

## Tepelné hodnocení konstrukčních řešení bioplynových stanic Thermal evaluation of biogas plants construction solutions

Jan Novotný<sup>1)</sup>, Jan Malat'ák<sup>1)</sup>, Jiří Bradna<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Česká zemědělská univerzita v Praze

<sup>2)</sup>Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.

### Abstrakt:

*Článek se zabývá tepelným hodnocením vybrané zemědělské bioplynové stanice s návrhem konstrukčního řešení fermentoru a dofermentorů vzhledem k jeho tepelným ztrátám. Rovněž se zabývá výběrem vhodné tepelné izolace s ohledem na její cenu a mechanické a izolační vlastnosti.*

*Úkolem měření bylo zjistit tepelný tok obvodovými konstrukcemi a stropem fermentoru a dofermentorů zjištěním teplot uvnitř nádrží a teplot okolního prostředí.*

*Jsou porovnány tři řešení konstrukce fermentorů, kde nejlépe vyhovělo řešení, kdy je fermentor a dofermentor konstruován v prstencové nádrži. Přičemž vnější kruh je dofermentor a vnitřní kruh fermentor. Ovšem celkové rozdíly tepelných ztrát mezi jednotlivými řešeními nebyly tak markantní, aby se tepelné ztráty v jednotlivých konstrukčních řešeních staly určujícím faktorem při výběru vhodného konstrukčního řešení.*

*Výsledky z měření dále ukazují na to, že při použití tepelné izolace se ušetří značná část tepelné energie. Za předpokladu, že by mělo odpadní teplo využít i v letních měsících a byla by využita všechna tepelná energie produkovaná bioplynovou stanicí, mělo by takto ušetřené teplo značný ekonomický přínos.*

**Klíčová slova:** tepelný tok, fermentor, tepelné ztráty, potřeba tepla, tepelná izolace

### Abstract:

*The article deals with the thermal evaluation of selected agricultural biogas plant with a design of construction solution of fermentor and postfermentor due to the heat loss. It also deals with the selection of appropriate thermal insulation with respect to its price and mechanical and insulation properties.*

*The task was to measure the heat flow by circumferential constructions and ceiling of fermentor and postfermentor by finding temperature inside the tank and the ambient temperature.*

*Three construction solutions of fermentors are compared where best meet the solution when the fermentor and postfermentor are designed in an annular tank. The outer ring is postfermentor and the inner ring is fermentor. Nevertheless, the overall heat loss differences between the solutions were not so striking that the heat losses in the individual construction solutions have become the determining factor in selecting the appropriate construction solution.*

*The results of the measurements also show that the use of thermal insulation save considerable part of thermal energy. Assuming that the waste heat should also use in the summer and would use all of thermal energy produced by the biogas plant should thus saved heat substantial economic benefits.*

**Keywords:** heat flow, fermentor, heat loss, heat demand, heat insulation

## Úvod

Od roku 2008 je v ČR velký rozvoj bioplynových stanic, v roce 2008 bylo v provozu kolem 20 stanic, v roce 2010 bylo v provozu více než 100 stanic a k 31. 12. 2012 bylo v provozu 481 stanic a další bioplynové stanice jsou ve výstavbě (1-3).

S rostoucím počtem bioplynových stanic, zejména těch, větších než 500 kWe, se zvyšují problémy týkající se tepelné energie (4).

Zlom pro výstavbu bioplynových stanic nastal v roce 2013. Proto je důležité se zaměřit na jejich energetickou náročnost a hospodárnost a hledat vhodné metody k jejich lepší efektivnosti, tak aby mohly být dále provozovány a nově realizovány bez státních dotací.

Jednou z možností jak zefektivnit provoz bioplynových stanic je využívání odpadního tepla vyprodukovaného při spalování bioplynu v kogeneračních jednotkách v co největší možné míře (5).

Zákon sice ukládá využívání odpadního tepla, ale snaha provozovatelů bioplynových stanic by měla jít ještě dále a využívat co největší množství odpadního tepla. A to nejen, protože to přikazuje zákon, ale i z vlastního přesvědčení, neboť správně využívané odpadní teplo může mít značný ekonomický přínos pro provoz bioplynové stanice.

U bioplynových stanic uvedených do provozu po 1. lednu 2012 včetně je podmínkou pro poskytnutí podpory výroba a efektivní využití vyrobené tepelné energie minimálně na úrovni 10 % vůči vyrobené elektřině v daném roce, s výjimkou elektřiny pro technologickou vlastní spotřebu elektřiny a tepla (6).

Jelikož státní dotace na bioplynové stanice nejsou poskytovány na výstavbu zemědělských bioplynových stanic, dá se očekávat, že snaha o efektivnější využívání odpadního tepla bude mít stoupající tendenci.

V tom případě je vhodné přemýšlet i o hospodaření s teplem v rámci bioplynové stanice, aby bylo zabráněno jeho zbytečným ztrátám a technologická spotřeba tepla byla co nejnižší.

U bioplynových stanic s mokřým procesem, pracujících v mesofilních a termofilních teplotních režimech dosahuje technologická spotřeba tepla 30-40 % vyrobeného bioplynu (7).

Technologickou spotřebu tepla je možno snížit snížením tepelných ztrát. Tepelné ztráty lze snížit vhodným konstrukčním řešením fermentoru a dofermentoru a použitím vhodné tepelné izolace.

Právě touto problematikou se zabývá tento článek. Výsledkem by mělo být stanovení vhodného konstrukčního řešení fermentoru a dofermentoru a stanovení vhodné tepelné izolace pro bioplynové stanice s přihlédnutím na její cenu a mechanické a izolační vlastnosti.

## Materiál a metodika

Pro stanovení vhodného konstrukčního řešení fermentoru a dofermentoru se vychází z reálné stavby bioplynové stanice, která se nachází ve středočeském kraji. Tato bioplynová stanice je součástí zemědělského podniku, který se zabývá jak rostlinnou výrobou, tak výrobou živočišnou. Proto jsou hlavními vstupními substráty vstupujícími do procesu chlévská mrva, kejda, znehodnocené krmivo a kukuřičná siláž.

Bioplynová stanice ročně vyrábí 7 422 MWh elektrické energie a 7 498 MWh tepelné energie. Tepelnou energií z bioplynové stanice se vytápí kanceláře a zemědělské provozny. Do budoucna se uvažuje i o vytápění přilehlých bytů a domů, jelikož bioplynová stanice leží přímo v obci.

Bioplynová stanice je tvořena jedním fermentorem (F) a třemi dofermentory (DF1, DF2, DF3). První dofermentor je s fermentorem uspořádaný prstencově s betonovým zatepleným stropem, ostatní dva dofermentory jsou dvě samostatné kruhové nádrže opatřené

kopulí dvojitého plynojemů. Vzniklý bioplyn je spalován v budově kogenerace, kde jsou instalovány 2 kogenerační jednotky o maximálním el. výkonu 512 a 464 kW. Fermentor a dofermentory DF1 a DF2 jsou vytápěny pomocí soustavy otopných hadů. Dofermentor DF3 vytápěný není.

Vnější stěna, strop i dno nádrží jsou tvořeny vodonepropustným a síranovzdorným železobetonem, zatepleným izolací z expandovaného polystyrenu.

Pro tepelně – technické posouzení provozu se vychází ze skutečných údajů zjištěných na bioplynové stanici. Jedná se o teploty uvnitř fermentačních a dofermentačních nádrží a okolní teplota vzduchu. Tyto údaje slouží k výpočtu tepelných ztrát pro reálný fermentor a dofermentor a jsou též aplikovány pro posouzení a zhodnocení při odlišných konstrukčních řešeních bioplynové stanice.

Tepelně-technické posouzení provozu je dále posuzováno v závislosti na použití různých tepelných izolací, včetně stávající izolace z expandovaného polystyrenu (EPS).

Celková tepelná ztráta  $Q_c$  je u fermentorů rovna jen tepelným ztrátám prostupem tepla konstrukce  $Q_p$ , jelikož u vodotěsných fermentorů a plynotěsných plynojemů by k tepelným ztrátám větráním  $Q_v$  nemělo docházet. Pak pro celkovou tepelnou ztrátu platí vztah

$$Q_c = Q_p \quad [\text{W}]$$

Pro daný prostor fermentoru je celková tepelná ztráta  $Q_c$  dána součtem tepelných toků prostupem tepla jednotlivými konstrukcemi, které prostor obklopují (8).

$$Q_c = \sum_{j=1}^n (k_j \cdot S_j \cdot (t_i - t_{ej})) \quad [\text{W}]$$

kde je $k_j$	součinitel prostupu tepla	$[\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}]$
$S_j$	ochlazovaná stěna stavební konstrukce	$[\text{m}^2]$
$t_i$	výpočtová teplota uvnitř prostoru	$[^\circ\text{C}]$
$t_{ej}$	venkovní výpočtová teplota	$[^\circ\text{C}]$

Jako výpočtová venkovní teplota  $t_e$  se pro území ČR používají tři základní výpočtové teploty  $-12^\circ\text{C}$ ,  $-15^\circ\text{C}$  a  $-18^\circ\text{C}$ . Pro fermentory přiléhající k zemině se uvažuje průměrná teplota zeminy  $t_{gr} = 10^\circ\text{C}$ . Při zhodnocení různých konstrukčních řešení bioplynové stanice se pro výpočet tepelných ztrát použila teplota  $t_e = -6,5^\circ\text{C}$ , což je venkovní teplota, která byla naměřena při měření na bioplynové stanici. Pro výpočet potřeby tepla bioplynové stanice potřebné na pokrytí tepelných ztrát byly použity průměrné teploty za rok 2011 sledované meteorologickou stanicí v Praze Ruzyni.

Pro tepelně - technické zhodnocení při různých konstrukčních řešeních se vycházelo ze tří konstrukčních uspořádání bioplynové stanice. Konkrétně z uspořádání fermentoru F a dofermentoru DF1. Z tohoto důvodu se pro každé konstrukční řešení měnily rozměry fermentoru F a dofermentoru DF1, aby splňovaly rovnost objemů nádrží s reálným vzorem.

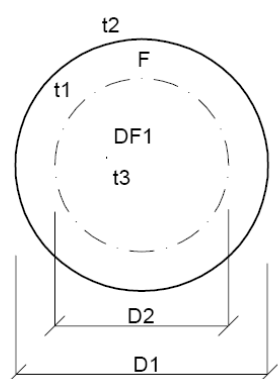
Konstantní pro všechny tři řešení zůstaly součinitelé přestupu tepla, součinitelé tepelné vodivosti pro jednotlivé konstrukční prvky a teploty uvnitř fermentoru, dofermentorů a teplota okolního prostředí, které byli zjištěny měřením. Teplota zeminy byla zvolena jako roční průměrná teplota. Výsledné průměrné hodnoty:

- $t_1 = 43,1^\circ\text{C}$  (teplota uvnitř fermentoru)
- $t_2 = -6,5^\circ\text{C}$  (teplota okolního prostředí)
- $t_3 = 10^\circ\text{C}$  (průměrná teplota zeminy)
- $t_4 = 41,3^\circ\text{C}$  (teplota uvnitř dofermentoru DF1)
- $t_5 = 39,9^\circ\text{C}$  (teplota uvnitř dofermentoru DF2)

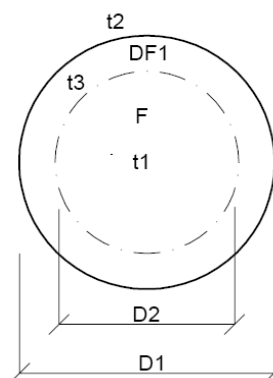
## Výsledky a diskuse

Konstrukční řešení 1 (viz. obr. 1) vychází z reálné stavby bioplynové stanice. Jedná se o případ kdy je fermentor F a dofermentor DF1 tvořen prstencově, přičemž ve vnějším kruhu probíhá první stupeň fermentace a kruh vnitřní slouží jako dofermentor. Toto uspořádání je vhodné z hlediska menších nároků na stavební plochu.

V konstrukčním řešení 2 (viz. obr. 2) se jedná o případ kdy je fermentor a dofermentor bioplynové stanice tvořen také prstencově jako v případě 1, ale první stupeň fermentace probíhá v kruhu vnitřním a kruh vnější slouží jako dofermentor. Toto uspořádání je vhodné z hlediska menších nároků na stavební plochu, stejně jako konstrukční řešení 1. Pro zachování stejných objemů nádrží se musel poupravit vnitřní průměr prstence.

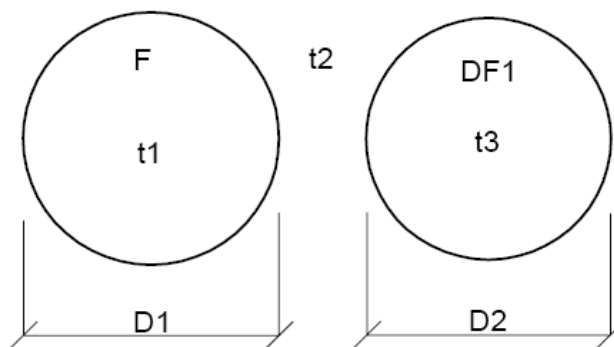


**Obr. 1** Konstrukční řešení č.1



**Obr. 2** Konstrukční řešení č.2

Konstrukční řešení 3 (viz. obr. 3) již nevyhází z předpokladu, že se jedná o nádrž prstencovou, ale fermentor i dofermentor jsou 2 samostatné nádrže. Rozměry fermentoru a dofermentorů se volily tak aby odpovídaly objemům nádrží v konstrukčním řešení 1.



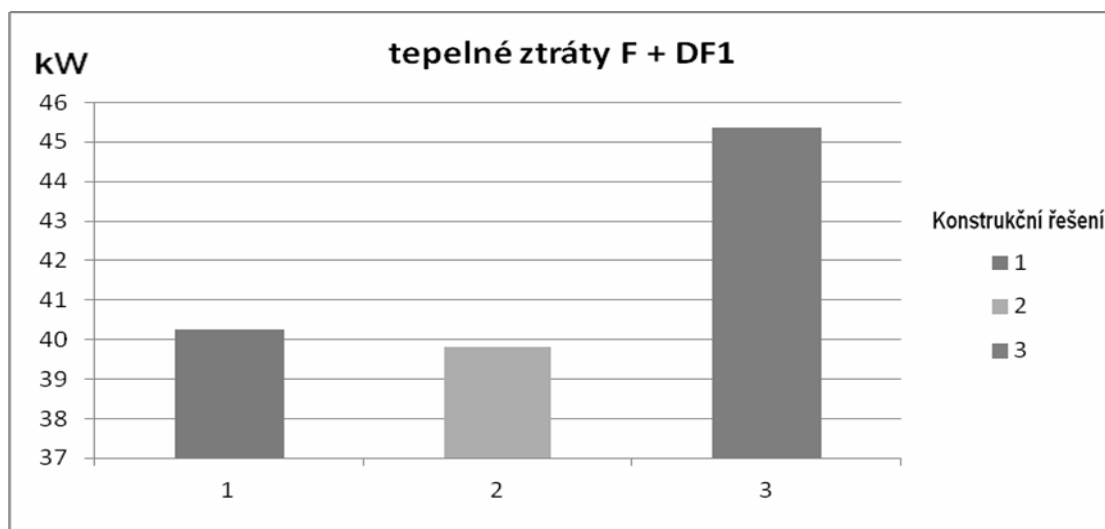
**Obr. 3** Konstrukční řešení č.3

V tabulce č.1 jsou hodnoty tepelných ztrát pro konstrukční řešení 1, 2 a 3. Hodnoty tepelných ztrát jsou spočítány pro  $t_e = -6,5 \text{ }^\circ\text{C}$ , což byla teplota okolního prostředí v den měření na bioplynové stanici, teploty ve fermentoru – F a dofermentorů – DF1 byly:  $t_F = -43,1 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{DF1} = -41,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Tab. 1** Tepelné ztráty F a DF1 pro různá konstrukční řešení

Tepelná ztráta	F (kW)	DF1 (kW)	F+DF1 (kW)
Konstrukční řešení 1	40,28	8,11	<b>40,27</b>

Konstrukční řešení 2	19,33	20,47	<b>39,8</b>
Konstrukční řešení 3	24,14	21,22	<b>45,36</b>



**Obr. 4** Tepelné ztráty F a DF1 pro různá konstrukční řešení

Na obr. 4 jsou vyneseny hodnoty tepelných ztrát pro konstrukční řešení 1,2 a 3. Na první pohled je zřejmé, že nejvíce tepelných ztrát vzniká v konstrukčním řešení č. 3, což je varianta, kdy fermentor –F a dofermentor DF1 jsou 2 oddělené nádrže. Konstrukční řešení 1 a 2 jsou z pohledu tepelných ztrát celkem vyrovnané, kdy rozdíl mezi konstrukčním řešením 1 a konstrukčním řešením 2, které dopadlo ze všech 3 variant nejlépe je 0,47 kW = 470 W. Tento rozdíl je zanedbatelný a při výběru vhodného konstrukčního řešení pro uspořádání fermentoru a dofermentorů nepodstatný.

Aby byly teplotní ztráty bioplynové stanice kompletní musely se vypočítat teplotní ztráty dofermentorů DF2. Pro dofermentor DF3, se teplotní ztráty nepočítaly, jelikož není opatřen ohřívacím zařízením a substrát v něm pouze chladne.

Teplotní ztráty pro dofermentor DF2 byly počítány za těchto podmínek:

$$t_e = -6,5 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{DF2} = 39,9 \text{ } ^\circ\text{C} \text{ (teploty naměřené v den měření na bioplynové stanici)}$$

Celková tepelná ztráta dofermentorů – DF2

$$Q_{c3} = 28,72 \text{ kW}$$

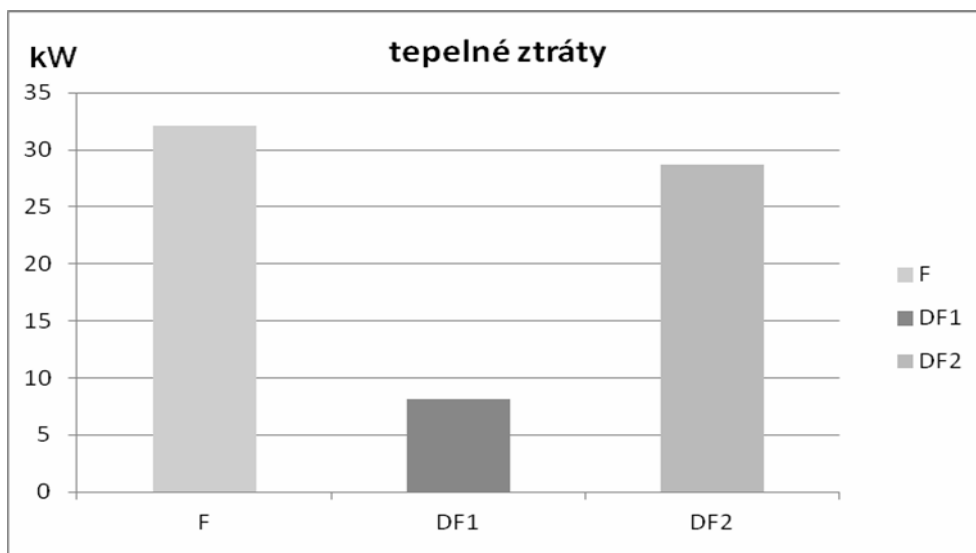
Pro výpočet celkových tepelných ztrát bioplynové stanice byly použity hodnoty tepelných ztrát fermentoru F a dofermentorů DF1 vztažené k reálné bioplynové stanici, to znamená ke konstrukčnímu řešení č.1. V tom případě je  $Q_{c1} = 32,16 \text{ kW}$  (Celková tepelná ztráta fermentoru – F) a  $Q_{c2} = 8,11 \text{ kW}$  (Celková tepelná ztráta dofermentorů – DF1)

Po sečtení hodnot tepelných ztrát  $Q_{c1}$ ,  $Q_{c2}$  a  $Q_{c3}$  získáme celkovou tepelnou ztrátu bioplynové stanice  $Q_c$ .

$$\text{Tedy: } Q_c = Q_{c1} + Q_{c2} + Q_{c3} \quad [\text{W}]$$

$$Q_c = 32,16 + 8,11 + 28,72$$

$$Q_c = 74,08 \text{ kW}$$



**Obr. 5** Tepelné ztráty ve F, DF1, DF2

Na obr. 5 jsou vyneseny hodnoty prostupu tepla v den měření na bioplynové stanici. Kdy:

$$t_e = -6,5 \text{ } ^\circ\text{C}, t_F = 43,1 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{DF1} = 41,3 \text{ } ^\circ\text{C}, t_{DF2} = 39,9 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Nejvíce tepla uniká z fermentoru – F, což je dané nejvyšší teplotou substrátu a stykem vnější stěny s okolním prostředím. V dofermentoru – DF1 jsou tepelné ztráty nejmenší, jelikož s okolním prostředím je ve styku pouze malou plochou (stropem). V dofermentoru - DF2 jsou tepelné ztráty nižší, než tepelné ztráty ve fermentoru – F i přes větší kontaktní plochu s okolním prostředím, ale teplota uvnitř dofermentoru – DF2 je nižší, než teplota uvnitř fermentoru – F.

V tabulce 2 je uvedena potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát fermentoru a dofermentačních nádrží za rok 2012. Pro výpočet potřeby tepla se vycházelo z teplot uvnitř nádrží a z průměrných teplot prostředí za rok 2012 v jednotlivých měsících.

Celková potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát bioplynové stanice je 470,3 MWh/rok. Bioplynová stanice vyrobí ročně 7 350 MWh tepelné energie. Toto množství s přehledem stačí na pokrytí tepelných ztrát bioplynové stanice. Nesmí se ovšem zapomenout také na teplo potřebné k ohřevu substrátu.

**Tab. 2** Potřeba tepla

	Potřeba tepla (MWh/rok)			
	F	DF1	DF2	celkem
(MWh/rok)	222,42	49,97	197,86	470,28

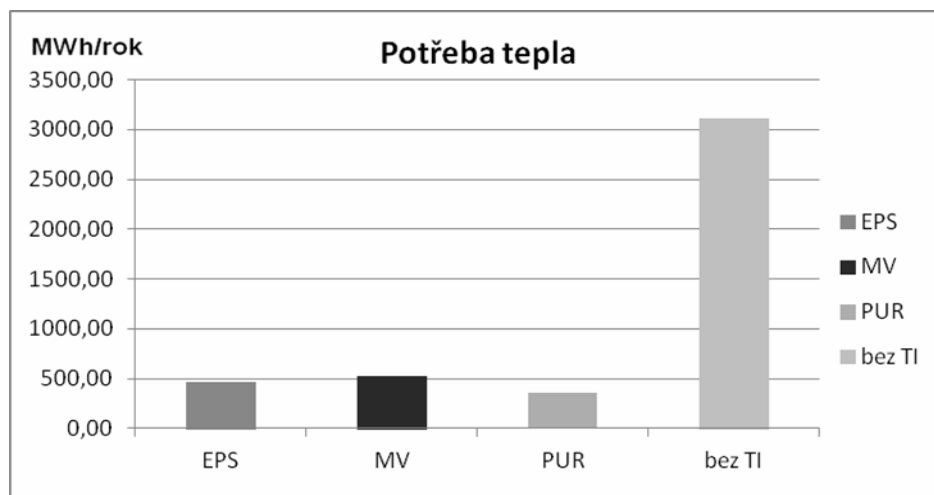
Fermentor a dofermentory bioplynové stanice jsou izolovány tepelnou izolací z expandovaného polystyrenu (EPS), v původním záměru se však počítalo s izolací z minerální vlny (MV). Další oblíbenou izolací používanou u bioplynových stanic je polyuretanová pěna (PUR). Možnost je i taková, že nádrže nebudou izolované vůbec. Každá z izolací se liší cenou, tloušťkou používané vrstvy i v hodnotě součinitele tepelné vodivosti. Proto se bude lišit i konečná spotřeba tepla.

V tabulce 3 jsou uvedeny hodnoty potřeby tepla při různém zateplení fermentačních nádrží.

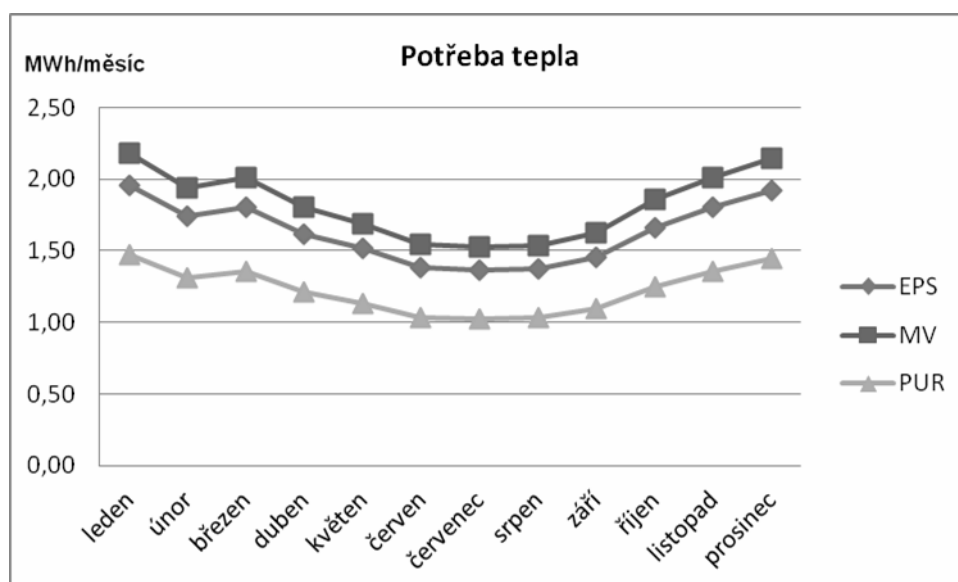
**Tab. 3** Potřeba tepla při různém zateplení

izolace (MWh/rok)	Potřeba tepla (MWh/rok)			
	EPS	MV	PUR	bez TI
	470,28	524,87	353,68	3110,72

Na obr. 6, kde je graficky znázorněna potřeba tepla při různém zateplení, je jasné vidět, že tepelné izolace mají velký vliv na potřebu tepla bioplynové stanice.

**Obr. 6** Roční potřeba tepla při různém zateplení

Na obr. 7 je znázorněna roční potřeba tepla v jednotlivých měsících při použití tepelné izolace z expandovaného polystyrenu (EPS), minerální vlny (MV) a polyuretanové pěny (PUR) při stejné tloušťce. Nejmenší potřeba tepla vzniká při použití tepelné izolace z PUR, naopak největší potřeba tepla vzniká při použití tepelné izolace z minerální vlny.

**Obr. 7** Průběh roční potřeby tepla při různém zateplení

Je zřetelné, jaká z tepelných izolací je z technicko-tepelného hlediska nejvhodnější. Dalším faktorem, který hraje významnou roli při výběru tepelné izolace, je její cena.

V příkladech uvedených výše, kdy roční potřeba tepla v závislosti na tepelné izolaci byla počítána při konstantní tloušťce izolací  $s = 0,08$  m, není výsledná cena izolace vypovídajícím faktorem pro posouzení tepelných izolací. Proto se musí tloušťky tepelných

izolací z MV a PUR přepočítat, tak aby měli stejné tepelné vlastnosti jako izolace z EPS při  $s = 0,08$  m.

Pro MV vychází tloušťka izolace  $s = 0,094$  m. Na trhu lze sehnat pouze izolace tloušťky 100 mm.

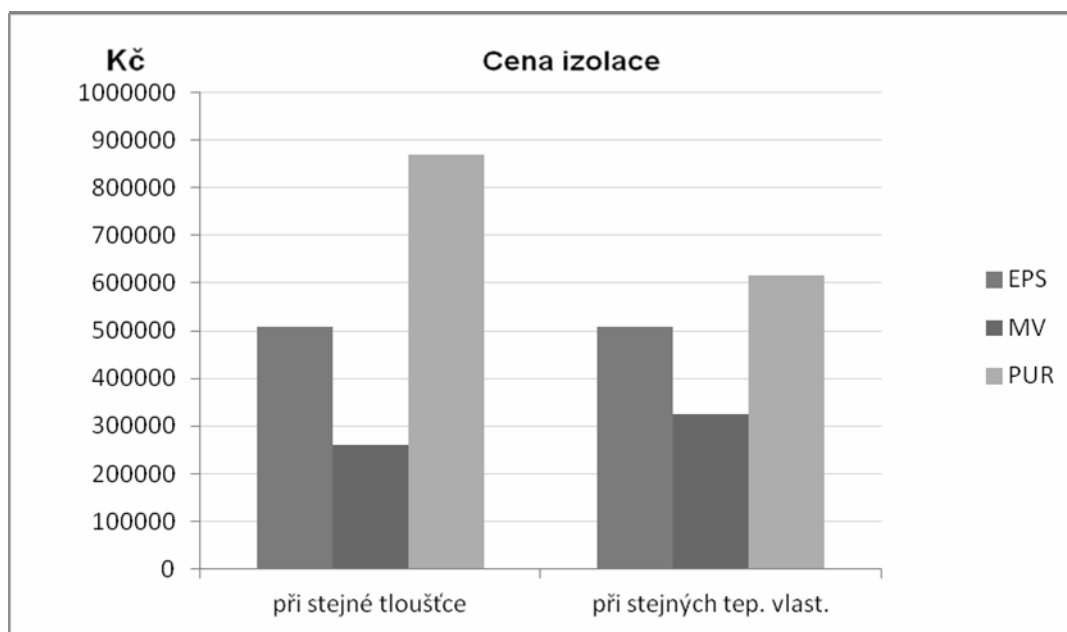
Pro PUR vychází tloušťka izolace  $s = 0,053$  m. Realizace zateplení použitím PUR se provádí nástřikem pěny s přesností 5 mm, je nutno počítat s tloušťkou vrstvy 0,055 m.

V tabulce 4. jsou uvedeny ceny izolací při použití izolačních materiálů z expandovaného polystyrenu (EPS), minerální vlny (MV) a polyuretanové pěny (PUR). Ceny jsou uvedeny za předpokladu, že mají izolace stejnou tloušťku, ale odlišné tepelné vlastnosti, tak za předpokladu, že mají odlišnou tloušťku, ale stejné tepelné vlastnosti.

**Tab.4** Cena izolací

Izolace	cena (Kč)	
	při stejné tloušťce	při stejných tep. vlast.
EPS	507 086	507 086
MV	261 081	325 109
PUR	868 800	615 400

Na obr. 8 jsou graficky znázorněny ceny izolací při použití izolačních materiálů z expandovaného polystyrenu (EPS), minerální vlny (MV) a polyuretanové pěny (PUR) při stejné tloušťce jako má EPS použitý na bioplynové stanici a při stejných tepelných vlastnostech.



**Obr. 8** Cena izolací

Z obrázku 8 je na první pohled zřejmé, že při stejné tloušťce izolací se cena izolací liší o poměrně velkou částku. Je to ovšem zapříčiněno i odlišnými tepelnými vlastnostmi. Při stejných tepelných vlastnostech se již ceny všech tří izolačních materiálů k sobě přibližují. Jako nejlevnější varianta se ukázalo použití minerální vlny, nejdražší variantou by bylo použití izolace z polyuretanové pěny. Stávající izolace z expandovaného polystyrenu se pohybuje se svou cenou mezi těmito izolacemi.



## Závěry

Na základě stanovení různých konstrukčních řešení fermentoru a dofermentoru vzhledem k tepelným ztrátám, vyhovělo nejlépe ze tří uvažovaných řešení to, kdy je fermentor a dofermentor konstruován v prstencové nádrži, kdy vnější kruh je dofermentor a vnitřní kruh fermentor. Ovšem celkové rozdíly tepelných ztrát mezi jednotlivými řešeními nebyly tak markantní, aby se tepelné ztráty v jednotlivých konstrukčních řešeních staly určujícím faktorem při výběru vhodného konstrukčního řešení pro výstavbu bioplynové stanice.

Mnohem důležitější je pro výběr konstrukce fermentoru a dofermentoru volná plocha k výstavbě bioplynové stanice. Staví-li se fermentační nádrže v areálu statku a stavební prostor je omezen, volí se konstrukční uspořádání fermentoru a dofermentoru prstencové. Nevýhodou tohoto uspořádání je velmi špatně uskutečnitelný servis během provozu.

Je-li dostatek místa, volí se konstrukční uspořádání, kdy jsou fermentor a dofermentor samostatné nádrže. Toto uspořádání má oproti prstencovému uspořádání výhodu v tom, že je možná variabilita dávkování do prvního či přímo druhého stupně, což ocení provozovatelé po několika letech, až bude potřeba některý z fermentorů odstavit a vyčistit (9).

Rozhodujícím faktorem by se mohlo stát konstrukční řešení fermentačních nádrží s ohledem na tepelné ztráty v případě, že by bylo odpadní teplo ekonomicky využíváno a tvořilo by zisk podniku.

Při hodnocení vlivu tepelné izolace na úsporu tepla, respektive na snížení tepelných ztrát, byly posuzovány 3 druhy tepelných izolací (expandovaný polystyren, minerální vlna, polyuretanová pěna), z nichž nejlépe cenově vyhověla tepelná izolace z minerální vlny. Polystyren má lepší mechanické vlastnosti, co se týče menší nasákavosti materiálu, a tím pádem neztrácí své izolační vlastnosti, je lehčí a má vyšší pevnost v tlaku. Minerální vlna má lepší odolnost proti stárnutí a je zcela odolná proti organickým rozpouštědlům.

V praxi by bylo nejvhodnější použití expandovaného polystyrenu do podlah, právě díky jeho dobré pevnosti, a minerální vlnu použít na stěny bioplynové stanice, ale musela by být dokonale zvládnuta ochrana proti vnikání vlhkosti.

Ať už by se použila jakákoliv ze zmiňovaných izolací je úspora potřeby tepla na pokrytí tepelných ztrát značná. Při zanedbání tepelné izolace se zvýší potřeba tepla na pokrytí tepelných ztrát o 2 640 MWh.rok<sup>-1</sup>, což je 9 505,5 GJ.rok<sup>-1</sup>. Takto ušetřené teplo by mohlo přinést značný zisk, který je podmíněn využitím většiny odpadního tepla, které nespotřebuje bioplynová stanice na svůj chod, ke komerčním účelům a odprodáváním odpadního tepla za cenu, která by konkurovala ceně za teplo z tepláren.

*Článek vznikl za finanční podpory Celouniverzitní grantové agentury České zemědělské univerzity v Praze č. 20093003.*

## Literatura

- (1) CZ Biom. Seznam bioplynových stanic [online]. 25.12.2012 [cit. 2012-12-01]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynovye-stanice>.
- (2) Česká bioplynová asociace. Počet bioplynových elektráren [online]. 31.12.2012 [cit. 2013-01-13]. Dostupné z <http://www.czba.cz/>.
- (3) Bačík O. Bioplynové stanice-technologie celonárodního významu [online]. 14.1.2008 [cit. 2013-01-13]. Dostupné z <http://biom.cz/cz/odborneclanky/bioplynovye-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>.
- (4) Bacenetti J., Negri M., Fiala M., González-García, S., 2013. Anaerobic digestion of different feedstocks: Impact on energetic and environmental balances of biogas process. Science of The Total Environment, 463-464: 541-551.

- (5) Ersoz O., Kocar G., 2013. Exergy analysis of solar energy assisted biogas plants for Turkey. *International Journal of Exergy*, 2/2013: 162-182.
- (6) Šafařík, M. Bioplynové stanice – podmínky a využití tepla [online]. 13.3.2012 [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovestanice-podminky-a-moznosti-vyuziti-tepla-nebo-energie> 21.
- (7) Schulz, H. Bioplyn v praxi. 1. české vydání. Ostrava: nakladatelství HEL, 2004. 167 s., ISBN 80-86167-21-6
- (8) ČSN EN ISO 13789. Tepelné chování budov - Měrné tepelné toky prostupem tepla a větráním - Výpočtová metoda (Thermal performance of buildings - Transmission and ventilation heat transfer coefficients - Calculation Method). Česká technická norma (ČSN), 2/2009: 20.
- (9) Stobler K. Bioplynová stanice – prosperita nebo krach [online]. [cit. 2013-02-24]. Dostupné z: <http://www.bgs-biogas.cz/2012/02/28/bioplynova-stanice-prosperita-nebo-krach-clanek/>

### **Kontaktní adresa**

Ing. Jan Novotný  
Česká zemědělská univerzita v Praze  
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6  
Tel.: 224 383 205  
e-mail: [jannovotny@tf.czu.cz](mailto:jannovotny@tf.czu.cz)

doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.  
Česká zemědělská univerzita v Praze  
Kamýcká 129, 165 21 Praha 6  
Tel.: 224 383 205  
e-mail: [malatak@tf.czu.cz](mailto:malatak@tf.czu.cz)

Ing. Jiří Bradna, Ph.D.  
Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i.  
Drnovská 507, 161 01 Praha 6  
Tel.: 233 022 473  
e-mail: [jiri.bradna@vuzt.cz](mailto:jiri.bradna@vuzt.cz)