

# Príspevok anaeróbného spracovania vysladených repných rezkov k energetickej bilancii cukrovaru

CONTRIBUTION OF ANAEROBIC TREATMENT OF SPENT SUGAR BEET PULP TO ENERGY BALANCE OF SUGAR FACTORY

Miroslav Hutňan, Juan José Chávez Fuentes, Jana Barbušová  
Oddelenie environmentálneho inžinierstva, FCHPT STU, Bratislava

Cukrovary patria medzi podniky s vysokou potrebou energie, ktorá je v súčasnosti v prevažnej miere saturovaná fosílnymi palivami. Nutnosť náhrady fosílnych palív obnoviteľnými zdrojmi energie vyplýva nielen z európskej legislatívy, ale často je daná aj potrebou zvýšenia efektívnosti výroby priemyselných podnikov využívaním energie z odpadových materiálov, resp. vedľajších produktov. Aj keď sa energetická spotreba v cukrovaroch v posledných desaťročiach značne znížila, využívanie odpadových materiálov alebo vedľajších produktov môže priniesť značný ekonomický efekt. Väčšina súčasných cukrovarov má pritom praktickú skúsenosť s využívaním obnoviteľných zdrojov energie, keďže svoje odpadové vody spracovávajú v anaeróbno-aeróbnej čistiarni odpadových vôd. Bioplyn vznikajúci v jej anaeróbnom stupni je v cukrovaroch využívaný na výrobu tepla.

Tab. I. Potreba energie vo vybraných rakúskych cukrovaroch; spracované podľa (2)

Parameter	Rozmer	Rok kampane	
		1990	2002
Množstvo spracovanej repy	t.rok <sup>-1</sup>	2 508 525	3 043 398
Obsah cukru v repe	%	18,5	16,5
Produkcija cukru	t.rok <sup>-1</sup>	414 579	432 871
Sušené vysladené repné rezky	t.rok <sup>-1</sup>	165 172	178 309
Trvanie kampane	d	98,1	82,8
Spotreba zemného plynu	1000.Nm <sup>3</sup> .rok <sup>-1</sup>	85 931	76 138
Ťažký vykurovací olej	t.rok <sup>-1</sup>	4 746	0
Produkcija elektrickej energie	MWh.rok <sup>-1</sup>	79 028	76 580
Spotreba elektrickej energie	MWh.rok <sup>-1</sup>	74 303	69 660
Spotreba koksu	t.rok <sup>-1</sup>	6 198	5 066
Energia na produkciu cukru	MJ.t <sup>-1</sup> repy	912	610
— " —	MJ.t <sup>-1</sup> cukru	5 520	4 289
Spotreba elektrickej energie	kWh.t <sup>-1</sup> repy	29,6	22,9
Spotreba koksu	kg.t <sup>-1</sup> repy	2,4	1,7
Lisované vysladené repné rezky	% sušiny	27,6	31,4
Energia na sušenie rezkov	MJ.t <sup>-1</sup> repy	399	291
— " —	MJ.t <sup>-1</sup> suchých rezkov	6 064	4 971

V roku 1946 bola špecifická spotreba energie vo francúzskych cukrovaroch viac ako 2 700 MJ na tonu spracovanej cukrovej repy, kým v roku 2001 klesla pod 800 MJ.t<sup>-1</sup> (1).

V tab. I. je uvedená spotreba energie v troch rakúskych cukrovaroch spoločnosti Agrana Zucker GmbH (Hohenau, Leopoldsdorf a Tulln) v rokoch 1990 a 2002 (2). Spracovateľská kapacita každého z týchto cukrovarov je 12 tis. t.d<sup>-1</sup> cukrovej repy. Z tab. I. je zrejmé, že spotreby fosílnych palív a el. energie v rakúskych cukrovaroch sú vysoké, ale tiež, že špecifická spotreba na 1 t repy sa medzi rokmi 1990 a 2002 znížila o 33 % a špecifická spotreba na 1 t vyrobeného cukru sa znížila o 22 %.

JENSEN A MORIN (3) uvádzajú, že za posledných päťdesiat rokov sa energetická účinnosť cukrovarov značne zlepšila – z 900–1 080 MJ.t<sup>-1</sup> na 612 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy.

V postkomunistických krajinách, aj keď tu v podstate všetky cukrovary vlastní nadnárodné spoločnosti, je špecifická spotreba energie o niečo vyššia. Napr. v srbských cukrovaroch sa po ich rekonštrukcii v rokoch 2005 resp. 2006 znížila spotreba energie z 1 200–1 500 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy na 1 000 MJ.t<sup>-1</sup> (4). Zlepšuje sa energetická účinnosť aj v slovenských cukrovaroch. Tab. II. obsahuje údaje dosiahnuté v Považskom cukrovare (Nordzucker Group) v kampaniach 2011–2013 (5). V českých cukrovaroch bola priemerná spotreba energie na výrobu cukru v kampani 2014/2015 810,8 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy (6).

Ako už bolo uvedené vyššie, v súčasnosti má prevažná väčšina cukrovarov v Európe anaeróbno-aeróbne čistenie odpadových vôd. Vedľajším produktom pri ich prevádzke je bioplyn. Prvá takáto čistiareň bola na Slovensku spustená do prevádzky v roku 1991 v cukrovare v Rimavskej Sobote (7). Produkovaný bioplyn bol využívaný na výrobu pary v teplárni cukrovaru. Napr. v kampani v roku 1999 bolo v cukrovare Rimavská Sobota vyprodukovaných 94 833 m<sup>3</sup> bioplynu s priemernou produkciou 1 756 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> (8), čo je pre cukrovar s kapacitou spracovania 2 000 t cukrovej repy za deň zaujímavý energetický príspevok. Dnes sú u nás v prevádzke už len dva cukrovary, v Trenčianskej Teplej a v Seredi. Cukrovar v Seredi vyprodukuje v kampani cca 500 tis. m<sup>3</sup> bioplynu.

Ďalším materiálom, ktorý je ako vedľajší produkt výroby cukru vhodný na anaeróbne spracovanie, sú vylúhované (vysladené) repné rezky.

Vzhľadom na ich vysokú nutričnú hodnotu sú vhodným krmivom pre dobytok. Avšak vysoká sezónna a navyše lokálna produkcia rezkov spolu so znižovaním stavov chovu dobytka neumožňuje skfmiť celé ich vyprodukované množstvo. Vplyvom ich dobrej biologickej rozložiteľnosti prichádza už pri niekoľkodňovom státi k ich znehodnoteniu. Konzervácia je možná silážovaním alebo sušením. Nesprávnym silážovaním sa znehodnotí často veľká časť rezkov a sušenie je energeticky náročný proces. Z údajov uvedených v tab. I. vyplýva spotreba energie na sušenie rezkov 44 % resp. 48 % spotreby na výrobu cukru. JENSEN A MORIN (3) uvádzajú spotrebu energie na sušenie rezkov 353 MJ.kg<sup>-1</sup> spracovanej repy, čo je takmer 58 % energetickej spotreby na výrobu cukru. Aj pre tieto dôvody sa anaeróbne spracovanie repných rezkov a produkcia bioplynu z nich javí ako jedna z racionálnych alternatív nakladania s nimi. Výroba a využitie bioplynu touto technológiou môže značne prispieť k zníženiu prevádzkových nákladov cukrováru ako aj k zlepšeniu životného prostredia náhradou fosílnych palív obnoviteľným zdrojom energie.

Anaeróbnym spracovaním rezkov sa zaoberali viacerí autori. V niektorých prácach boli rezky spracovávané po predchádzajúcej acidifikácii (9–11), v iných bez preacidifikačného stupňa (12–14) a v ďalších ako ko-substrát s inými substrátmi (15, 16). V zahraničí existujú už aj prevádzkové realizácie na samostatné spracovanie rezkov. Napr. v cukrovare v Kaposvári, v ktorom bola počas kampane roku 2010 denná produkcia bioplynu z rezkov až 150 tis. m<sup>3</sup> (17).

V našej práci sme sa zamerali na prešetrenie možnosti zvýšenia energetickej sebestačnosti cukrováru v prípade anaeróbného spracovania vysladených repných rezkov. Cieľom tejto práce je odhad podielu energetickej spotreby cukrováru, ktorý by bolo možné nahradiť energiou z bioplynu, vyprodukovanom pri spoločnom spracovaní rezkov a odpadových vôd a pri samostatnom spracovaní celej produkcie rezkov v cukrovare. Bola porovnávaná aj alternatíva: anaeróbne spracovanie rezkov versus ich sušenie.

### Energetický príspevok spoločného anaeróbného spracovania odpadových vôd a rezkov

Spoločné spracovanie vysladených repných rezkov a odpadových vôd cukrováru sme vyhodnocovali na základe výsledkov, ktoré sme dosiahli v poloprevádzkovom modeli a o ktorých sme referovali v práci (18). Z poloprevádzkového prieskumu vyplynulo:

- Spoločné spracovanie odpadových vôd a repných rezkov je možné a nebude mať negatívny vplyv na chod ČOV cukrováru. Počas spoločného spracovania odpadových vôd a rezkov sa ukázala potreba dávkovania dusíka do anaeróbného reaktora. Všeobecne však treba konštatovať, že koncentrácia amoniakálneho dusíka na výstupe z anaeróbného stupňa bude závisieť od pomeru C:N v spracovávaných rezkoch a v odpadových vodách.

Tab. II. Spotreba energie v cukrovare Považský cukor, a. s., v kampaniach r. 2011–2013 (5)

Parameter	Rozmer	Rok kampane		
		2011	2012	2013
Množstvo spracovanej repy	t.rok <sup>-1</sup>	586 097	452 606	558 557
— " —	t.d <sup>-1</sup>	5 270	5 629	5 770
Produkcia cukru	t.rok <sup>-1</sup>	59 785	43 027	55 244
Spotreba tepla	MJ.t <sup>-1</sup> rok	828,7	719,6	700,9
Spotreba elektrickej energie	MJ.t <sup>-1</sup> repy	69,8	68,8	65,5
Celková spotreba energie	MJ.t <sup>-1</sup> repy	898,5	788,4	766,4

- Celkové možné zaťaženie anaeróbného reaktora odpadovými vodami a rezkami je 6 kg.(m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> CHSK. Pri priemernom zaťažení odpadovými vodami 2 kg.(m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> je tak možné dodatočné zaťaženie rezkami 4 kg.(m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> CHSK.

- Špecifická produkcia bioplynu z vysladených rezkov so sušinou 20 % je 0,109 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>.

V uvažovanom cukrovare boli v kampani dosiahnuté nasledovné výsledky:

- množstvo spracovanie repy celkom – 477 104 t,
- priemerné denné spracovanie – 3 943 t,
- výroba lisovaných vysladených rezkov so sušinou 20 % – 115 269 t,
- produkcia bioplynu s obsahom metánu 70 % – 490 600 m<sup>3</sup>,
- priemerné zaťaženie anaeróbného reaktora v kampani – 2,14 kg.(m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> CHSK.

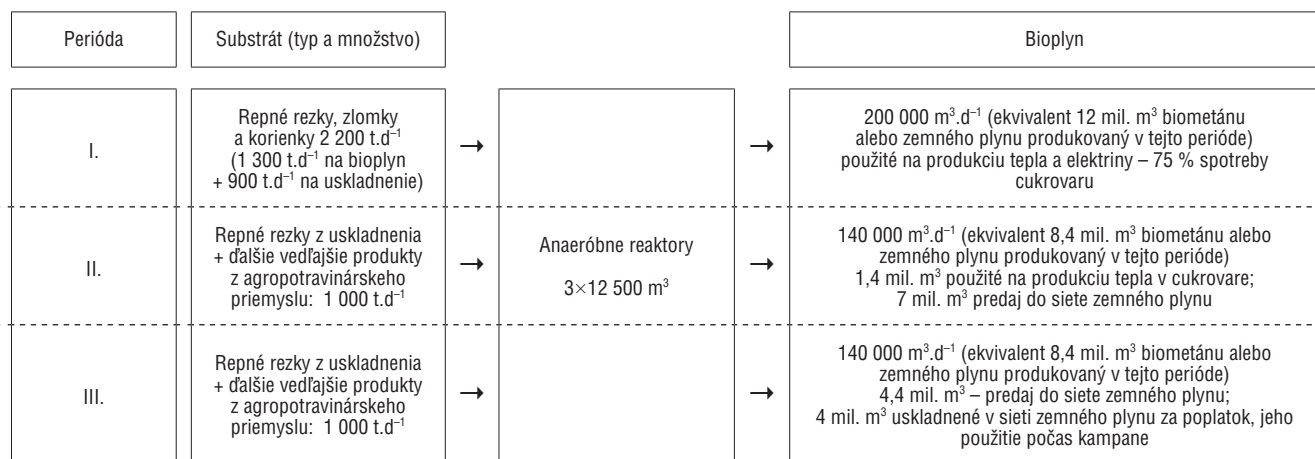
Na základe výsledkov, ktoré boli dosiahnuté v poloprevádzkovom prieskume, je možné zvýšiť zaťaženie reaktora 3,86 kg.(m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> CHSK čerstvými rezkami na dosiahnutie celkového zaťaženie 6 kg.(m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> CHSK.

Pri špecifickej CHSK sušiny rezkov 1,22 kg.kg<sup>-1</sup> bude možné dávkovanie 3,16 kg suchých rezkov resp. 15,82 kg čerstvých rezkov do 1 m<sup>3</sup> reaktora či 71,1 t do celého objemu reaktora. Počas cukrovárnickej kampane v dĺžke 121 dní bude možné spracovať 8 603,1 t čerstvých rezkov. Pri špecifickej produkcii bioplynu 0,109 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> čerstvých rezkov bude produkcia bioplynu z rezkov 937 738 m<sup>3</sup> za kampaň. Spoločným spracovaním odpadových vôd a rezkov je možné vyprodukovať takmer trojnásobné množstvo bioplynu oproti bioplynu vyprodukovanému iba z odpadových vôd – 1 428 338 m<sup>3</sup>. Toto množstvo bioplynu predstavuje energetický obsah 35 794 150 MJ.

Ak je celkové množstvo spracovanej repy za kampaň 477 104 t, energia vyprodukovaná z bioplynu predstavuje 75 MJ.kg<sup>-1</sup> spracovanej repy, z toho energetický podiel z bioplynu z rezkov 49,3 MJ.kg<sup>-1</sup>. Pri celkovej energetickej spotrebe v cukrovare 1 000 MJ.kg<sup>-1</sup> spracovanej repy sa to javí ako pomerne malé množstvo, avšak ekonomický prínos je nesporný, keďže bioplyn zo spracovaných rezkov môže nahradiť viac ako 656 tis. m<sup>3</sup> zemného plynu.

Spoločným spracovaním rezkov a odpadových vôd využijeme pri 121dňovej kampani na produkciu bioplynu 8 603 t čerstvých rezkov, čo pri celkovej produkcii 115 269 t za kampaň predstavuje necelých 7,5 %. Ak uvažujeme s energetickou spotrebou na výrobu cukru 1 000 MJ.kg<sup>-1</sup> spracovanej repy, potom

Obr. 1. Schéma konceptu „Zero fossil energy use“ – adaptované z práce CSIMA a PIKLER (17)



energetický príspevok rezkov pri spoločnom spracovaní odpadových vôd a rezkov pokrýva 4,93 % tejto spotreby. Pri energetickej spotrebe 610 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy (2, 3) je to 8,08 %.

### Energetický príspevok spracovania celého množstva produkovaných rezkov v samostatnom reaktore

Množstvo spracovanej repy 477 104 t za kampaň predstavuje pri 121dňovej kampani dennú produkciu rezkov 952,6 t. Ak navrhujeme anaeróbne reaktory na spracovanie tohto množstva so zaťažením 8 kg.(m<sup>3</sup>.d)<sup>-1</sup> sušiny rezkov (v súlade s prácou (19)), objem reaktorov bude 23 815 m<sup>3</sup> a denná produkcia bioplynu 103 833 m<sup>3</sup> (12 563 793 m<sup>3</sup> za kampaň). Takéto množstvo bioplynu s obsahom metánu 70 % zodpovedá energetickému potenciálu 314 848 653 MJ za kampaň, resp. 660 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy. Môžeme teda konštatovať, že pri energetickej spotrebe na výrobu cukru 1 000 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy môže produkcia bioplynu z rezkov pokryť 66 % energetickej potreby cukrovary a pri energetickej spotrebe 610 MJ.t<sup>-1</sup> repy celú potrebu energie. Pri efektívnej činnosti cukrovary tak bioplyn vyrobený z vysladených rezkov môže úplne nahradiť potrebu fosílnych palív v cukrovare.

Je zrejmé, že tieto odhady sú len približné. Kým pri spoločnom spracovaní rezkov a odpadových vôd cukrovary budú požiadavky na úpravu technológie a na energiu na spracovanie rezkov minimálne, spracovanie rezkov v samostatných reaktoroch bude vyžadovať energiu na ich ohrev a prevádzku, ako aj na spracovanie vzniknutej kalovej vody. Očakávané množstvo kalovej vody je asi 650 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> s CHSK nad 1 000 mg.l<sup>-1</sup>. Navyše, pri energetickom využití bioplynu bude treba uvažovať napr. aj s účinnosťou kotla na výrobu pary, ktorá sa môže pohybovať na hodnote cca 90 %. Najvhodnejšou formou nakladania s digestátom je jeho využitie na pôdu ako hnojiva.

Jedným zo zásadných problémov spracovania celého množstva rezkov je ich sezónna produkcia počas cca 4 mesiacov. Je možné postaviť bioplynovú stanicu na spracovanie celého množstva rezkov počas kampane, ale v takom prípade bude bioplynová stanica väčšinu roka nevyužitá. Zaujímavým konceptom „Zero fossil energy use“ sa zaoberá práca (17), v ktorej je navrhované celoročné využitie bioplynovej stanice na spracovanie repných rezkov.

Kapacita cukrovary v maďarskom Kaposvári je 10 000 t spracovanej repy za deň. Denná produkcia rezkov v cukrovare

je 2 000 t s produkciou ďalších asi 200 t organických materiálov ako repné zlomky a korenky. V súčasnosti majú v prevádzke bioplynovú stanicu s dvomi anaeróbnymi reaktormi s objemom 2 × 12 500 m<sup>3</sup>, ktoré spracovávajú približne polovicu týchto materiálov, a vznikajúcim bioplynom (150 tis. m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup>) pokrývajú asi 55 % celkovej potreby energie. Využitie bioplynovej stanice v súčasnosti je hlavne počas kampane, kedy sa celá produkcia bioplynu využíva na pokrytie energetických potrieb cukrovary.

„Zero fossil energy use“ koncept, uvedený na obr. 1., vychádza z myšlienky využitia celej produkcie produkovaných rezkov, z ktorých vyprodukovaný bioplyn pokryje celú energetickú potrebu cukrovary a zo snahy celoročnej prevádzky bioplynovej stanice. Tento koncept vyžaduje výstavbu ďalšieho reaktora s rovnakým objemom – 12 500 m<sup>3</sup> a spracovanie ďalšieho množstva odpadov. V cukrovare je k dispozícii 264 000 t.r<sup>-1</sup> substrátu, čo zodpovedá ekvivalentu zemného plynu 18,48 mil. m<sup>3</sup> (700 m<sup>3</sup> z tony rezkov). Energetická potreba cukrovary je 17,4 mil. m<sup>3</sup> ekvivalentu zemného plynu a v koncepte sa uvažuje s celkovou produkciou 28,8 mil. m<sup>3</sup> ekvivalentu zemného plynu. To vyžaduje spracovanie ďalších substrátov, ktorými môžu byť napr. melasa, alebo externé odpady či vedľajšie produkty z agropotravinárskeho priemyslu. Ročná činnosť bioplynovej stanice bude rozdelená do troch období.

Prvá perióda bude cukrovarnícka kampaň od septembra do decembra (120 dní). V tejto perióde bude z 2 200 t.d<sup>-1</sup> rezkov + zlomkov a korenkov spracovaných 1 300 t.d<sup>-1</sup> a 900 t.d<sup>-1</sup> bude uskladnených na neskoršie spracovanie. Vyprodukované množstvo bioplynu 200 000 m<sup>3</sup>.d<sup>-1</sup> bude využité na výrobu pary a elektrickej energie pre potreby cukrovary, čo však pokryje cca 75 % celkovej energetickej potreby cukrovary.

Druhou periódou bude obdobie, kedy je ešte vykurovacie obdobie a objekty cukrovary je potrebné vykurovať (január až apríl – 120 dní). V tomto období budú spracované uskladnené rezky, zlomky a korenky a externý agropotravinársky odpad v celkovom množstve 1 000 t.d<sup>-1</sup>. Z denného vyprodukovaného množstva bioplynu 140 000 m<sup>3</sup> bude 16,7 % využité na výrobu tepla pre potreby cukrovary mimo kampane a zvyšok bude upravovaný na biometán, vtláčaný do siete zemného plynu a predávaný spotrebiteľom.

Tretou periódou bude obdobie pred kampaňou od mája do augusta (120 dní). V tomto období bude spracované rovnaké množstvo substrátu a produkované rovnaké množstvo bioplynu ako v druhej perióde. Celé množstvo bioplynu bude upravované

na biometán a vtlačané do siete zemného plynu. Z toho sa 4,4 mil. m<sup>3</sup> predá spotrebiteľom a 4 mil. m<sup>3</sup> sa za poplatok uskladnia pre použitie počas kampane, kedy bude dopĺňať energetickú potrebu cukrovaru.

### Porovnanie sušenia rezkov s výrobou bioplynu z nich

#### Uvažované množstvo rezkov

Ak zosumarizujeme informácie uvedené vyššie, z celk. množstva spracovanej repy 477 104 t za kampaň vznikne v našich podmienkach cca 115 269 t rezkov so sušinou 20 %.

#### Sušenie rezkov

##### Potreba energie na sušenie rezkov

Uvažujeme so spotrebou energie na sušenie repných rezkov 350 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy. Táto hodnota môže byť reálne aj vyššia, pretože vyššie uvedené spotreby energie na sušenie rezkov zodpovedajú sušeniu rezkov s vyššou sušinou ako 20 %. Spotreba energie na sušenie uvedeného množstva rezkov je 166 986 400 MJ za kampaň. Uvažujeme, že priemerná výhrevnosť zemného plynu je 35 MJ.m<sup>-3</sup>. Spotreba zemného plynu na vysušenie rezkov je teda 4 771 040 m<sup>3</sup>.

##### Náklady za energiu na vysušenie rezkov

Pri cene zemného plynu 0,28 eur na 1 m<sup>3</sup> je finančná náročnosť sušenia rezkov cca 1,336 mil. eur.

##### Cena vysušených rezkov

Množstvo vysušených rezkov pri sušine 90 % bude 25 615 t. Pri súčasnej priemernej cene za sušené rezky cca 145 eur môžu byť tržby za ich predaj 3,714 mil. eur

#### Výroba bioplynu z rezkov

##### Produkcija energie z rezkov

Ak z týchto rezkov vyrobíme bioplyn (12 563 793 m<sup>3</sup> s obsahom metánu 70 %) získame z neho energiu 314 848 653 MJ.

##### Cena vyrobenej energie

Vyrobené množstvo bioplynu zodpovedá 8 995 676 m<sup>3</sup> zemného plynu, resp. 2,519 mil. eur.

##### Energetická potreba cukrovaru

Ak uvažujeme s energetickou spotrebou cukrovaru 660 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy, množstvu repy 477 104 t zodpovedá energetická potreba 314 888 640 MJ.

##### Cena spotrebovanej energie

Ak energetickú potrebu cukrovaru prevedieme na ekvivalent zemného plynu 8 996 818 m<sup>3</sup>, jeho cena je 2,519 mil. eur.

Tab. III. Porovnanie alternatív sušenia rezkov a výroby bioplynu z nich

Parameter	Rozmer	Cukrovar		
		bez spracovania rezkov	so sušením rezkov	s produkciou bioplynu z rezkov
Spotreba energie na výrobu cukru	MJ.t <sup>-1</sup> repy	660	660	660
Cena zemného plynu na výrobu cukru	mil. €.rok <sup>-1</sup>	-2,519	-2,519	-2,519
Spotreba energie na sušenie rezkov	MJ.t <sup>-1</sup> repy	-	350	-
Cena zemného plynu na sušenie rezkov	mil. €.rok <sup>-1</sup>	-	-1,336	-
Cena z predaja sušených rezkov	mil. €.rok <sup>-1</sup>	-	3,714	-
Cena energie z vyrobeného bioplynu	mil. €.rok <sup>-1</sup>	-	-	2,519
Celková spotreba energie	MJ.t <sup>-1</sup> repy	660	1010	660
Finančný efekt	mil. €.rok <sup>-1</sup>	-2,519	-0,141	0

Porovnanie energetickej náročnosti a jej finančné vyjadrenie pre cukrovar s energetickou spotrebou 660 MJ.t<sup>-1</sup> spracovanej repy bez spracovania rezkov, so sušením rezkov a s výrobou bioplynu a jeho využitím, je uvedené v tab. III. Z tohto porovnaní vyplýva minimálny rozdiel vo finančnom efekte pri sušení rezkov resp. pri ich anaeróbnom spracovaní. Pri konečnom rozhodovaní sa o spracovaní rezkov treba vziať do úvahy aj investičné náklady na sušiareň rezkov či na bioplynovú stanicu na anaeróbné spracovanie rezkov, prevádzkové náklady na tieto technológie, možnosť predaja celého množstva vyrobených sušených rezkov, náklady na ich distribúciu a predaj, či možnosti uplatnenia fermentačného zvyšku z anaeróbného spracovania rezkov. Je zrejme, že táto bilancia bude vyzeráť inak, ak je možné na sušenie rezkov použiť lacnejšie fosílné palivo.

#### Záver

Z informácií uvedených v tejto práci vyplýva, že vysladené repné rezky možno na produkciu bioplynu v cukrovaru využiť dvomi spôsobmi. Prvým spôsobom je spoločné spracovanie rezkov a odpadových vôd vo voľnej kapacite existujúcej anaeróbno-aeróbnej ČOV cukrovaru. Tento spôsob je investične a prevádzkovo nenáročný a neovplyvní významne prevádzku ČOV. Umožňuje však využitie iba malého množstva produkovaných rezkov, pričom bioplyn z nich môže pokryť necelých 5 % energetickej spotreby cukrovaru.

Spracovanie rezkov v samostatných anaeróbných reaktoroch predstavuje investične náročný spôsob, avšak vyprodukovaný bioplyn môže v závislosti od energetickej efektívnosti cukrovaru pokryť 66–100 % energetickej spotreby cukrovaru. Dá sa teda uvažovať s pomerne rýchlou návratnosťou tejto investície. Pri tomto spôsobe využitia rezkov je však potrebné vyriešiť využitie anaeróbných reaktorov mimo cukrovarskej kampane. Z porovnania spracovania rezkov na výrobu bioplynu vyplýva, že výsledný efekt sušenia rezkov, resp. ich anaeróbného spracovania, môže byť takmer totožný.

Táto práca vznikla v rámci riešenia projektu VEGA 1/0772/16 s podporou Vedeckej grantovej agentúry Slovenskej republiky a vďaka podpore v rámci OP Výskum a vývoj pre projekt

*Dobudovanie Národného centra pre výskum a aplikácie obnoviteľných zdrojov energie, ITMS 26240120028, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.*

### Súhrn

Cukrovary patria k energeticky náročným priemyselným podnikom, pričom aj v súčasnosti sú hlavným energetickým zdrojom fosílnych palív. Väčšina súčasných cukrovarov má pritom praktickú skúsenosť s využívaním obnoviteľných zdrojov energie, keďže svoje odpadové vody spracovávajú v anaeróbno-aeróbnej čistiarni odpadových vôd (ČOV). Bioplyn vznikajúci v anaeróbnom stupni je v cukrovaroch využívaný na výrobu tepla. Popri odpadových vodách cukrovaru patria k materiálom vhodným na anaeróbne spracovanie aj vysladené rezné rezky. V tejto práci je diskutovaný možný energetický príspevok spoločného spracovania rezkov a odpadových vôd vo voľnej kapacite anaeróbneho reaktora existujúcej anaeróbno-aeróbnej ČOV cukrovaru, ako aj energetický príspevok spracovania celého množstva produkovaných rezkov v samostatnom reaktore. Ako vyplývalo z našich predchádzajúcich prác, spoločné spracovanie rezkov s odpadovými vodami cukrovaru je možné, pričom výrazne neovplyvní výstup z anaeróbneho reaktora a jeho aeróbne dočistenie. Pri spoločnom spracovaní odpadových vôd cukrovaru a rezkov v existujúcom anaeróbnom reaktore ČOV cukrovaru je možné bioplynom vyrobeným z rezkov pokryť takmer 5 % energetickej spotreby cukrovaru. Pri anaeróbnom spracovaní celého množstva rezkov produkovaných v cukrovaroch je v závislosti od energetickej efektívnosti cukrovaru možné pokryť 66–100 % jeho energetickej spotreby a nahradiť tak potrebu fosílnych palív.

**Kľúčové slová:** anaeróbne procesy, bioplyn, energetická bilancia cukrovaru, odpadové vody cukrovaru, vysladené rezné rezky.

### Literatúra

1. CIBE and CEFS (Confederation of European Beet Growers and European Committee of Sugar Manufacturers): *Environmental report. Beet growing and sugar production in Europe*. February 2003.
2. MERKL, J.: Reduction of energy consumption by the Austrian sugar factories in the period 1990–2002. In *Proc. of the European conference „Energy efficiency in IPPC instalations*, Vienna 21.–22. October 2004.
3. JENSEN, A. S.; MORIN, B.: Energy and the environment in beet sugar production. *Sugar Industry/Zuckerindustrie*, 140, 2015 (11), s. 697–702.
4. PRODANIĆ, B. B. ET AL.: Improving the economic performances of the beet-sugar industry. *Acta Periodica Technologica APTEFF*, 39, 2008, s. 55–61.
5. *Považský cukor a.s.: Výročná správa 2013/2014*. Trenčianska Teplá, 2014, s. 1–22, [online] <http://www.registeruz.sk/cruz-public/domain/financialreport/attachment/3651880>, cit. 10. 3. 2016.
6. GEBLER, J.; KOŽNÁROVÁ, V.; HÁJKOVÁ, L.: Zpráva o cukrovarnické kampani 2014/2015 v České republice. *Listy cukrov. řepař.*, 131, 2015 (7–8), s. 242–248.
7. HUTŇAN, M. ET AL.: Biologické čistenie odpadových vôd v cukrovaroch Rimavská Sobota. *Listy cukrov. řepař.*, 112, 1996 (7–8), s. 232–235.
8. HUTŇAN, M.; DRTEL, M.; HORNÁK, M.: Anaeróbne spracovanie odpadových vôd a odpadov z cukrovaru. *Vodní hosp.*, 51, 2001 (9), s. 256–258.
9. HUTŇAN, M.; DRTEL, M.; MRAFKOVÁ, L.: Anaerobic biodegradation of sugar beet pulp. *Biodegradation*, 11, 2000 (4), s. 203–211.
10. HUTŇAN M. ET AL.: Two-step pilot-scale anaerobic treatment of sugar beet pulp. *Polish J. Env. Stud.*, 10, 2001 (4), s. 237–243.

11. ALKAYA, E.; DEMIRER, G. N.: Anaerobic acidification of sugar-beet processing wastes: Effect of operational parameters. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2011 (1), s. 32–39.
12. WEILAND, P.: One- and two-step anaerobic digestion of solid agroindustrial residues. *Water Sci. Technol.*, 27, 1993 (2), s. 145–151.
13. BROOKS L. ET AL.: Biogas from sugar beet press pulp as substitute of fossil fuel in sugar beet factories, *Water Sci. Tech.*, 58, 2008 (7), s. 497–504.
14. DEMIREL, B.; SCHERER, P.: Production of methane from sugar beet silage without manure addition by a single-stage anaerobic digestion process. *Biomass and Bioenergy*, 32, 2008 (3), s. 203–209.
15. FANG, C.; BOE, K.; ANGELIDAKI, I.: Anaerobic co-digestion of by-products from sugar production with cow manure. *Water Res.*, 45, s. 3473–3480.
16. BOROWSKI, S.; KUCNER, M.: Co-digestion of sewage sludge and dewatered residues from enzymatic hydrolysis of sugar beet pulp, *J. Air & Waste Manag. Assoc.*, 65, 11 (2015), s. 1354–1364.
17. CSIMA, F.; PIKLER, B. V.: Zero fossil energy use concept of a factory operating in the food industry. *Region. Bus. Stud.*, 3, 2011 (1), s. 843–848.
18. HUTŇAN, M. ET AL.: Kofermentácia vysladených rezných rezkov a odpadových vôd cukrovaru. *Listy cukrov. řepař.*, 129, 2013 (1), s. 28–32.
19. CSIMA, F.; SZENDEFY, J.: Synergic consideration of competitiveness and ecology in biogas production and use. *Region. Bus. Stud.*, 1, 2009 (1), s. 45–48.

### Hutňan M., Chávez Fuentes J. J., Barbušová J.: Contribution of Anaerobic Treatment of Spent Sugar Beet Pulp to Energy Balance of Sugar Factory

Spent sugar beet pulp, together with the sugar refinery wastewater, is a suitable material for anaerobic processing. It can be processed in a separate reactor or within the free capacity of an anaerobic reactor of the anaerobic-aerobic wastewater treatment plant (WWTP) of the refinery. Our previous research has shown that it is possible to process beet pulp with sugar refinery wastewater while not significantly influencing the outcome of the anaerobic reactor and its subsequent aerobic cleaning. The present paper discusses the possible energy contribution of such pulp and wastewater processing as well as that of the processing of the whole amount of the beet pulp in a separate reactor. Employing the free capacity of the anaerobic reactor of the sugar refinery WWTP enables covering up to 5 % of the refinery energy demand by biogas from the pulp. Anaerobic processing of the whole amount of pulp from the sugar refinery enables covering 66–100 % of its energy demand, depending on the refinery's energy efficiency, completely excluding fossil fuels.

**Key words:** anaerobic digestion, biogas, energy balance of a sugar refinery, spent sugar beet pulp, wastewater from a sugar refinery.

### Kontaktná adresa – Contact address:

Prof. Ing. Miroslav Hutňan, PhD., Slovenská technická univerzita, Fakulta chemickej a potravinárskej technológie, Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva, Oddelenie environmentálneho inžinierstva Radlinského 9, 812 37 Bratislava, Slovenská republika, e-mail: miroslav.hutnan@stuba.sk