Kofermentácia vysladených repných rezkov a odpadových vôd cukrovaru

COFERMENTATION OF SPENT SUGAR BEET PULP AND WASTEWATER

Miroslav Hutňan, Štefan Tóth*, Igor Bodík, Nina Kolesárová, Michal Lazor, Soňa Lehotská, Miloslav Drtil

Ústav chemického a environmentálneho inžinierstva, FCHPT STU, Bratislava
*Slovenské cukrovary, s. r. o., Sereď

Výroba cukru z cukrovej repy je energeticky náročná. Výrobné náklady preto silne závisia od energetických úspor, resp. od možnosti využívania alternatívnych zdrojov energie. Slovenské cukrovary využívajú už od začiatku 90. rokov minulého storočia na čistenie odpadových vôd anaeróbno-aeróbne technológie. Prvá takáto čistiareň bola spustená do prevádzky v roku 1991 v cukrovare v Rimavskej Sobote (1). Bioplyn, ktorý pri anaeróbnom spracovaní vzniká, je využívaný na výrobu pary v teplárni cukrovaru. Napr. v kampani 1999/2000 bolo v cukrovare Rimavská Sobota vyprodukovaných 94 833 m^3 bioplynu s priemernou produkciou 1 756 $m^3.d^{-1}$ (2), čo je pre cukrovar s kapacitou spracovania 2 tis. t cukrovej repy za deň zaujímavý energetický príspevok.

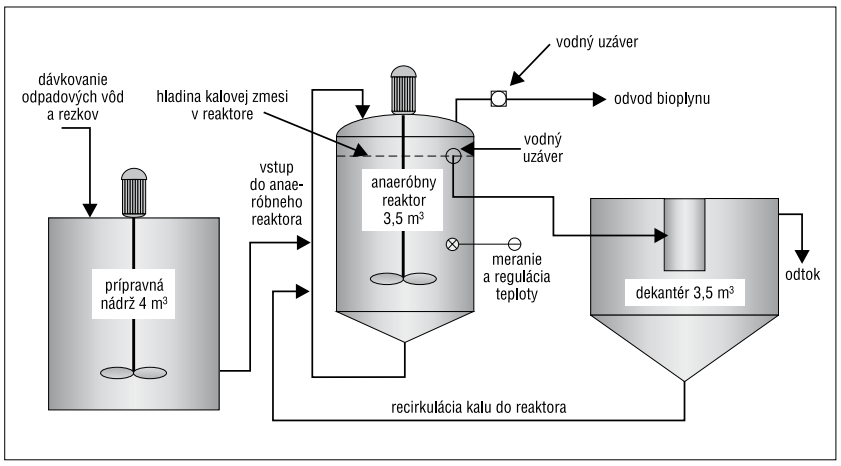
Ďalším materiálom, ktorý je ako vedľajší produkt výroby cukru vhodný na anaeróbne spracovanie, sú vylúhované (vysladené) repné rezky. Vzhľadom na ich vysokú nutričnú hodnotu sú vhodným krmivom pre dobytok. Avšak vysoká sezónna a navyše lokálna produkcia rezkov neumožňuje skŕmiť celé vyprodukované množstvo a vlyvom ich dobrej biologickej rozložiteľnosti prichádza už pri niekoľkodňovom státí k ich znehodnoteniu. Konzervácia sušením je energeticky náročná a nesprávnym silážovaním sa znehodnotí často veľká časť rezkov. Preto sa anaeróbne spracovanie repných rezkov javí ako jedna z racionálnych alternatív nakladania s nimi. Výroba a využitie bioplynu touto technológiou môže značne prispieť k zníženiu prevádzkových nákladov cukrovaru ako aj k zlepšeniu životného prostredia. Anaeróbnym spracovaním rezkov sa zaoberali viacerí autori. V niektorých prácach boli rezky spracovávané po predchádzajúcej acidifikácii (3, 4, 5), v iných bez preacidifikačného stupňa (6, 7, 8). Na samostatné spracovanie rezkov existujú v zahraničných cukrovaroch už aj prevádzkové realizácie, napr. v cukrovare v Kaposvári, v ktorom produkujú počas kampane z rezkov okolo 200 tis. m^3 bioplynu denne (9).

Pre niektoré cukrovary môže byť zaujímavé využitie voľnej kapacity anaeróbneho reaktora na čistiarni odpadových vôd. Mnohé z nich pracujú so zaťažením okolo 2 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ a majú teda teoretickú možnosť ďalšieho zaťažovania. Preto je potrebné zistiť, akým spôsobom sa prejaví spoločné spracovanie odpadových vôd cukrovaru spolu s rezkami (kofermentácia) na množstve produkovaného bioplynu a na kvalite kalovej vody anaeróbneho reaktora, ktorá sa prejaví na činnosti aeróbneho stupňa ČOV. Cukrovary majú stanovené koncentračné limity pre znečistenie vo vypúšťaných vodách a tie nemôžu byť prekročené ani pri spoločnom spracovaní odpadových vôd s rezkami. Preto sme sa v tejto práci zamerali na prešetrenie tejto možnosti.

Experimentálna časť

Možnosti intenzifikácie prevádzky biologickej čistiarne odpadových vôd cukrovaru so spracovaním vysladených repných rezkov boli sledované na poloprevádzkovom modeli miešaného aneróbneho reaktora. Jeho schéma je znázornená na obr. 1. Poloprevádzkový model pozostával z prípravnej nádrže, aneróbneho reaktora a dosadzovacej nádrže. Do prípravnej nádrže, miešanej mechanickým miešadlom, s objemom približne 4 m^3, bola načerpávaná odpadová voda z cukrovaru, pridávané repné rezky a ďalšie činidlá, ako močovina na dodávanie NH_4-N, fosforečnan draselný na dodávanie PO_4-P, či uhličitan sodný na úpravu pH v reaktore. Z prípravnej nádrže čerpalo čerpadlo pripravenú zmes v nastavených časových intervaloch do miešaného anaeróbneho reaktora s objemom reakčnej zmesi 3,5 m^3. Bioplyn bol odvádzaný vo vrchnej časti reaktora, prechádzal cez vodný uzáver a jeho produkované množstvo bolo merané na plynomeri. Kalová zmes z anaeóbneho reaktora pretekala prepadom do dosadzovacej nádrže (dekantéra) s objemom približne 3,5 m^3, kde bol odseparovaný anaeróbny kal

Obr. 1. Schéma poloprevádzkového modelu



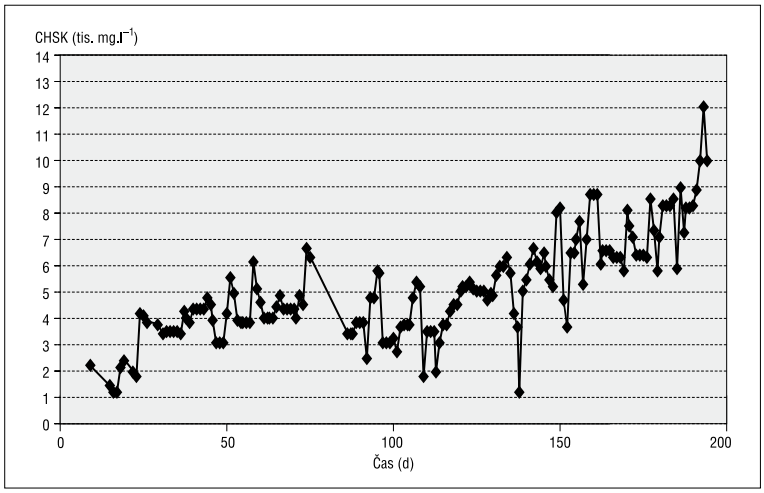
a recirkulovaný do anaeróbneho reaktora. Kalová voda po usadení kalu odtekala do odtoku. Anaeróbny reaktor bol inokulovaný anaeróbne stabilizovaným kalom z komunálnej ČOV v Seredi – Dolnej Strede. Koncentrácia nerozpustených látok v tomto kale bola 13 248 mg.l^{-1}, z čoho bola strata žíhaním – SŽ 8 844 mg.l^{-1} (66,76 %). Následne bol reaktor vyhriaty na 37 °C. Pri jeho nábehu bola použitá odpadová voda cukrovaru, uskladnená v stabilizačnej lagúne od minulej kampane. Počas jedného mesiaca od nábehu reaktora kleslo znečistenie tejto odpadovej vody vplyvom zvyšujúcej sa teploty okolia a samočistiacich procesov z CHSK cca 4 000 mg.l^{-1} pod 1 000 mg.l^{-1}. Preto do začiatku nasledujúcej kampane bol k odpadovej vode pridávaný cukor – sacharóza v takom množstve, aby CHSK (chemická spotreba kyslíka) odpadových vôd bola okolo 4 000 mg.l^{-1}.

Vzhľadom na kvalitu odpadových vôd bolo potrebné aj dávkovanie dusíka. Dusík bol dávkovaný vo forme močoviny. Do začiatku kampane boli použité sušené repné rezky, po začatí kampane boli do reaktora dávkované čerstvé rezky a reálna odpadová voda.

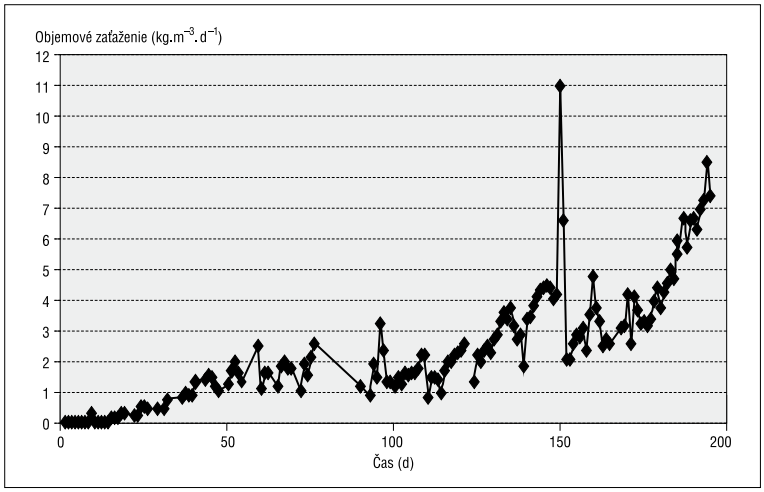
Anaeróbny reaktor bol postupne zaťažovaný odpadovou vodou až po dosiahnutie priemerného zaťaženia, aké je v reálnom anaeróbnom reaktore cukrovaru – 2 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK. Ďalej sa zaťaženie zvyšovalo už len dávkovaním rezkov.

Počas prevádzky modelového zariadenia boli robené analýzy na charakterizáciu repných rezkov (sušina, strata žíhaním, CHSK, celkový organický uhlík – TOC, celkový dusík), odpadových vôd (CHSK, nerozpustené látky, celkový dusík, celkový fosfor, pH), kalu v reaktore (sušina, strata žíhaním, sedimentačné a zahusťovacie vlastnosti), kalovej vody v reaktore (CHSK, nižšie mastné kyseliny – NMK, NH_4-N, PO_4-P, pH) a vznikajúceho bioplynu (CH_4, CO_2, H_2, H_2S).

Obr. 2. Priebeh CHSK odpadových vôd na vstupe do anaeróbneho reaktora



Obr. 3. Priebeh objemového zaťaženia anaeróbneho reaktora



Výsledky a diskusia

Zaťažovanie anaeróbneho reaktora

Začiatočné zaťaženie anaeróbneho reaktora bolo približne 0,3 kg.m^{-3}.d^{-1}. Priebeh hodnôt CHSK odpadových vôd dávkovaných do reaktora je uvedený na obr. 2., priebeh objemového zaťaženia ilustruje obr. 3. Od 95. dňa prevádzky bol reaktor zaťažovaný aj rezkami.

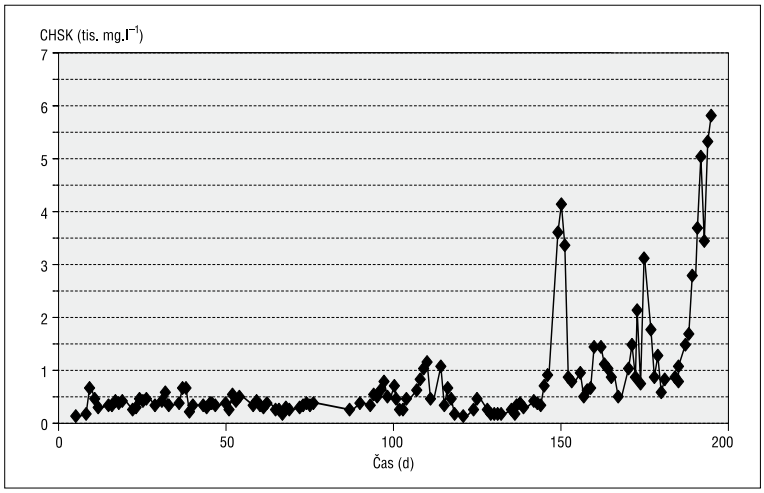
Ako vidieť z obr. 3., zaťaženie 2 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK dosiahol poloprevádzkový model v 52. dni prevádzky. Tomuto zaťaženiu zodpovedá prietok odpadových vôd 1,4 m^3.d^{-1}. To je maximálny prietok, pri ktorom bol reaktor prevádzkovaný.

Z obr. 4. a 5., v ktorých sú uvedené hodnoty CHSK a kocentrácie NMK v kalovej vody z reaktora je zrejmé, že táto nábehová fáza bola bezproblémová. CHSK v reaktore sa väčinou pohybovala pod hodnotou 500 mg.l^{-1}, koncentrácie NMK pod 200 mg.l^{-1}.

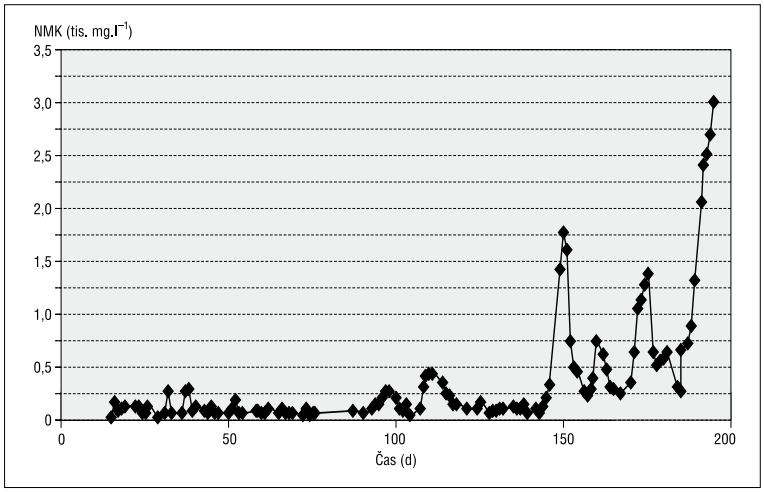
S dávkovaním rezkov do anaeróbneho reaktora sa začalo napriek bezproblémovému stavu anaeróbneho reaktora až v 95. deň prevádzky, pretože sa vyskytli problémy s meraním množstva produkovaného bioplynu. Namerané množstvá boli vždy podstatne menšie, ako zodpovedalo odstránenej CHSK. Keďže s dávkovaním sa začalo pred začiatkom cukrovarskej kampane, boli použité sušené rezky (sušina cca 90 %, strata žíhaním 94 %, špecifická CHSK 1,12 g.g^{-1}, pomer C : N ~36). Začiatočná dávka rezkov bola taká, aby sa zaťaženie zvýšilo o 0,4 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK. O takéto množstvo sa zvyšovalo zaťaženie aj pri každom ďalšom zvýšení. Prvé podstatnejšie zvýšenie CHSK a NMK bolo zaznamenané práve po prvej dávke sušených rezkov (obr. 4. a 5.), avšak v priebehu niekoľkých dní koncentrácia NMK klesla pod 200 mg.l^{-1}. Následné zvýšenie CHSK na 1 140 mg.l^{-1} a koncentrácie NMK na 431 mg.l^{-1} súvisí s nízkou koncentráciou NH_4-N a so znižujúcim sa pH v reaktore. Dôsledným pridávaním uhličitanu sodného a močoviny a udržiavaním pH okolo hodnoty 7 a koncentrácie NH_4-N v kalovej vode v reaktore nad 10 mg.l^{-1} prišlo k poklesu CHSK pod 200 mg.l^{-1} a koncentrácie NMK pod 100 mg.l^{-1}.

Dávkovanie cukru do odpadových vôd sa skončilo v 108. deň prevádzky, kedy CHSK reálnych odpadových vôd dosahovala približne 3 000 mg.l^{-1}. S dávkovaním čerstvých rezkov sa začalo v 115. deň prevádzky modelového zariadenia, pričom zaťaženie rezkami zostalo nezmenené. Sušina čerstvých rezkov bola približne 20 %, strata žíhaním z celkovej sušiny 95 %, špecifická CHSK 1,22 g.g^{-1} a pomer C : N v rozmedzí 50–70. Ďalšie zvýšenie zaťaženia čerstvými rezkami bolo v 130. deň

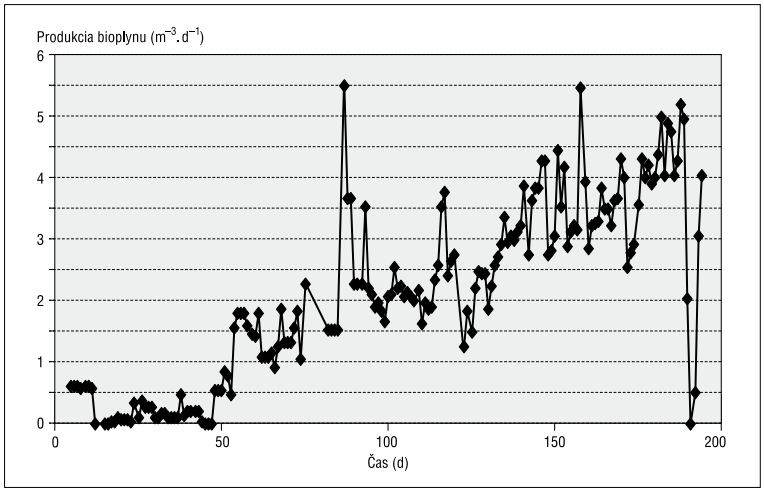
Obr. 4. Priebeh hodnôt CHSK v kalovej vode z anaeróbneho reaktora



Obr. 5. Priebeh koncentrácií NMK v kalovej vode z anaeróbneho reaktora



Obr. 6. Produkcia bioplynu v reaktore



prevádzky – na celkové zaťaženie 2,8 kg.m^{-3}.d^{-1} (CHSK), aj keď vzhľadom na dobrý chod anaeróbneho reaktora to bolo možné už skôr. Opäť, dôvody pomalšieho zvyšovania zaťaženia súvisia s meraním bioplynu.

K zvýšeniu zaťaženia rezkami na 1,2 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK došlo v 138. deň prevádzky, pričom prietok odpadových vôd zostával stále nezmenený: 1,4 m^3.d^{-1}. CHSK odpadových vôd v tom čase už dosahovala hodnotu okolo 6 000 mg.l^{-1}, takže celkové zaťaženie anaeróbneho reaktora bolo 3,6 kg.m^{-3}.d^{-1}. Aj pri tomto zaťažení bola prevádzka anaeróbneho reaktora stabilná. Hodnoty CHSK boli pod 500 mg.l^{-1} a koncentrácia NMK okolo 100 mg.l^{-1}.

Na 144. deň prevádzky bolo zaťaženie čerstvými rezkami zvýšené na 1,6 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK. Pri priemernej CHSK odpadových vôd 7 000 mg.l^{-1} a prietoku odpadových vôd 1,4 m^3.d^{-1} bolo zaťaženie anaeróbneho reaktora 4,4 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK. Do dvoch dní po tomto zvýšení zaťaženia vzrástla CHSK nad 900 mg.l^{-1}. Bola zistená nízka koncentrácia NH_4-N: 1,4 mg.l^{-1}. Po odstavení dávkovania dodatočného substrátu – cukru v dôsledku zvýšenia znečistenia odpadových vôd nebolo nutné dávkovanie močoviny. Avšak ukázalo sa, že pri vyšších dávkach čerstvých rezkov ju bolo potrebné opäť dávkovať. Vplyvom nedostatku amoniakálneho dusíka a vplyvom samotného zvýšenia zaťaženia vzrástla CHSK na 3 621 mg.l^{-1} a koncentrácia NMK na 1 421 mg.l^{-1}. Preto bolo rozhodnuté znížiť prietok odpadových vôd na polovicu – na 0,7 m^3.d^{-1}. Technologická chyba však spôsobila, že čerpadlo čerpalo prítok do reaktora bez prestávky. V 150. deň prevádzky bolo do reaktora načerpaných vyše 3,2 m^3 vôd s rezkami, čo spôsobilo ďalšie preťaženie anaeróbneho reaktora. Načerpaniu väčšieho množstva vôd zabránilo iba to, že sa prípravná nádrž vyprázdnila. CHSK v reaktore vzrástla na vyše 4 100 mg.l^{-1}. V deň načerpania 3,2 m^3 odpadových vôd s rezkami bolo zaťaženie anaeróbneho reaktora viac ako 10 kg.m^{-3}.d^{-1}.

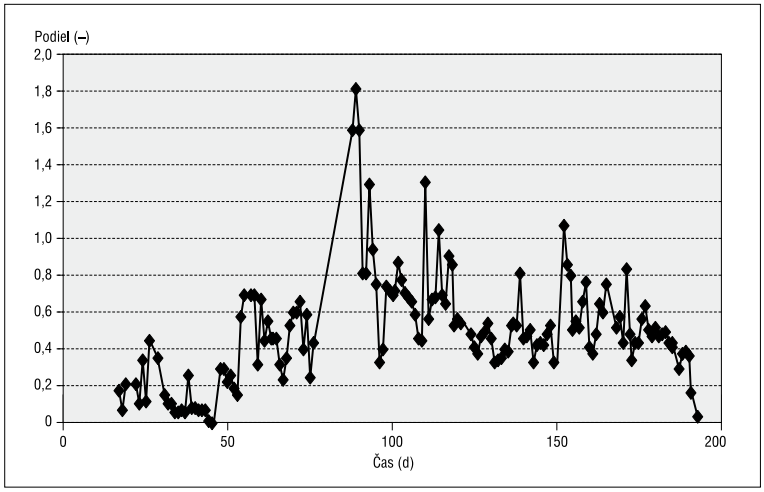
Z celkového stavu reaktora bolo zrejmé, že prišlo iba k čiastočnej inhibícii anaeróbnych procesov, pretože produkcia bioplynu sa celkom nezastavila. Bol predpoklad, že tento stav nie je nezvratný, nedošlo k úplnému kolapsu reaktora, a že kontrolou činnosti reaktora bude možné dosiahnuť ustálený chod reaktora. Denný prietok do reaktora bol znížený pod 1 m^3.d^{-1}. Ustaľovanie prevádzky reaktora trvalo viac ako dva týždne a v 167. deň prevádzky bola CHSK v kalovej vode 507 mg.l^{-1} a koncentrácia NMK 256 mg.l^{-1}. Postupne sa zvyšoval prítok do reaktora a hodnota približne 1,4 m^3.d^{-1} bola dosiahnutá v 179. deň prevádzky. Nastavené zaťaženie 4,4 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK anaeróbny reaktor už nezvládal tak ako nižšie zaťaženia a CHSK sa pohybovali okolo 1 000 mg.l^{-1} a koncentrácie NMK okolo 500 mg.l^{-1}.

Pri poklese koncentrácie NMK na 304 mg.l^{-1} bolo zvýšené v 184. dni prevádzky zaťaženie čerstvými rezkami na približne 2 kg.m^{-3}.d^{-1}. Pri priemernej CHSK odpadových vôd nad 8 000 mg.l^{-1} a prietoku 1,4 m^3.d^{-1} bolo celkové zaťaženie anaeróbneho reaktora 5,2 kg.m^{-3}.d^{-1} CHSK. Toto zvýšenie zaťaženia nespôsobilo žiadne dramatické zvýšenie CHSK ani koncentrácie NMK, preto sme, aj vzhľadom na časové obmedzenie, pristúpili k zvýšeniu zaťaženia rezkami na 2,4 kg.m^{-3}.d^{-1} (185. deň prevádzky). Pri priemernej CHSK odpadových vôd nad 9 000 mg.l^{-1} a prietoku 1,4 m^3.d^{-1} bolo celkové zaťaženie

anaeróbneho reaktora na 6 $kg.m^{-3}.d^{-1}$, čo už je pre typ reaktora s miešaním a suspendovanou biomasou hodnota nadpriemerná.

Po tomto zvýšení zaťaženia vzrástla CHSK do troch dní na 1 317 $mg.l^{-1}$. V ďalších dňoch však hodnoty týchto dvoch sledovaných parametrov značne stúpli. Ich prudké zvýšenie nad 5 000 $mg.l^{-1}$ (CHSK), resp. nad 2 400 $mg.l^{-1}$ (NMK), však nepripisujeme samotnému zvýšeniu zaťaženia, ale problémom s recirkuláciou vratného kalu z dosadzovacej nádrže do anaeróbneho reaktora. Nižší prietok vratného kalu, okolo 0,6 $m^3.d^{-1}$, spôsobil, že značná časť kalu sa presunula z anaeróbneho reaktora do dosadzovacej nádrže. Koncentrácia kalu v reaktore sa znížila z cca 10–12 $g.l^{-1}$ na 5–6 $g.l^{-1}$. Polovičné množstvo kalu znamená, že aj pri nezmenenom zaťažení anaeróbneho reaktora sa zdvojnásobilo zaťaženie anaeróbnej biomasy (kalu) v reaktore.

Obr. 7. Podiel CHSK vyproduk. bioplynu ku CHSK vstupujúcej do reaktora



Produkcia bioplynu

Produkcia bioplynu počas prevádzky anaeróbneho reaktora je uvedená na obr. 6. Priemerný obsah metánu v bioplyne bol 68,3 %. Od začiatku prevádzky modelového zariadenia bola pozorovaná podstatne nižšia produkcia bioplynu, ako bola očakávaná na základe odstránenej CHSK. Postupne boli odstránené možné problémy tohto stavu, ako je upchávanie plynomeru, nepresnosť plynomeru či netesnosť anaeróbneho reaktora (nakoniec bol polypropylénový reaktor vymenený za oceľový, v ktorom bola tesnosť zaručená). Napriek tomu sa nám do konca prevádzky anaeróbneho reaktora tento problém nepodarilo odstrániť.

Jedným z možných vysvetlení menších nameraných množstiev bioplynu je jeho únik cez dosadzovaciu nádrž, kde je zdržná doba odpadovej vody podstatne väčšia, ako je obvyklé. Reálna zdržná doba je viac ako 2 dni, oproti obvyklým hodnotám v jednotkách hodín. Pri pozorovaní hladiny v dosadzovacej nádrži bolo zrejmé, že bublinky bioplynu sa uvoľňovali, bolo však problematické odhadnúť množstvo bioplynu, ktoré z nej uniká.

Na obr. 7. je podiel CHSK vyprodukovaného bioplynu k CHSK vstupujúcej do reaktora. Ak odhliadneme od hodnôt oveľa väčších ako 1, ktoré boli vykázané v dňoch, kedy boli problémy s čerpaním, väčšina hodnôt podielu sa pohybuje pod 0,6. Priemerný podiel CHSK vyprodukovaného bioplynu k celkovej CHSK vstupujúcej do reaktora je 0,5.

Odhad produkcie bioplynu

Problémy s vyššie popísanou produkciou bioplynu neumožňujú určiť produkciu bioplynu v reálnej ČOV, v prípade, že sa v nej budú spracovávať odpadové vody spolu s rezkami. Z prevádzky modelového zariadenia je však zrejmé, že spoločné spracovanie cukrovarských odpadových vôd a rezkov je možné a že reálne zaťaženie anaeróbneho reaktora je 6 $kg.m^{-3}.d^{-1}$. V kampani 2010/2011 bolo v cukrovare dosiahnuté maximálne zaťaženie anaeróbneho reaktora odpadovými vodami 3,425 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK. Produkcia bioplynu pri tomto zaťažení bola 6 985 $m^3.d^{-1}$. Najvyššia produkcia bioplynu v kampani 2010/2011 bola 7 888 $m^3.d^{-1}$ pri objemovom zaťažení 3,06 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK. Priemerná špecifická produkcia bioplynu bola 0,55 $m^3.kg^{-1}$ privedenej CHSK. Teoreticky je možné z 1 kg CHSK získať 0,35 m^3 metánu. Pri 70% obsahu metánu v bioplyne (čo považujeme za reálnu hodnotu) je pri predpoklade 90% konverzie CHSK do bioplynu špecifická produkcia bioplynu 0,45 $m^3.kg^{-1}$ CHSK.

Ak počítame, že 85 % CHSK rezkov sa konvertuje na metán, potom špecifická produkcia metánu je 0,298 $m^3.kg^{-1}$ CHSK rezkov a pri špecifickej CHSK sušiny rezkov 1,22 $kg.kg^{-1}$ bude produkcia metánu 0,364 $m^3.kg^{-1}$ sušiny rezkov. Pri priemernej sušine rezkov 20 % bude špecifická produkcia metánu z čerstvých rezkov 0,0728 $m^3.kg^{-1}$. Pri obsahu metánu 67 % to bude 0,109 $m^3.kg^{-1}$ čerstvých rezkov.

Pri maximálnom zaťažení odpadovými vodami 3,425 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK bude možné zaťaženie čerstvými rezkami 2,575 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK. To predstavuje dávku 2,11 kg sušiny rezkov, resp. 10,55 kg čerstvých rezkov na 1 m^3 anaeróbneho reaktora (47,475 $t.d^{-1}$).

Pri špecifickej produkcii bioplynu z odpadových vôd 0,45 $m^3.kg^{-1}$ CHSK bude pri tomto zaťažení produkcia bioplynu z odpadových vôd 6 935 $m^3.d^{-1}$ a pri špecifickej produkcii bioplynu z čerstvých rezkov 0,109 $m^3.kg^{-1}$ bude produkcia bioplynu z čerstvých rezkov 5 175 $m^3.d^{-1}$.

Priemerné zaťaženie anaeróbneho reaktora v kampani 2010 bolo 2,14 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK. Na celkové zaťaženie 6 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK je teda možné zaťaženie čerstvými rezkami 3,86 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK. Pri takýchto zaťaženiach bude produkcia bioplynu z odpadových vôd 4 333 $m^3.d^{-1}$ a produkcia bioplynu z čerstvých rezkov 7 750 m^3 (71,1 $t.d^{-1}$ čerstvých rezkov).

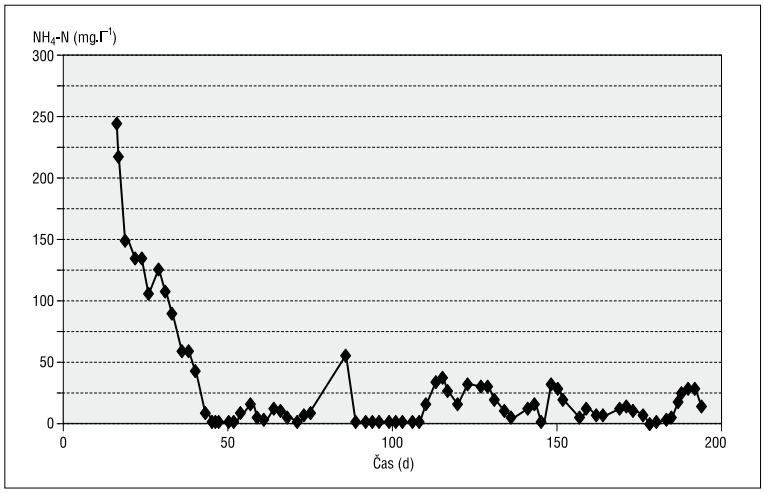
Nutrienty

Koncentrácie NH_4-N v anaeróbnom reaktore modelového zariadenia sú uvedené na obr. 8. a koncentrácie PO_4-P na obr. 9.

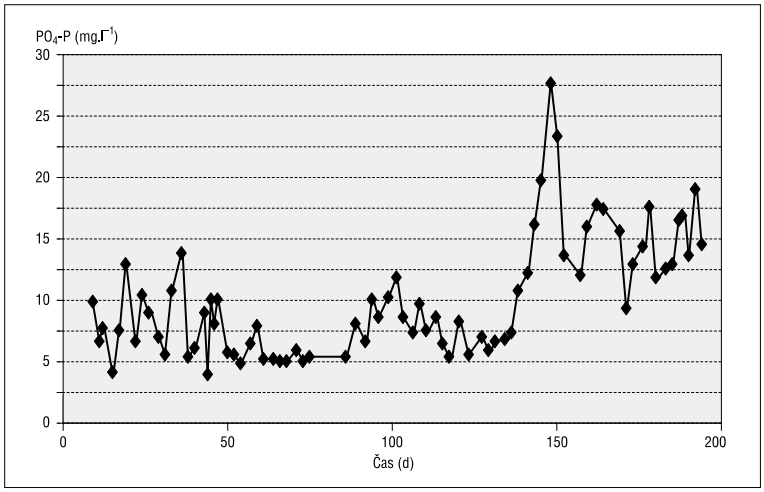
Vysoké koncentrácie NH_4-N na začiatku prevádzky modelu súvisia s tým, že reaktor bol inokulovaný anaeróbne stabilizovaným kalom z komunálnej ČOV, pre ktorý sú takéto koncentrácie NH_4-N v kalovej vode zvyčajné. Po 45 dňoch prevádzky klesla koncentrácia NH_4-N z 244 $mg.l^{-1}$ pod 2 $mg.l^{-1}$. Preto od tohto dňa bol do odpadových vôd dávkovaný dusík vo forme močoviny.

Keď sa vplyvom novej kampane znečistenie odpadových vôd zvýšilo (114. deň prevádzky), bolo dávkovanie močoviny do anaeróbneho reaktora prerušené. Z dôvodu vysokého pomeru C : N čerstvých rezkov sa od 142. dňa prevádzky opäť začala dávkovať močovina a dávkovala sa až do ukončenia prevádzky modelového zariadenia.

Obr. 8. Koncentrácie NH4-N v anaeróbnom reaktore



Obr. 9. Koncentrácie PO4-P v anaeróbnom reaktore



Je dôležité si uvedomiť, že od množstva dávkovanej močoviny závisí priebeh procesov v anaeróbnom reaktore aj v aeróbnom dočistení. Nízka koncentrácia NH_4-N v reaktore bude limitovať priebeh anaeróbneho, resp. aeróbneho rozkladu. Vysoké koncentrácie zas spôsobia, že v aeróbnom stupni nebude odstraňovanie celkového dusíka dostatočné a objaví sa v nadlimitných koncentráciách v odtoku z čistiarne.

Z hľadiska prebiehajúcich procesov v anaeróbnom aj aeróbnom stupni považujeme za dostatočnú koncentráciu NH_4-N vo filtrovanej vzorke z anaeróbneho reaktora do 10 $mg.l^{-1}$.

Potrebnú dávku močoviny sme určili na základe jej dávkovania v etape spracovania reálnych odpadových vôd z cukrovaru a spracovania reálnych čerstvých rezkov v čase medzi 142. a 190. dňom prevádzky modelového zariadenia. V tomto čase bolo do reaktora nadávkovaných 4 673 g močoviny, spracovaných 414,2 kg CHSK odpadových vôd (59,4 m^3) a spracovaných 260,1 kg CHSK rezkov (1 066 kg čerstvých rezkov). Priemerné zaťaženie anaeróbneho reaktora v tomto období bolo cca 4,1 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ (CHSK). Na 1 m^3 spracovaných odpadových vôd bolo pridaných približne 80 g močoviny, resp. 37,3 g dusíka.

Počas prevádzky anaeróbneho reaktora nebolo nutné dávkovať PO_4-P. Jeho koncentrácia podstatnejšie vzrástla po zvýšení zaťaženia čerstvými rezkami na 1,2 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK a pohybovala sa okolo 15 $kg.l^{-1}$ PO_4-P. Na posúdenie vplyvu spoločného spracovanie rezkov a odpadových vôd na koncentráciu NH_4-N v kalovej vode je potrebné brať do úvahy aj výsledky, ktoré sme získali pri samostatnom anaeróbnom spracovaní rezkov (10). Priemerná špecifická produkcia bioplynu bola 0,378 $m^3.kg^{-1}$ sušiny rezkov a priemerná koncentrácia NH_4-N v kalovej vode bola okolo 1 000 $mg.l^{-1}$. Takáto vysoká koncentrácia súvisí s obsahom dusíka vo vysladených rezkoch. Kým pri čerstvých rezkoch, ktoré boli spracovávané v polopreváďzkovom reaktore, priemerný pomer C:N bol 72,5, pri sušených rezkoch, ktoré sa použili iba na začiatku prevádzky polopreváďzkového reaktora a boli použité pri ich samostatnom spracovaní v laboratórnom reaktore, bol tento pomer 36,1. Z tohto poznatku vyplýva, že pri spoločnom spracovaní rezkov a odpadových vôd cukrovaru nie je možné všeobecne predpokladať nízke koncentrácie NH_4-N v kalovej vode anaeróbneho reaktora.

Záver

Dosiahnuté výsledky kofermentácie vysladených repných rezkov a odpadových vôd cukrovaru v polopreváďzkovom modelovom zariadení je možné zhrnúť do nasledovných bodov:

– Priemerné zaťaženie odpadovými vodami, na aké je projektovaný existujúci anaeróbny reaktor ČOV cukrovaru – 2 $kg.m^{-3}.d^{-1}$, bolo dosiahnuté v 52. deň prevádzky. Kvôli riešeniu problémov s bioplynom, ktorého namerané množstvá boli podstatne menšie, ako by zodpovedali podľa odstránenej CHSK, sme s dávkovaním rezkov do anaeróbneho reaktora začali až v 95. deň prevádzky. Zaťaženie 6 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ CHSK bolo dosiahnuté v 185. dni prevádzky modelového zariadenia, pričom zaťaženie rezkami bolo 2,4 $kg.m^{-3}.d^{-1}$.
– Od začiatku prevádzky modelového zariadenia boli namerané produkcie bioplynu podstatne menšie, ako boli očakávané hodnoty podľa odstránenej CHSK. Do konca prevádzky modelového zariadenia sa nám nepodarilo zistiť príčinu tohto stavu. Jednou z možností je úniku bioplynu cez dosadzovaciu nádrž, kde je zdržná doba odpadovej vody podstatne väčšia, ako je obvyklé.
– Počas spoločného spracovania odpadových vôd a rezkov sa ukázala potreba dávkovania dusíka do anaeróbneho reaktora. Na 1 m^3 spracovaných odpadových vôd bolo pridaných približne 80 g močoviny, respektíve 37,3 g dusíka. Počas prevádzky anaeróbneho reaktora nebolo potrebné dávkovať PO_4-P, jeho koncentrácia v kalovej vode dokonca vzrástla. Ak by sa ukázalo, že v dôsledku spoločného spracovania odpadových vôd a rezkov v ČOV cukrovaru vzrástla koncentrácia PO_4-P, jednoduchým spôsobom jeho eliminácie je simultánne chemické zrážanie v aeróbnom stupni.
– Je možné očakávať, že spoločné spracovanie odpadových vôd a repných rezkov nebude mať negatívny vplyv na chod ČOV cukrovaru. Koncentrácia amoniakálneho dusíka na vstupe do aeróbneho stupňa bude závisieť od pomeru C:N v spracovávaných rezkoch.

Poďakovanie: Tento článok vznikol 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

V odbornej literatúre je možné nájsť informácie o samostatnom anaeróbnom spracovaní vysladených repných rezkov alebo ich spracovaní s ďalšími substrátmi. Pre niektoré cukrovary, ktoré majú voľnú kapacitu anaeróbneho reaktora na anaeróbno-aeróbnej čistiarni odpadových vôd (ČOV), však môže byť zaujímavá aj možnosť spoločného spracovania vysladených repných rezkov a odpadových vôd cukrovaru. Táto možnosť bola študovaná tejto práci, v ktorej sú uvedené výsledky prevádzky poloprevádzkového modelu anaeróbneho reaktora s objemom 3,5 m^3. V tomto reaktore boli spracovávané repné rezky a odpadové vody, ktoré boli produkované počas kampane v cukrovare. Výsledky prevádzky ukázali, že kofermenácia týchto materiálov je možná a že obsah amoniakálneho dusíka v kalovej vode anaeróbneho reaktora sa môže dokonca znížiť. Obsah dusíka v kalovej vode však závisí od pomeru C:N v spracovaných rezkoch. Odporúčané celkové objemové zaťaženie anaeróbneho reaktora je 6 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ (CHSK), pričom pri bežnej prevádzke cukrovaru predstavuje viac ako polovicu zaťaženie vysladenými rezkami. Pri kofermentácii odpadových vôd a vysladených rezkov v anaeróbnom reaktore ČOV cukrovaru je možné očakávať 1,5 až 2násobnú produkciu bioplynu oproti spracovaniu samostatných odpadových vôd.

Kľúčové slová: anaeróbne procesy, vysladené repné rezky, odpadové vody cukrovaru, kofermentácia.

Literatúra

1. Hutňan, M. et al.: Biologické čistenie odpadových vôd v cukrovare Rimavská Sobota. *Listy cukrov. řepař.*, 112, 1996 (7–8), s. 232–235.
2. Hutňan, M.; Drtil, M.; Horňák, M.: Anaeróbne spracovanie odpadových vôd a odpadov z cukrovaru. *Vodní hosp.*, 51, 2001 (9), s. 256–258.
3. Hutňan, M.; Drtil, M.; Mrafková, L.: Anaerobic biodegradation of sugar beet pulp. *Biodegrad.*, 11, 2000 (4), s. 203–211.
4. Hutňan, M. et al.: Two-step pilot-scale anaerobic treatment of sugar beet pulp. *Polish J. Env. Stud.*, 10, 2001 (4), s. 237–243.
5. 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.
6. Weiland, P.: One- and two-step anaerobic digestionn of solid agroindustrial residues. *Water Sci. Technol.*, 27, 1993 (2), s. 145–151.
7. 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.
8. Máca, J.; Zábranská, J.; Jeníček, P.: Anaerobní rozklad řepných řízků. *Listy cukrov. řepař.*, 128, 2012 (2), s. 66–69.
9. Csima, F.; Pikler, B. V.: Zero fossil energy use concept of a factory operating in the food industry. *Region. and Bus. Stud.*, 3, 2011 (1), s. 843–848.
10. Mičáková, J.: *Možnosti anaeróbneho spracovania vysladených repných rezkov v cukrovare.* Bratislava, 2012, 81 s. Diplomová práca na Ústave chemického a environmentálneho inžinierstva FCHPT STU v Bratislave.

Hutňan M., Tóth Š., Bodík I., Kolesárová N., Lazor M., Lehotská S., Drtil M.: Cofermentation of Spent Sugar Beet Pulp and Wastewater

In factual literature it is possible to find information about anaerobic treatment of spent sugar beet pulp in a mono-digestion systems or co-digested with other substrates. For some sugar beet factories with free capacity of the anaerobic reactor on the anaerobic-aerobic wastewater treatment plant (WWTP), cofermentation of spent sugar beet pulp and wastewater may be an interesting option. This possibility was studied in this work, which presents the results of the operation of a pilot plant with anaerobic reactor with the volume of 3.5 m^3. Sugar beet pulp and wastewater, which were produced during the campaign in the sugar beet factory, were processed in this reactor. The results of the pilot plant operation showed that cofermentation of these materials is possible and that the content of ammonia nitrogen in the anaerobic reactor sludge water can even be lower. However, nitrogen content in sludge water depends on the C:N ratio of the processed sugar beet pulp. The recommended organic loading rate of an anaerobic reactor is 6 $kg.m^{-3}.d^{-1}$ (COD) and during normal operation of the sugar beet factory more than half of this load is supplied by the sugar beet pulp. Cofermentation of wastewater and spent sugar beet pulp in an anaerobic reactor of sugar beet factory WWTP is expected to result in 1.5- to 2-fold production of biogas compared to the treatment of only wastewater.

Key words: anaerobic treatment, cofermentation, spent sugar beet pulp, wastewater of sugar beet factory.

Kontaktná adresa – Contact adress:

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