proto takto zjištěné hodnoty lze považovat za

odpovídající realitě a model (3) použijeme pro další výpočty.

V obou případech zjištěné hodnoty klesají při stárnutí porostů, což je v souladu s běžnými poznatky, že mladší rostliny jsou více rozložitelné a obvykle poskytují větší produkci bioplynu. Je zajímavým fakt, že při stárnutí porostů se hodnoty vypočtené dle obou rovnic více sblíží, což může znamenat, že model dle Amona je více použitelný pro hodnocení biomasy zralých porostů. Nadměrně vysoké hodnoty výsledků dle rovnice (5) zřejmě souvisí s tím, že biomasa šťovíku krmného v silážní zralosti a zejména v ranních stádiích růstu vykazuje ve srovnání s biomasou silážní kukuřice podstatně vyšší obsah dusíkatých látek, nižší obsah bezdusíkatých extrahovatelných látek a zhruba stejný obsah vlákniny (tab. 2), přičemž druhý nejvyšší koeficient je v této rovnici (5) použit právě u dusíkatých látek. Naší sestavený model není zvýšeným obsahem dusíkatých látek v mladších porostech nikterak zkreslen a mírné snížení specifické produkce metanu se stárnutím porostů docela odpovídá běžným zkušenostem (např., Amon 2006a,b).

Tab. 2 – Srovnání výnosových, krmivářských a energetických parametrů biomasy hybridů kukuřice šlechtěných na produkci bioplynu a biomasy šťovíku krmného.

Parametr	Jednotka	Silážní kukuřice	Šťovík krmný
Dusíkaté látky (XP)	% suš.	7,3 – 7,8	13,4 – 17,6
Tuk (XL)	% suš.	1,5 – 2,4	1,12 – 1,18
Extrah. bezdusík. látky (XX)	% suš.	55,4 – 64,7	10,8 – 11,2
Vláknina (XF)	% suš.	21,4 – 30,2	24,5 – 26,7
Specif. produkce metanu	$\text{l*kg suš.}^{-1}$	379 – 412	381
Výnos sušiny	$\text{t*ha}^{-1}$	20,6 – 30,1	9,96
Produkce metanu na plochu	$\text{m}^3\text{*ha}^{-1}$	7 807 – 12 400	3 798

Proto pro výpočty potenciální produkce metanu v přepočtu na 1 ha při vícenásobné seči zelené biomasy šťovíku krmného byly použity průměrné hodnoty specifické produkce metanu z 1 tuny zelené hmoty této plodiny vypočtené dle našeho vlastního modelu (3), viz tab. 3. V této tabulce jsou uvedeny výnosy sušiny a vypočtené hodnoty potenciální produkce metanu v jednotlivých sečích. Vícenásobné

sečení bylo zajištěno tak, že po první seči provedené dne 1.6.09 byly v průběhu roku na porostu provedeny ještě 2. seč dne 10.7.09 a 3. seč dne 22.8.10. Vzhledem k výhodným klimatickým podmínkám na tomto stanovišti krmný šťovík rychle obrůstal i po 3. seči a v období od 2.10. do 4.11 byl využit pro pastvu skotu. Zjištění výnosu v tomto období bylo provedeno 29.10. sklizní 25 m<sup>2</sup> porostu (v tabulce označeno<sup>+)</sup> ).

Tab. 3 – Výnos sušiny biomasy šťovíku krmného a potenciální produkce metanu v jednotlivých sečích.

Parametr	Jednotka	1.seč, 1.6	2. seč, 10.7	3. seč, 22.8	29.10 <sup>+) </sup>	Celkové výnosy
Výnos sušiny	$\text{t*ha}^{-1}$	2,7	2,93	2,63	1,71	9,97
Sušina	%	36,3	38,1	30,4	14,8	29,9*
$\text{SPM}_{\text{suš.}}$	$\text{l*kg suš.}^{-1}$	346	358	365	378	362*
Výnos metanu	$\text{m}^3\text{*ha}^{-1}$	934	1049	960	646	3589

\*- průměrné hodnoty

Z tabulky vidíme, že potenciální produkce metanu z 1 kg sušiny biomasy šťovíku je v rozmezí produkce hybridů kukuřice šlechtěných na produkci bioplynu. Příznivý poměr mezi obsahem extrahovatelných bezdusíkatých látek a obsahem vlákniny dává předpoklad, že na bázi krmného šťovíku bude možné

vyšlechtit hybrid vhodný pro biozplyňování. Výnos sušiny šťovíku zjištěný na porostu v Králíkách při čtyřech sečích v silážní zralosti ve výši  $9,96 \text{ t*ha}^{-1}$  se sice nevyrovná výnosům hybridů kukuřice, šlechtěným na produkci bioplynu jako např. Baxter 380, Alisum 560, Wexsil 500 uvedených v tab. 3, ale odpovídá



nižším hodnotám intervalu výnosu sušiny biomasy silážní kukuřice v konvenčním zemědělství, zjištěného na základě provedeného průzkumu v Rakousku (tab. 4). V České republice byly zjištěny špičkové výnosy hybridů kukuřice Atletico a LG2280 v rozmezí 15,9 - 17,2 tun suš.\*ha<sup>-1</sup> (Procházka et al., 2010).

Potenciální výnos metanu z porostu šťovíku krmného v Králíkách představuje 3589 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup>, což odpovídá produkci metanu silážních kukuřic pěstovaných v konvenčním zemědělství v Rakousku (tab. 4). V těchto podmínkách jsou konkurenční plodinou trvalé jetelotravní porosty, které v konvenčním zemědělství v Rakousku dosahují ročního výnosu sušiny 8,1 – 10,8 t\*ha<sup>-1</sup> a produkce metanu 2 264 – 3 773 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup> (Bmlfuw, 2002). Je

výhodné, aby šťovík krmný alternoval silážní kukuřici v chladných polohách a na svažitých pozemcích, kde není možno pěstovat kukuřici z důvodu nebezpečí eroze. Trvalý travní porost sousedící s testovaným porostem šťovíku krmného vykázal výnos sušiny pouze 5,4 t\*ha<sup>-1</sup>, což může zabezpečit produkci metanu cca 1 534 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup>. Pro produkci bioplynu jsou plantáže šťovíku výhodnější, než trvalé travní porosty a než řada dalších plodin včetně GPS obilovin, olejnin, slunečnice apod. (viz tab. 4). Porovnání výnosových a energetických parametrů šťovíku krmného s ostatními plodinami použitelnými pro výrobu bioplynu je provedeno v tab. 4, kde jsou použity údaje z Bmlfuw 2002, Amon et al., 2007, Váňa, Usťak 2009 a u šťovíku výsledky prezentované v této práci.

Tab. 4 – Výnos sušiny a metanu u plodin používaných pro výrobu bioplynu.

plodina	výnos sušiny v t*ha <sup>-1</sup>		produkce metanu m <sup>3</sup> *t suš. <sup>-1</sup>	produkce metanu na plochu m <sup>3</sup> *ha <sup>-1</sup>	
	interval	průměr		interval	průměr
<b>šťovík krmný</b>	x	<b>9,96</b>	<b>362</b>	x	<b>3589</b>
kukuřice silážní	9,24-15,84	12,54	390	3604-6178	4891
GPS obiloviny	2,54-5,08	2,70	270	686-1373	1029
GPS olejnin	1,38-3,56	2,47	270	374-961	668
Slunečnice	0,69-1,78	1,24	350	242-623	433
Krmná řepa	10,86-16,30	13,58	368	4 000 – 6 000	5 000
Vojtěška	4,02-13,23	8,69	432	1739-5715	3869
Jetelotráva	8,10-13,50	10,80	279	2264-3773	3018
Trv. travní porost	4,80-8,40	6,60	280	1344-1848	1596

## ZÁVĚR

Bylo prokázáno, že vícenásobné sečení porostu šťovíku krmného zajišťuje vyšší výnosy zelené biomasy v přepočtu na sušinu a to až 10 tun sušiny z 1 ha ve srovnání s jednorázovou sklizní. Vyšší je i potenciální výnos metanu jako hlavní energetické složky bioplynu ze sklizené biomasy této plodiny, který dosahuje až 3600 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup>. Větší počet sečí umožňuje častější aplikaci digestátu z produkce bioplynu, což vytváří vhodné podmínky pro zvýšení výnosů.

Porovnání různých způsobů výpočtu potenciální produkce metanu z biomasy šťovíku krmného na základě analyticky stanovených krmivářských parametrů ukázalo lepší shodu našeho vlastního modelu nežli modelu podle T. Amona. Hodnoty vypočtené dle Amona jsou proti experimentálně stanoveným výsledkům produkce metanu příliš vysoké, a v některých případech přesahují i teoretickou produkci metanu vypočtenou dle stechiometrických rovnic. Průměrná specifická produkce metanu SPM<sub>suš.</sub> vypočtena na základě našeho modelu dosáhla hodnoty 362 l\*kg suš.<sup>-1</sup>. Experimentálně zjištěné hodnoty SPM<sub>suš.</sub> pro silážovanou hmotu šťovíku krmného dosáhly v průměru 284 l\*kg suš.<sup>-1</sup>, což je o cca 20 % méně ve srovnání s čerstvou zelenou hmotou.

Výnos sušiny šťovíku na porostu v Králíkách při čtyřech secích v silážní zralosti představoval

9,96 t\*ha<sup>-1</sup>. Potenciální výnos metanu z porostu šťovíku krmného v Králíkách představuje 3589 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup> což odpovídá produkci metanu silážních kukuřic pěstovaných v konvenčním zemědělství. Substituci silážní kukuřice pro bioplynování šťovíkem krmným je možné doporučit na svažitých pozemcích a v chladných polohách.

## POZNÁMKA

Príspevek byl zpracován s podporou projektu NAZV č. QH 91170 „Nizkonákladové püdoochranné technologie pro produkci konzervované rostlinné biomasy jako suroviny pro výrobu bioplynu na základě pěstování pícnin“.

## LITERATURA:

AMON, T., KRYOVORUCHKO, V., AMON, B., REINHOLD, G., OECHSNER, H., SCHWAB, M., WEILAND, P., LINKE B.: Biogaserträge von Energiepflanzen und Wirtschaftsdüngern – Laborergebnisse. In: Die Landwirtschaft als Energieerzeuger. KTBL - Schrift 420. Darmstadt: KTBL. 46-61, 2004.

AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., BODIROZA, V., ZOLLITSCH, W., BOXBERGER, J.: Biogaserzeugung aus Grünlandbiomasse im Alpenraum. In: Landtechnik, Fachzeitschrift für Agrartechnik und ländliches Bauen, 60, (6), 336 – 337, 2005.

AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., MOITZI, G., BUGA, S., FISTAROL, D., HACKL, E., JERIC, W. ZOLLITSCH, W., PÖTSCH, E.: Optimierung der Biogaserzeugung aus den Energiepflanzen Mais und Klee gras. Endbericht Institut für Land-, Umwelt-, und Energietechnik, Universität für Bodenkultur Wien, Wien, 2003 a.

AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., BODIROZA, V., ZOLLITSCH, W., BOXBERGER, J.: Biogaserzeugung aus Energiepflanzen. Landtechnik 2, pp. 86-87, 2006 b.

AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., BODIROZA, V.: Optimierung der Methanerzeugung aus Energiepflanzen mit dem Methanenergiewertsystem, Institut f. Ökologischen Landbau, Department Nachhaltige Agrarsysteme, Universität für Bodenkultur Wien, 2006 a.

AMON, T., AMON, B., KRYVORUCHKO, V., MACHMULER, C., HOPFNER-SIXT, K., BODIROZA, V., HRBEK, R., FRIEDEL, J., POTSCH, E., WAGENTRISTL, H., CHREINER, M., ZOLLITSCH, W.: Methanproduction through anaerobic digestion of variol energy crops grown in sustainable crop rotations. In: Bioessource Technology, (98), 3204 – 3212, 2007.

AMON, T., KRYVORUCHKO, V., AMON, B., ZOLLITSCH, W., MAYER, K., BUGA, S., AMID, A.: Biogaserzeugung aus Mais - Einfluss der Inhaltsstoffe auf das spezifische Methanbildungsvermögen von früh- bis spätreifen Maissorten, In: Bericht über die 54. Tagung 2003 der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs, BAL Gumpenstein, pp. 3-12, 2003 b.

BMLFUW (Bundesministerium für land- und forstwirtschaft, umwelt und wasserwirtschaft), : Standarddeckungsbeiträge und daten für die betriebsberatung konventionelle produktion. Ostösterreich. Wien. 238 s. 2002.

DARNHOFER, B., EDER, B.: Erschließung des biosynthetischen Potenzials einheimischer Nutzpflanzen als nachwachsende Rohstoffe zur Erzeugung erneuerbarer Energien Teilvorhaben 1: Entwicklung eines Anbausystems für Biomassemais, Schlussbericht, Freising-Weihenstephan, 2009..

DIN 38414: Bestimmung des Faulverhaltens (S8), 1987.

DOHÁNYOS, M.: <http://www.czba.cz/index.php?art=clanky&parent=-odborne-clanky&nid=zavislost-vyvezku-metanu-na-slozeni-a-preduprave-suroviny>, 2009

EDELMANN, W.: Biogaserzeugung und Nutzung. In: Energie aus Biomasse – Grundlagen, Technik und Verfahren Springer-Verlag Berlin Heidelberg New

York. Kaltschmitt & Hartmann (Hersg.), S. 641-692, 2006.

HEIERMANN, M., IDLER, C. HERMANN C., SCHOLZ, V.: Ermittlung des Einflusses der Pflanzenart und der Silierung auf Substratqualität und Biogasausbeute in Labor und in der Praxis“ Potsdam 2009.

KAISER, F.: Einfluss der stofflichen Zusammensetzung auf die Verdaulichkeit Nachwachsender Rohstoffe beim anaeroben Abbau in Biogasreaktoren Dissertation, Technische Universität Mochen, 2007.

KÁRA, J., PETŘÍKOVÁ, V.: Krmný šťovík a jeho využití pro výrobu bioplynu. Biom.cz (online).. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/krmny-stovik-a-jeho-vyuziti-pro-vyrodu-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655, 2007.

KEYMER, U. SCHILCHER, A.: Überlegungen zur Errechnung theoretischer Gasausbeuten vergärbare Substrate in Biogasanlagen. Landtechnik-Bericht Nr. 32, Freising, 1999.

MINIHUBER, J.: Eignung verschiedener Energiemaissortentypen zur Biogaserzeugung unter den Standortbedingungen des nordöstlichen Hausruckviertels, Diplomarbeit, Institut für Landtechnik, Wien 2007.

PETŘÍKOVÁ, V.: Biomasa– důležitý zdroj energie, PSM stavební infozpravodaj č.4: pp. 7-12, 2009a.

PETŘÍKOVÁ, V.: Energetické rostliny – výrazný zdroj energie., In: Zemědělská technika a biomasa. Pp. 108-114, VUZT Praha 2006.

PETŘÍKOVÁ, V.: Krmný šťovík jako surovina pro bioplyn. ENERGIE21 :2, pp. 310-319, 2009 b.

PETŘÍKOVÁ, V.: Krmný šťovík zlepšuje kvalitu mléka. Biom.cz (online).. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky>, ISSN: 1801-2655, 2010.

PROCHÁZKA, J., DOHÁNYOS, M., KAJAN, M., DIVIŠ, J.: Produkce bioplynu z kukuřice. <http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=veda-a-vyzkum&nid=produkce-bioplynu-z-kukurice>, 2010.

STRAKA, F. et al.: BIOPLYN, II. vydání, GAS s.r.o. Riany, 2006.

STRAKA, F., KUNČAROVÁ, M., LACEK, P.: Optimalizace vsázek pro bioplynové stanice při použití biomasy, živočišných odpadů nebo dalších možných vedlejších živočišných produktů. Technická zpráva zakázky ÚVP č. 781/128/12, 2007.

TYROLOVÁ, Y., PETŘÍKOVÁ, V., VÝBORNÁ, A.: Šťovík jako krmivo i vstupní materiál do bioplynových stanic., Krmivářství 4, (13.), pp. 39-41, 2009.

USŤÁK, S., USŤÁKOVÁ M., RACHMETOV B. D: Perennial spinach-sorrel hybrid - schavnat as a new perspective multipurpose crop. In: Book of Proceedings of the "VIII ESA Congress: European

Agriculture in a Global Context", 11-15 July 2004, Denmark, pp. 563-564, 2004.

UŠŤAK, S.: Pěstování a využití šťovíku krmného v podmínkách ČR. – Certifikovaná metodika pro praxi, ISBN 978-80-87011-26-3, VÚRV, v.v.i., Praha, 30 str., 2007.

UŠŤAK, S.: Šťovík Uteuša. In: Kavka M. a kol.: Normativy zemědělských výrobních technologií, ÚVTIZ Praha, ss. 246 – 252, 2003.

VÁŇA, J., UŠŤAK S.: Využití odpadů a surovin ze zemědělského provozu k výrobě bioplynu. In: Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství. pp. 29-38, Ekomonitor Chrudim 2010.

ZÁBRANSKÁ, J:  
<http://www.czba.cz/index.php?art=clanky&parent=-odborne-clanky&nid=anaerobni-rozlozitelnost-organickych-latek-a-aktivita-anaerobni-biomasy>, 2009.

## Abstrakt

Bylo prokázáno, že vícenásobné sečení porostu šťovíku krmného zajišťuje vyšší výnosy zelené biomasy v přepočtu na sušinu ve srovnání s jednorázovou sklizní na suchou hmotu, které dosahují cca 10 tun sušiny z 1 ha. Vyššími jsou i potenciální výnosy metanu jako hlavní energetické složky bioplynu ze sklizené biomasy této plodiny, které dosahují až 3600 m<sup>3</sup>\*ha<sup>-1</sup>. Větší počet sečí umožňuje častější aplikaci digestátu z produkce bioplynu což na druhou stranu zajišťuje podmínky pro zvýšení výnosů. Specifická produkce metanu u siláže šťovíku krmného byla stanovená na průměrnou hodnotu 284 l\*kg suš.<sup>-1</sup> a u čerstvé zelené hmoty 362 l\*kg suš.<sup>-1</sup> Substituci silážní kukuřice pro biozplynování šťovíkem krmným je možné doporučit na svažitých pozemcích a v chladných polohách.

**Klíčová slova:** netradiční plodiny; pícniny pro bioplyn; šťovík krmný; specifická produkce metanu; modelové výpočty

**Kontaktní adresa:**

**Ing. Sergej Ušťak, CSc.**

**Výzkumný ústav rostlinné výroby, v.v.i.,**

**Drnovská 507, 161 01 Praha 6 – Ruzyně, Česká republika,**

**e-mail: [ustak@eto.vurv.cz](mailto:ustak@eto.vurv.cz)**