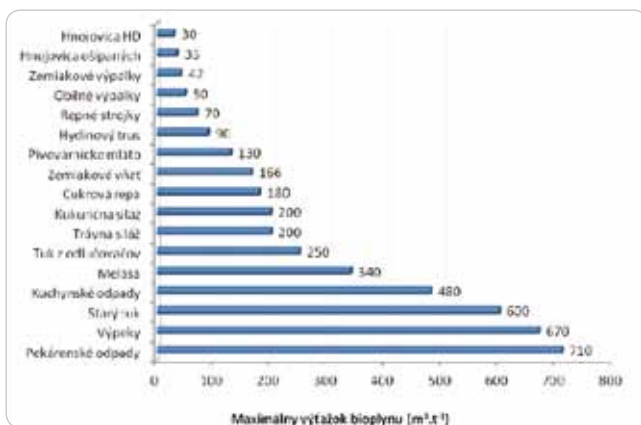


# Návrh environmentálne prijateľných technológií

## pre zásobovanie energiami objektov bez štandardného pripojenia energetických médií

V objektoch, kde nie je možné štandardné pripojenie energetických zdrojov, sa ako jedna z možností úspor palív, výroby elektrickej energie a tepla z kogenerácie a zároveň ochrany životného prostredia javí využívanie obnoviteľných zdrojov energie a energetické zhodnotenie vznikajúcich odpadov pomocou anaeróbnej fermentácie. Príkladom môže byť väčšia obytná chata s celoročnou prevádzkou, kde ako obnoviteľný zdroj energie prichádza do úvahy solárna energia a využitie biologicky rozložiteľných odpadov z kuchyne a kalov z malej čistiareň odpadových vôd. Využitie potenciálu v tejto produkcii umožňuje maximálne zhodnotiť všetky biologické zložky odpadov, ktoré v takomto prostredí vznikajú a ktorých likvidácia je problematická. Zároveň sa zachová dobré životné prostredie. Pomocou anaeróbnej fermentácie sa dá aj v oblasti hospodárenia s odpadom dosiahnuť redukcia emisií vypúšťaných do atmosféry.

Anaeróbna fermentácia vlhkých organických materiálov je mikrobiologický rozklad organických látok bez prítomnosti kyslíka pri súčasnom vzniku bioplynu, nazývaná aj metanogénne kysnutie. Bioplyn (kalový plyn) je zmes plynov obsahujúca zväčša 55 až 75 % metánu a ostatných plyných zložiek (tab. 2.). Pri čistom metáne možno dosiahnuť maximálnu výhrevnosť až 35,8 MJ. m<sup>-3</sup>, avšak prevádzkové pásmo využitia bioplynu sa pohybuje v rozmedzí od 50 do 70 % objemového obsahu metánu s výhrevnosťou od 17,9 do 25,6 MJ. m<sup>-3</sup>. Na obr. 1 je zobrazený maximálny výťažok bioplynu z rôznych druhov substrátov [1].



Obr. 1 Výťažok bioplynu z rôznych substrátov [3]

### Vstupné parametre – súčasný stav

Vstupný materiál	Sušina(odhad) <sup>1)</sup> (%)	Množstvo (kg.rok <sup>-1</sup> )
Kuchynský odpad	21	21750
Kal z ČOV	25	18850
Voda potrebná v procese	0	27000
<b>Celkovo</b>	<b>13,7</b>	<b>47600</b>

Tab. 1 Prehľad vstupných zdrojov

<sup>1)</sup>Zdroj na približné určenie sušiny [4]

V existujúcom objekte sú v súčasnosti prevádzkované nasledujúce zdroje energií a technológií, ktoré vstupujú do procesu návrhu nových riešení zásobovania energiami:

- stály zdroj vody – zásobníky vody,
- elektrická prípojka 380 V (veľké straty vedením – nestabilný zdroj),
- malá mechanicko-biologická čistiareň odpadových vôd,
- kozubová vložka.

### Návrh technologického riešenia

Posudzovaný objekt má sedlovú strechu s južnou orientáciou a pripojenie elektrickej energie pomocou káblového rozvodu 380 V, pričom pre veľkú vzdialenosť zdroja vznikajú značné dĺžkové straty vedením. Vykurovanie aj príprava teplej úžitkovej vody sú zabezpečené pomocou elektrickej energie. Ako podporný zdroj tepla slúži kozub v centrálnej časti chaty. Počas prevádzkovania chaty s kompletnými hygienickými priestormi – WC, sprcha s časovačom – vznikajú odpadové vody, ktoré sa čistia v malej mechanicko-biologickej čistiarni odpadových vôd, a zároveň vzniká kal, ktorý treba likvidovať. Likvidácia tohto odpadu je organizačne aj finančne náročná. Ďalšou zložkou odpadu, ktorú je vhodné energeticky zhodnotiť, je kuchynský odpad, ktorý vzniká pri prevádzkovaní kuchyne s celoročnou prevádzkou. Na základe týchto vstupných parametrov je navrhnutá nasledujúca technológia:

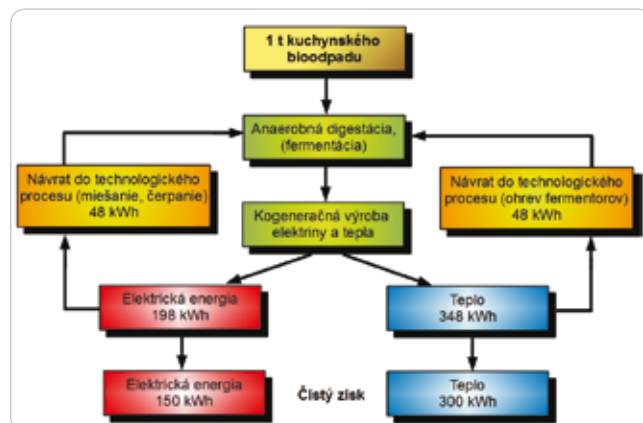
- malá bioplynová stanica;
- zásobník splaškových vôd, usadzovacia nádrž,
- homogenizačná nádrž,
- fermentor – biodigestor,
- zásobník bioplynu;
- mikrokogeneračná jednotka;
- podporné technológie:
- solárne kolektory,
- drvička odpadu (kuchynský odpad),
- zachytávanie dažďovej vody.

Aby sa udržala stabilita anaeróbnej fermentácie, treba v pracovnom priestore fermentora zaistiť optimálne podmienky, t. j. druh a množstvo surového materiálu, vysoký obsah prchavých organických látok, vlhkosť, optimálnu teplotu, pH, pomer uhlíkatých a dusíkatých látok. Preto sa navrhuje podporná technológia v podobe vyhrievania fermentora pomocou tepla získaného zo solárneho zdroja energie a rozdrvivania kuchynského odpadu na menšie častice vhodné pre proces anaeróbnej fermentácie, zároveň možno v procese využiť zachytenú dažďovú vodu.

### Opis jednotlivých technológií

#### Malá bioplynová stanica

V bioplynovej stanici sa bude spracovávať kuchynský odpad a odpad v podobe kalu z ČOV. Časť vyrobenej elektrickej energie môže byť využitá napr. na pohon čerpadiel alebo ďalších častí bioplynovej stanice.



Obr. 2 Schéma technologického procesu bioplynovej stanice

Na obr. 2 je zobrazený proces splyňovania – anaeróbnej digestcie (na mokrú fermentáciu) a približné bilancie pre vzorku 1 tony

kuchynského bioodpadu. Získaná časť energie môže byť použitá opäť v technologickom procese na ohrev fermentora alebo na pohon pri miešaní, čerpaní alebo odvodňovaní.

Charakteristika	Metán CH <sub>4</sub>	Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	Vodík H <sub>2</sub>	Sulfán H <sub>2</sub> S	Bioplyn 60% CH <sub>4</sub> , 40% CO <sub>2</sub>
Objemový podiel (%)	55-70	27-47	1	3	100
Výhrevnosť (MJ. m <sup>-3</sup> )	35,8	-	10,8	22,8	21,5
Hranica zápalnosti (obj. %)	5-15	-	4-80	4-45	6-12
Zápalná teplota (°C)	650-750	-	585	-	650-750
Hustota (kg. m <sup>-3</sup> )	<b>0,72</b>	<b>1,98</b>	<b>0,09</b>	<b>1,54</b>	<b>1,2</b>

Tab. 2 Chemické zloženie bioplynu

Predpokladaná denná produkcia bioplynu určená špecifickou produkciou bioplynu pre jednotlivé zložky je prepočítaná pomocou vstupných parametrov (tab. 3).

Zložka	Špecifická produkcia bioplynu (m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> .SŽ <sup>-1</sup> )	Vyprodukované množstvo bioplynu (m <sup>3</sup> .deň <sup>-1</sup> )
Kuchynský odpad	0,482	21,9
Kal z ČOV	0,613	28,7
<b>Celkovo</b>	<b>0,55</b>	<b>50,6</b>

Tab. 3 Predpokladaná produkcia bioplynu  
2) zdroj na určenie [2], 3) zdroj na určenie [3]

### Zásobník splaškových vôd, usadzovacia nádrž

Využívajú sa už existujúce nádrže na usadzovanie a vyhnívanie kalu.

### Homogenizačná nádrž

Surový kal z usadzovacej nádrže splaškových vôd sa bude odpúšťať do homogenizačnej nádrže, kde sa bude upravovať a odtiaľ prečerpávať do komory fermentora a tam bude vyhnívať; zároveň sa tam bude privádzať rozdrvený kuchynský odpad. Homogenizačná nádrž bude slúžiť na zmiešavanie vstupných materiálov, pričom dokonalým premiešaním vznikne jednotná a rovnomerná látka, ktorú treba dávkovať do fermentora.

### Fermentor

Technológia dávkovania homogenizovaného materiálu do fermentora sa bude riešiť semikontinuálne, t. j. doba medzi jednotlivými dávkami bude kratšia ako doba zdržania materiálu vo fermentore. Materiál sa bude dávkovať 1-krát za deň. Reaktor bude jednostupňový, t. j. všetky procesy anaeróbného procesu budú prebiehať súčasne v jednom reaktore. Materiál vstupujúci semikontinuálne do fermentora má malý vplyv na zmenu pracovných parametrov fermentora (teplota, homogenita). Odhadované maximálne zaťaženie reaktora je 10 kg SŽ. m<sup>-3</sup>. deň<sup>-1</sup> (SŽ – straty žíhaním – množstvo CH<sub>4</sub> vyprodukovaného z 1 kg surového materiálu žíhaním). V uzatvorenom fermentore bude výsledným produktom bioplyn. Vo vyhnívacej komore bude kal vyhnívať počas anaeróbného procesu okolo 10 dní. Na to, aby bolo vyhnívanie čo najúčinnšie, sa bude vyhnívacia komora zahrievať na optimálnu teplotu okolo 37 – 39 °C (pomocou výmenníka cez solárne kolektory). Vzniknutý bioplyn bude odvádzaný do zásobníka bioplynu a ďalej podľa potreby spaľovaný v kogeneračnej jednotke a využije sa na výrobu dodatočnej elektrickej energie a tepla. Vzniknutý odpadový digestát bohatý na živiny môže byť použitý ako kvalitné hnojivo.

Technické riešenie:

Fermentor bude tvorený z čiastočne zapustenej kovovej nádrže s kruhovým priemerom s užitočným objemom 10 m<sup>3</sup>, s priamym zachytávaním bioplynu nad nádržou s kapacitou maximálne 2 m<sup>3</sup>. Vnútri sú špirálovo vedené ohrevné rúrky napájané cez výmenník tepla zo solárnej zostavy, pri procese anaeróbného fermentácie je súčasťou fermentora miešadlo.

### Kogeneračná jednotka

V kogeneračnej jednotke sa bude realizovať kombinovaná výroba elektriny a tepla. Pôjde o plynový spaľovací motor, ktorý poháňa trojfázový generátor. Ten bude vyrábať elektrickú energiu. Elektrická energia môže byť využitá na pokrytie spotreby počas najväčšej energetickej špičky, prípadne na premenu na tepelnú energiu. Motory kogeneračných jednotiek môžu pri výrobe elektrickej energie dosiahnuť účinnosť 32 až 40 %. Využitím odpadového tepla motora možno dosiahnuť celkovú účinnosť 80 – 85 %. V porovnaní s klasickou výrobou tepla a elektrickej energie možno takýmto spôsobom ušetriť až 40 % paliva.

### Technické riešenie

Tvoria ho stroje s malým výkonom. Vyznačujú sa blokovým usporiadaním, ktoré obsahuje sústrojenstvo motor – generátor, kompletne tepelné zariadenie jednotky, sústavu tlmičov výfuku a protihlukový kryt, do ktorého je zabudovaný elektrický rozvádzač. Štandardná jednotka je vo verzii s asynchrónnym generátorom určená na paralelnú prevádzku so sieťou s napätím 400 V, pre teplotné okruhy 90/70 °C.

Základné technické údaje	Hodnota	Jednotka
Maximálny elektrický výkon	23	kW
Maximálny tepelný výkon	44	kW
Účinnosť elektrická	31,2	%
Účinnosť tepelná	64,8	%
Účinnosť celková (využitie paliva)	96,0	%
Spotreba plynu (pri 0°C; 101,325 kPa)	12,1	Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup>

Tab. 4 Technické parametre vzorovej kogeneračnej jednotky na bioplyn [5]

### Podporná technológia

#### Solárna zostava

Solárny zásobník	1 ks
Objem zásobníka - celkom/TV/vykurovanie/fermentor (l)	680/180/250/250
Trvalý výkon TV (pri teplote TV 45°C) pri teplote 85/65°C (l.h <sup>-1</sup> )	610
Max. prípojovací tlak pre TV (MPa)	1
Max. prípojovací tlak pre vykurovaciu vodu (MPa)	0,3
Solárny výmenník tepla	1 ks
Vykurovacia plocha (m <sup>2</sup> )	2,7
Objem solárnej kvapaliny (l)	17,5
Tlaková strata vo vykurovacej špirále pri max. prietoku (kPa)	2
Max. vstupná teplota solárnej kvapaliny (°C)	95
Max. teplota TV (°C)	85
Výmenník tepla pre vykurovanie a fermentor	2 ks
Vykurovacia plocha (m <sup>2</sup> )	0,82
Prietok vykurovacej vody (l.h <sup>-1</sup> )	2000
Objem vykurovacej vody vo vykurovacej špirále (l)	4,8
Tlaková strata vo vyk. špirále pri max. prietoku vyk. vody (kPa)	4,5
Max. vstupná teplota vykurovacej vody (°C)	95
Max. teplota TV (°C)	85
Pohotovostná spotreba energie 4) (kWh.d <sup>-1</sup> )	≤ 3,6
Vnútorý priemer (mm)	950
Priemer bez izolácie (mm)	750
Výška (mm)	1895

Tab. 5 Vzorové technické parametre solárnej zostavy  
4) pri teplote vody v zásobníku 65 °C a okolitej teplote 20 °C

Solárny systém bude slúžiť na prípravu teplej úžitkovej vody a v prípade potreby aj na podporu vykurovania, kde všetky potrebné prvky systému, čerpadlová skupina, trivalentný zásobník a regulátor tvoria jeden celok [12]. Pri dostatočnej intenzite slnečného žiarenia začne čerpadlo dopravovať v rôznych výkonových stupňoch solárnu

kvapalinu do panelov, kde preberie tepelnú energiu, ktorú ďalej odovzdáva do zásobníka. Po nahriatí zásobníka dôjde k vypnutiu čerpadla a kvapalina stečie samospádom do zásobníka. Ide o beztlakový systém ovládaný solárnym regulátorom. Trivalentný zásobník bude slúžiť na ohrev fermentora, zásobovanie TV a prípadnú podporu vykurovania. Vzorové technické parametre celej zostavy solárnych kolektorov sú zobrazené v tab. 5.

### Drvič odpadu

Návrh: Profesionálny drvič s indukčným motorom s vlastným chladením pre trvalo zaťažené prevádzky v jednofázovom vyhotovení s elektrickým príkonom 2,035 kW, užitočným výkonom 1,5 kW a otáčkami 1 450 min<sup>-1</sup>. Rozdrvený kuchynský odpad sa bude odvádzať potrubím priamo do homogenizačnej nádrže.

### Zachytávač dažďovej vody

Zachytenú vodu možno dopĺňať do procesu alebo ju možno využiť ako úžitkovú vodu na splachovanie toaliet.

Návrh: Pivničný zásobník dažďovej vody – PET, UV stabilný, pivničný zásobník kvádového tvaru na dažďovú vodu s objemom 2 000 litrov. Je vhodný na osadenie do pivničných priestorov s celoročným využitím. V hornej časti má zabudovaný revízný 400 mm otvor s uzatvárateľným krytom. Zásobník je spevnený oceľovými pozinkovanými obručami.

Objem (l)	Dĺžka (mm)	Šírka (mm)	Výška (mm)	Hmotnosť (kg)
2000	2050	720	1640	130

Tab. 6 Technické údaje zachytávača dažďovej vody [6]

### Ekonomika prevádzky

Pri priemernej ročnej produkcii odpadov v množstve cca 41 ton vstupujúcich do procesu fermentácie získame približne 51 m<sup>3</sup> bioplynu denne. Z danej produkcie možno prevádzkovať kogeneračnú jednotku s hodinovou spotrebou bioplynu 12,1 Nm<sup>3</sup>. h<sup>-1</sup>; ak je za fermentorom zaradený zásobník bioplynu, možno kogeneračnú jednotku prevádzkovať diskontinuálne počas najväčšej energetickej špičky. Ohrev TUV a doplnkové vykurovanie bude možné prevádzkovať pomocou nainštalovaných solárnych kolektorov.

Spálením 1 000 m<sup>3</sup> bioplynu s výhrevnosťou sa získa [3]:

- 2 178 kWh elektrickej energie,
- 11,4 GJ tepelnej energie.

V našom prípade pri ročnej produkcii bioplynu 18 615 m<sup>3</sup> je to približne:

- 40 544 kWh elektrickej energie,
- 212 GJ tepla ročne.

Pri cene elektrickej energie 0,13 eur. kWh<sup>-1</sup> [7, 9, 10, 11] bude možné ušetriť cca 5 300,- eur ročne na elektrickú energiu a získať úspory z tepelnej energie zo solárneho zdroja a likvidácie kuchynských odpadov a odpadu v podobe kalu z ČOV.

Investície:

a) Malá bioplynová stanica:

- zásobník splaškových vôd, usadzovacia nádrž – využitie existujúcich nádrží;
- homogenizačná nádrž, fermentor, zásobník bioplynu – na osadenie možno využiť jednoduché kovové zásobníky; najnákladnejšími prvkami sú rozvodná, čerpacia a regulačná technika;

b) Mikrokogeneračná jednotka – výhodou je minimalizácia nákladov na rozvod energie, pretože tepelná aj elektrická energia vznikajú na mieste svojej spotreby, čím sú minimalizované náklady na prípojky energií a rozvody; súčasne sa redukovujú straty v rozvodných sieťach.

Kogeneračnú výrobu energie pri mikrovýkone nemožno z hľadiska ekonomickej návratnosti vôbec posudzovať, pretože táto oblasť je stále vo vývoji, hlavne čo sa týka zvyšovania účinnosti, takže samotný vývoj (zlepšovanie, testovanie) je premietnutý aj do ceny jednotky ušitej na mieru. Ako príklad možno uviesť ceny kogeneračných jednotiek pre väčšie bioplynové stanice zobrazené v tab. 7 (ceny sú zoradené podľa výkonov dosiahnutých pri danej spotrebe bioplynu).

Elektrický výkon (kW)	Tepelný výkon (kW)	Spotreba bioplynu <sup>5)</sup> (Nm <sup>3</sup> .h <sup>-1</sup> )	Cena <sup>6)</sup>
299	293	109	390000
330	395	145	442000
526	545	222	540000
635	662	272	600000
834	905	358	660000
1063	1081	445	742000
1127	1108	460	850000
1413	1385	575	1027000
1489	1446	603	1058000
1127	1108	460	850000
1413	1385	575	1027000
1489	1446	603	1058000

Tab. 7 Príklady cien kogeneračných jednotiek podľa výkonu a spotreby bioplynu [8]

<sup>5)</sup> spotreba bioplynu pri 55 % obsahu metánu

<sup>6)</sup> zahŕňa aj cenu za dopravu

c) Podporné technológie:

- solárne kolektory – celá súprava maximálne 15 000 eur,
- drvička odpadu (kuchynský odpad) – maximálne 500 eur,
- zachytávanie dažďovej vody – cena aj s filtračnou technikou maximálne 1 000 eur.

### Záver

Európska únia chce do roku 2020 pokrývať 20 % spotreby energie z obnoviteľných zdrojov. Komisia stanovila členským krajinám EÚ národné ciele na základe východiskového stavu a domáceho potenciálu. Slovensku bol stanovený limit 14 %. Do konca júna 2010 musela každá členská krajina predložiť národný akčný plán, ktorý stanovil špecifické ciele ohľadom podielu obnoviteľných zdrojov na spotrebe v doprave a pri výrobe elektriny a tepla do roku 2020. Plány musia brať do úvahy aj opatrenia na zvyšovanie energetickej efektívnosti. Obsahujú aj plán spolupráce medzi miestnymi, regionálnymi a národnými úradmi, plánované štatistické transfery či spoločné projekty s nečlenskými krajinami, ako aj národné politiky rozvoja využívania biomasy a mobilizácie zdrojov biomasy na iné použitie. Technologický návrh daného riešenia doplnkovej výroby energie je plne v súlade s energetickou koncepciou SR a so zámermi EÚ vyjadrenými napr. v Kjótskom protokole a smernici EP 2009/28/ES o podpore využívania energií z obnoviteľných zdrojov, z ktorej vyplýva povinnosť SR znížiť emisie CO<sub>2</sub>.

Decentralizované riešenia využitia obnoviteľných zdrojov energie sú najlepším začiatkom dodržiavania spomínaných záväzkov, ktoré SR prijala. Preto treba takéto a podobné projekty v plnej miere podporovať finančne aj legislatívne. V danom prípade sa jednou z možností financovania javí aj propagačná testovacia prevádzka financovaná spoločnosťami dodávajúcimi jednotlivé komponenty navrhovanej zostavy, prípadne projekčnou a realizačnou firmou.

Nesporný je však fakt, že pri takto navrhovanej technológii možno takmer úplne vylúčiť potrebu získavania energie zo štandardných zdrojov, ktorých získavanie je v daných podmienkach finančne aj prakticky veľmi náročné; zároveň možno energeticky zhodnotiť vznikajúce biologicky rozložiteľné odpady, ktorých likvidácia je tiež náročná. Tým dochádza k veľmi pozitívnemu vplyvu na životné prostredie.

### Podakovanie

Tento príspevok vznikol vďaka podpore v rámci operačného programu Výskum a vývoj pre projekt Centrum výskumu účinnosti integrácie kombinovaných systémov obnoviteľných zdrojov energií s kódom ITMS 26220220064, spolufinancovaný zo zdrojov Európskeho fondu regionálneho rozvoja.

## Literatúra

- [1] Bodík, I. – Sedláček, S. – Kubaská, M.: Možnosti spracovania biomasy s cieľom produkcie bioplynu na čistiarniach odpadových vôd. In: Produkcia bioplynu, pyrolýza a splyňovanie – efektívny spôsob zhodnotenia biomasy ako obnoviteľného zdroja energie (Possibilities to exploit the biomass to produce the biogas from wastewater treatment. In: Production of biogas, pyrolysis and gasification – effective way how to assess the biomass as renewable source). Zborník z odborného seminára. Bratislava: FCHPT STU, 2010. s. 80 – 87. ISBN 978-80-89088-88-1
- [2] Gaduš, J.: Bioplyn – jeho výroba a využitie v podmienkach Slovenska. (Biogas – its production and exploitation in Slovakia). Mechanizačná fakulta, SPU v Nitre. PPT prezentácia, 19. 2. 2008.
- [3] Váňa, J.: Anaerobní digesce komunálních bioodpadů. (Anaerobic digestion of municipal waste)
- [4] Kutil, J. – Dohányos, M.: Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů. (Effective exploitation and liquidation of sewage sludge)
- [5] <http://www.intechenergo.sk/>
- [6] <http://www.elwa.sk/>
- [7] <http://epp.eurostat.ec.europa/Electricity prices by type of user; Medium size households>
- [8] <http://zorg-biogas.com/>
- [9] Tkáč, J. – Hvizdoš, M.: Decentralizovaná výroba energie z obnoviteľných zdrojov. In: EE časopis, 2005, roč. 11, č. mimoriadne, s. 104 – 106. ISSN 1335-2547.
- [10] Urban, F. – Kučák, L.: Analýza cien tepla pre konečného spotrebiteľa. In: Acta Mechanica Slovaca, 2004, roč. 8, č. 3-A, s. 591 – 596. ISSN 1335-2393.
- [11] Fodor, P. – Urban, F.: Technicko-ekonomické modelovanie prevádzky energetických strojov a zariadení. 30. Setkání kateder mechaniky tekutin a termomechaniky: sborník příspěvků. Špindlerův Mlýn, 22. – 24. 6. 2011. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2011. s. 33 – 36. ISBN 978-80-7372-747-5.
- [12] VRANAY, F. – VRANAYOVÁ, Z.: Heating for intelligent building – case study. In: Visnik nacionalnoho universitetu Lvivska politehnika. No. 627 (2008), p. 226 – 231. ISSN 0321-0499.

**Ing. Natália Jasminská, PhD.**  
natalia.jasminska@tuke.sk

**Ing. Katarína Azariová**  
kazariova@gmail.com

**Ing. Patrícia Čekanová,**  
patricia.cekanova@tuke.sk

**Technická univerzita v Košiciach**  
**Strojnícka fakulta**  
**Katedra energetickej techniky**