

UNIVERZITA PARDUBICE  
FAKULTA EKONOMICKO-SPRÁVNÍ

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2011

Bc. Pavla Půlkrábková

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní

Modelování environmentálních vlivů výroby elektrické energie z biomasy

Pavla Půlkrábková

Diplomová práce

2011

Univerzita Pardubice  
Fakulta ekonomicko-správní  
Akademický rok: 2010/2011

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Pavla PŮLKRÁBKOVÁ**  
Osobní číslo: **E09734**  
Studijní program: **N6202 Hospodářská politika a správa**  
Studijní obor: **Ekonomika veřejného sektoru**  
Název tématu: **Modelování environmentálních vlivů výroby elektrické energie z biomasy**  
Zadávací katedra: **Ústav veřejné správy a práva**

### Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem mé diplomové práce je vyhodnocení různých vlivů výroby elektrické energie z biomasy.

- Charakteristika problematiky energetického využití biomasy
- Analýza procesu přeměny energie z biomasy
- Kvalitativní a kvantitativní zhodnocení výstupů zkoumaného procesu
- Zhodnocení ekonomických aspektů

Rozsah grafických prací: —  
Rozsah pracovní zprávy: cca 50 stran  
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická


Seznam odborné literatury:

- BROŽ, Karel; ŠOUREK, Bořivoj. Alternativní zdroje energie. Vyd. 1. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 213 s. ISBN 80-01-02802-X.  
České energetické závody. Energie z obnovitelných zdrojů : encyklopedie energetiky. 2., upr. vyd. Praha : České energetické závody, 2003. 40 s.  
KRAMMER, M., BRAUWEILER, J., HELLING, K. Internationales Umweltmanagement, Umweltmanagementinstrumente und -systeme. 1 vyd. Wiesbaden, Gabler 2003. 467 s. ISBN 3-409-12318-0  
MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří. Energie z biomasy. Vyd. 1. Brno : Era, 2006. 94 s. ISBN 80-7366-071-7.  
MUSIL, Petr. Globální enegretický problém a hospodářská politika : se zaměřením na obnovitelné zdroje. Vyd. 1. Praha : C.H. Beck, 2009. 204 s. ISBN 978-80-7400-112-3.  
NOSKIEVIČ, Pavel. Biomasa a její energetické využití. Ostrava : VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1996. 68 s. ISBN 80-7078-367-2.


Vedoucí diplomové práce: Ing. Robert Bařa, Ph.D.  
Ústav veřejné správy a práva

Datum zadání diplomové práce: 21. června 2010

Termín odevzdání diplomové práce: 6. května 2011

  
doc. Ing. Renáta Myšková, Ph.D.  
děkanka

L.S.

  
doc. Ing. Jolana Volejňáková, Ph.D.  
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 18. srpna 2010

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně

V Dolním Újezdě dne 20.4.2011

Pavla Půlkrábková

Poděkování:

Na tomto místě bych chtěla poděkovat vedoucímu mé práce panu Ing. Robertu Baťovi, Ph.D. za jeho čas a pomoc při zpracovávání diplomové práce. Dále mé poděkování patří také panu Kryštofu Vaňkovi za poskytnuté informace a materiály. V neposlední řadě děkuji mé rodině a přátelům za podporu a povzbuzení.

## ANOTACE

Práce je věnována problematice využívání obnovitelných zdrojů energie. Zaměřuje se na výrobu elektrické energie z biomasy a její dopady na životní prostředí. Obsahuje také rozbor jednotlivých procesů probíhajících v bioplynové stanici v Litomyšli a jejich modelové vyjádření pomocí Petriho sítí.

## KLÍČOVÁ SLOVA

životní prostředí, obnovitelné zdroje energie, biomasa, bioplynová stanice, Petriho síť

## TITLE

Modelling the environmental impacts of a biomass based electric power generation

## ANNOTATION

This thesis deals with the issues of the renewable energy resources utilisation. It focuses on a biomass based electric power generation and its environmental impacts. It also includes the analysis of individual processes, which take place in biogas plant in Litomyšl. The process analyses were modelled by Petri nets.

## KEYWORDS

environment, renewable energy resources, biomass, biogas plant, Petri nets

## Obsah

|  |    |
|--|----|
| Úvod .....   | 9  |
| 1 Zdroje energie .....   | 10 |
| 1.1 Energie z obnovitelných zdrojů .....                                     | 10 |
| 1.2 Energeticky soběstačné město Güssing .....                               | 10 |
| 1.2.1 Solární energie .....  | 11 |
| 1.2.2 Větrná energie .....   | 12 |
| 1.2.3 Vodní energie a energie přílivu.....                                   | 12 |
| 1.2.4 Geotermální energie .....  | 13 |
| 1.2.5 Energie biomasy.....   | 13 |
| 2 Využití biomasy .....  | 15 |
| 2.1 Výroba elektrické energie z biomasy.....                                 | 16 |
| 2.1.1 Výroba elektrické energie pomocí bioplynu v bioplynových stanicích.... | 17 |
| 2.2 Faktory ovlivňující efektivitu bioplynové stanice .....                  | 19 |
| 2.2.1 Výkupní cena elektrické energie.....                                   | 20 |
| 2.2.2 Cena vstupní suroviny.....   | 20 |
| 2.2.3 Kvalitní technologie .....   | 21 |
| 2.2.4 Proces fermentace .....  | 21 |
| 2.2.5 Vedlejší přínosy .....   | 21 |
| 2.3 Emise při spalování biomasy .....  | 21 |
| 2.4 Legislativní prostředí .....   | 23 |
| 2.4.1 Legislativa založení a provozu bioplynových stanic .....               | 24 |
| 3 Bioplynová stanice Litomyšl.....   | 25 |
| 3.1 Výstavba bioplynové stanice .....  | 25 |
| 3.2 Výroba elektrické energie.....   | 26 |
| 3.3 Environmentální vlivy .....  | 28 |
| 3.3.1 Porovnání s emisními limity .....                                      | 28 |



|       |   |    |
|-------|---|----|
| 4     | Vhodné nástroje pro modelování výstupů..... | 31 |
| 4.1   | Sankeyův diagram.....                       | 31 |
| 4.2   | Microsoft Office Excel .....                | 32 |
| 4.3   | Petriho síť .....                           | 32 |
| 4.3.1 | Základní principy .....                     | 32 |
| 4.3.2 | Definice Petriho sítí .....                 | 35 |
| 4.3.3 | Grafické zobrazení .....                    | 36 |
| 4.3.4 | Barvené Petriho síť .....                   | 37 |
| 5     | Aplikace Petriho sítě .....                 | 37 |
| 5.1   | Vstupy .....                                | 38 |
| 5.2   | Výstupy .....                               | 38 |
| 5.3   | Přechody .....                              | 42 |
|       | Závěr .....                                 | 46 |
|       | Zdroje.....                                 | 48 |

## Seznam tabulek

|   |                     |
|---|---------------------|
| Tabulka 1: Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR .....                     | 15                  |
| Tabulka 2: Složení bioplynu .....   | 17                  |
| Tabulka 3: Základní vlastnosti materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci..... | 17                  |
| Tabulka 4: Výkupní ceny za elektřinu z bioplynu pro rok 2010 .....              | 20                  |
| Tabulka 5: Emisní limity pro biomasu .....                                      | 23                  |
| Tabulka 6: Objem bioplynu v jednotlivých materiálech .....                      | 26                  |
| Tabulka 7: Množství bioplynu vyrobeného za den - konkrétní příklad.....         | 27                  |
| Tabulka 8: Vlastnosti kogenerační jednotky .....                                | 28                  |
| Tabulka 9: Emisní limity pro bioplyn.....                                       | 29                  |
| Tabulka 10: Souhrn výsledků měření emisí pro motor M1 .....                     | 29                  |
| Tabulka 11: Souhrn výsledků měření emisí pro motor M2.....                      | 30                  |
| Tabulka 12: Souhrn výsledků měření emisí pro motor M3.....                      | 30                  |
| Tabulka 13: Hodnoty vstupů a výstupů jednotlivých přechodů .....                | 42                  |
| Tabulka 14: Výsledky modelu po zadání konkrétního vstupu                        | Chyba! Záložka není |

definována.

## Seznam grafů

|  |    |
|--|----|
| Graf 1: Celkové náklady na výstavbu bioplynové stanice v Litomyšli ..... | 25 |
| Graf 2: Materiál spotřebovaný na výrobu bioplynu na den .....            | 27 |
| Graf 3: Koncentrace emisních látek.....                                  | 31 |
| Graf 4: Koncentrace emisních látek v modelovém příkladu .....            | 45 |

## Seznam obrázků

|  |    |
|--|----|
| Obrázek 1: Průběh činnosti bioplynové stanice.....                     | 18 |
| Obrázek 2: Sankeyův diagram.....                                       | 32 |
| Obrázek 3: Modelování změny stavu systému konečným automatem.....      | 34 |
| Obrázek 4: Modelování změny stavu systému Petriho sítí.....            | 34 |
| Obrázek 5: Průběh přechodu v Petriho síti .....                        | 36 |
| Obrázek 6: Neproveditelný přechod v Petriho síti .....                 | 36 |
| Obrázek 7: Zjednodušený model výroby elektrické energie z biomasy..... | 37 |
| Obrázek 8: Proces namodelovaný v prostředí Umberto 5.0 .....           | 43 |
| Obrázek 9: Namodelovaný příklad prvního přechodu.....                  | 43 |

## Úvod

Požadavky na množství paliv a energií se neustále zvyšují. Tento problém je navíc umocňován současnými trendy světového populačního růstu, rostoucí spotřebou energie, rychlým poklesem zásob fosilních paliv a negativními dopady na životní prostředí. Z těchto důvodů je kladen velký důraz na hledání nových, především obnovitelných zdrojů energie, jejichž hlavní výhodou je šetrnost k životnímu prostředí. Česká republika se zavázala dosáhnout do konce roku 2010 osmiprocentního podílu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů na hrubé spotřebě elektřiny. Tento požadavek splnila hlavně díky velkému rozvoji solárních elektráren. Ovšem do konce roku 2020 by se tento podíl měl zvýšit na 13 %, proto je nutné získávat další zdroje.

Nejkratší dobu je zatím využívána biomasa – hmota všech organismů na Zemi a právě v ní je ukryt velký potenciál. Tato práce je zaměřena právě na biomasu jako obnovitelný zdroj pro výrobu elektrické energie, obsahuje popis celého procesu zobrazeného na konkrétních údajích z bioplynové stanice v Litomyšli. Cílem práce je zhodnotit environmentální vlivy tohoto procesu.

# 1 Zdroje energie

Ve 20. století byla energie získávána hlavně z neobnovitelných zdrojů. Tedy takových, jejichž vyčerpání je očekáváno v horizontu maximálně stovek let, ale jejich případné obnovení by trvalo mnohonásobně déle. Mezi ně řadíme *fosilní paliva* – uhlí, ropa, zemní plyn, rašelina, hořlavé písky a břidlice; a *jaderné palivo* – uran 235, 238. Základními problémy při využívání obnovitelných zdrojů se ukázalo být jejich omezené množství a znečišťování okolí.

Proto se stále více setkáváme s nutností zapojit do výroby energie z větší míry i obnovitelné zdroje. Definovat je můžeme např. podle zákona č. 17/1992 Sb., o životním prostředí takto: „Obnovitelné zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“ [6].

Česká republika se vyznačuje poměrně vysokým podílem pevných paliv (uhlí) na celkové hrubé spotřebě energie. Patří také k zemím relativně málo závislých na dovozu energie. Naše země je dále charakteristická tím, že je čistým vývozcem elektřiny, a dokonce patříme i k čistým vývozcům energie z obnovitelných zdrojů [18].

## 1.1 Energie z obnovitelných zdrojů

Rozhodující podíl strategických surovin, jakými jsou ropa a zemní plyn, se nachází na Středním východě, tedy v nepřilíhající stabilní oblasti. Naproti tomu největší ekonomická centra jako USA, Evropská unie a Japonsko jsou prakticky bez energetických zdrojů nebo jsou jejich zásoby velmi malé. Tyto velmoci jsou víceméně surovinově závislé na rozhodnutí několika málo států o tom, jaké množství ropy či zemního plynu budou v tom či onom období těžit. Taková závislost s sebou přináší rizika propuknutí regionálních energetických krizí, které by mohly přerůst v ekonomické krize globálního charakteru [18, 30].

Využívání obnovitelných zdrojů je pro budoucnost nezbytné. Spotřeba elektrické energie se všemi environmentálními důsledky stále stoupá. Dochází tak k nerovnováze, čerpání jediných dobře přístupných zdrojů energie, převážně fosilních paliv, se zrychluje a jejich zásoby se hrozivě zmenšují. Potřeba hledat nové, netradiční energetické zdroje a zdokonalovat již známé obnovitelné zdroje se jeví se stále větší naléhavostí. Ovšem i zdroje obnovitelné mají své limity. Těmi jsou zejména geografické a klimatické podmínky [6, 18].

## 1.2 Energeticky soběstačné město Güssing

Město Güssing je správním centrem okresu, který leží při maďarské hranici na jihu rakouské spolkové země Burgenland. Podle statistiky z roku 1988 to byl nejchudší rakouský

region hlavně kvůli blízkosti maďarské hranice, chybějícím pracovním příležitostem, odchodu mnoha lidí z regionu, nepřítomnosti dostatečné infrastruktury aj. Kromě toho byla velká část kapitálu regionu využita na nákup energie a existující zdroje v území, např. les zabírající 45 % rozlohy se téměř nevyužíval. Bez včasného zásahu by se okres Güssing stal vymírajícím pohraničím.

V roce 1990 městská rada přijala nejdůležitější rozhodnutí: Stoprocentní odstoupení od zásobování z fosilních zdrojů. Prvním krokem k energetické samostatnosti byla energetická optimalizace budov, následovala výstavba výroby bionafty a dvou tepelných sítí, které dálkovým teplem z výtopny využívající dřevní štěpku, zásobovaly i samotné centrum Güssingu. Největším krokem byla realizace světově unikátního projektu – biomasové teplárny Güssing, která od roku 2001 vyrábí elektřinu a teplo. Tato stavba umožnila městu stát se energeticky soběstačným.

V současné době se zde vyprodukuje více tepla, elektřiny a pohonných hmot než město a celý region Güssing spotřebují. Dosahuje se také ohromného zisku z regionálních zdrojů. V průběhu 15-ti let se tak kdysi nejchudší území stalo místem s vysokým životním standardem a kvalitou života [16].

### **1.2.1 Solární energie**

Využívání energie slunečního záření je v současné době velmi moderní a často zaváděný prvek a je i perspektivním zdrojem pro budoucnost. Jedná se o energii naprosto čistou, bezpečnou a nevyčerpatelnou a nemá téměř žádné dopady na životní prostředí. Množství využitelné energie závisí na klimatických podmínkách jednotlivých částí zemského povrchu. Elektřinu lze získat ze sluneční energie přímou přeměnou, která využívá fotovoltaického jevu<sup>1</sup>, nebo nepřímou přeměnou založenou na získání tepla pomocí slunečních sběračů<sup>2</sup> [6, 18].

K nevýhodám patří stále ještě poměrně vysoké pořizovací náklady a nízká účinnost fotovoltaických článků v porovnání s technologiemi využívajícími fosilní paliva. Velkou slabinou využití solární energie je náročnost na klimatické podmínky [18].

V České republice jsou pro využití energie slunečního záření poměrně dobré podmínky. A to i přesto, že množství sluneční energie v průběhu roku kolísá a největší množství dopadá v období, kdy je spotřeba nejnižší. Ročně dopadá kolmo na 1m<sup>2</sup> plochy 800 – 1250 kWh solární energie. K hlavním předpokladům využívání solární energie patří

---

<sup>1</sup> Jev, při kterém se v látce působením světla (fotonů) uvolňují elektrony.

<sup>2</sup> V ohnisku sběračů se umístí termočlánky, které mění teplo v elektřinu.

zejména snadná montáž slunečních panelů, dlouhá životnost, celoroční využití a nízké provozní náklady [18].

### **1.2.2 Větrná energie**

Energie větru patří k historicky nejstarším využívaným zdrojům energie. První elektrický generátor poháněný větrnou turbínou byl uveden do provozu v roce 1890 v Dánsku. Princip zařízení spočívá v tom, že větrné kolo snižuje rychlost vzdušného proudu, čímž se část pohybové energie přeměňuje na energii mechanickou. Teoretická účinnost větrné elektrárny dosahuje 59 % a vlivem různých faktorů (tření, vznik vírů, součinitel rychloběžnosti<sup>3</sup>) se v nejlepším případě sníží na 45 %. V současné době se tento způsob výroby elektrické energie využívá hlavně v Německu, USA a Nizozemí – dodnes nazýváno zemí větrných mlýnů a tulipánů [6, 18].

Podmínky České republiky pro masivní rozvoj větrné energetiky jsou průměrné až podprůměrné, protože na většině území nedosahuje průměrná rychlost větru hranice 4 m/s, což je hodnota, která se uvádí jako limitní pro stavbu větrných elektráren. Oblasti s možným využitím energie větru se omezují zejména na výše položené a hřebenové partie hor a vrchovin v nadmořských výškách zpravidla nad 650 metrů. Vhodné lokality se nacházejí především v oblastech severních pohraničních hor, na Českomoravské vrchovině a v Moravskoslezských Beskydech. Tyto lokality jsou ale omezeny požadavky na ochranu přírody a svůj vliv mají i nepříznivé sezónní klimatické podmínky [18].

### **1.2.3 Vodní energie a energie přílivu**

Vodní turbíny patří k nejúčinnějším motorům, z vodního toku dokážou využít až 90 % energie. Vodní síla nám umí vyrobit elektrický proud vlastně zadarmo – ovšem jen tehdy, když náklady na výstavbu elektrárny a především vodního díla zaručujícího pro elektrárnu dostatečný a soustavný přívod vody, nejsou příliš vysoké. Proto se využívají především v oblastech prudkých toků s velkými spády – ve Švýcarsku nebo Norsku [6].

K výhodám vodních elektráren patří to, že neznečišťují ovzduší, nedevastují krajinu a povrchové či podzemní vody těžbou a dopravou paliv a surovin, jsou bezodpadové a vysoce bezpečné. Vodní díla mají navíc schopnost zadržovat obrovské objemy vody, což může přispívat k ochraně před povodněmi. K nevýhodám patří značná závislost na přírodních poměrech dané země, od čehož se odvíjí výkonnost elektrárny a náklady na její výstavbu, rozsáhlejší vodní dílo také změní ráz krajiny, případně ovlivní ekosystém daného území [18].

---

<sup>3</sup> Poměr rychlosti, jakou se otáčejí konce lopatek, a rychlosti větru.

Za nejstarší přílivovou elektrárnu je možno pokládat anglickou Dee Hydro Station v Cheshire z roku 1913. Skutečně moderní přílivová elektrárna zahájila provoz až v roce 1966 v Bretani. Vážnou nevýhodou těchto elektráren je, že jejich pracovní doba se mnohdy neshoduje s energetickou špičkou elektrizačních soustav. Další nevýhodou je mnohdy značná vzdálenost mezi místem vhodným k výstavbě a místem spotřeby. Ztráty na dálkových vedeních jsou pak natolik značné, že se stavba nevyplatí. I přesto je slapová energie – tedy energie přílivů a odlivů – nadějným energetickým zdrojem pro využití v budoucnosti [6].

V České republice, kvůli nedostatku velkých vodních zdrojů, vodní elektrárny pracují jako doplňkové. Naše toky nemají potřebný spád ani dostatečné množství vody. Z tohoto důvodu je podíl elektrické energie ve vodních elektrárnách na celkové výrobě v ČR poměrně nízký – kolem 4 % [6, 18].

#### **1.2.4 Geotermální energie**

Geotermální energie je vlastně teplo z hlubin Země. Teplota Země stoupá s hloubkou, přičemž teplota zemského jádra přesahuje 4 200 °C a zemské teplo proudí od jádra směrem k zemskému povrchu.

Geotermální energie se dá využít prakticky dvěma způsoby. Prvním z nich se využít k provozu *geotermálních elektráren* – základem je studna hluboká od jednoho do čtyř kilometrů v místě, kde se nachází tzv. geotermální rezervoár. Díky vysoké teplotě se voda mění v páru, která je přiváděna potrubím do elektrárny, kde pohání turbíny napojené na generátor. Nevýhodou jsou ovšem až 80 % ztráty získávané vody.

Druhým způsobem, jak využít geotermální energii, je princip *tepelného čerpadla*. Jde o chladicí zařízení, které je primárně určeno k produkci tepla a dokáže zužitkovat teplo okolního prostředí nebo teplo odpadní.

V podmínkách České republiky nemá velký význam.

#### **1.2.5 Energie biomasy**

Biomasa v nejširším slova smyslu je hmota všech organismů na Zemi zahrnující jak jejich „tělesné schránky“, tak i živé a neživé produkty jejich činnosti – stonky trav a obilovin, dřevo, semena a jejich obaly aj. Pokud hovoříme o biomase v souvislosti s energetikou, je pod tímto pojmem nejčastěji myšleno dřevo a dřevní odpad, sláma a jiné produkty v zemědělství. Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni. Ve světě je tento zdroj energie považován za velmi perspektivní, je

schopen v budoucnu nahradit podstatnou část mizejících neobnovitelných zdrojů energie – uhlí, ropné produkty a zemní plyn [6, 18].

Musil uvádí, že využití biomasy k energetickým účelům má své limity, které brání jejímu širokému uplatnění. Jedná se zejména o následující skutečnosti:

- produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům jejího využití (např. k potravinářským a krmivářským účelům, zajištění surovin pro průmyslové účely),
- zvyšování produkce biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což přináší potřebu zvyšovat investice do výroby biomasy,
- získávání energie z biomasy v současných podmínkách s obtížemi ekonomicky konkuruje využití tradičních energetických zdrojů,
- maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům z celosvětového hlediska je problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebitelů energie, k potížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie,
- relativně nízká „hustota“ energie obsažené v biomase a z toho plynoucí nároky na plochu pro pěstování rostlin k energetickému využití.

Tyto skutečnosti ale podle informací z Rakouska nemusí platit vždy. Pokud se využívá pouze odpadní biomasa, jejímu jinému využití nekonkuruje a účelně se pěstovat nemusí. Proto s tímto problémem nemusí být spojeno ani zvyšování investic. Získávání energie z biomasy, pokud má dobrou logistiku, je pro tradiční zdroje energie silný ekonomický konkurent a pokud se zpracuje v místě výskytu (např. na naftu nebo syntetický zemní plyn), nevzniknou ani problémy s transportem a distribucí získané energie.

Na druhé straně ale existují nesporné výhody využití biomasy k energetickým účelům, kvůli kterým je tento zdroj stále více žádaný [18]:

- menší dopady na životní prostředí,
- obnovitelný energetický zdroj,
- tuzemský zdroj energie, snižuje se spotřeba dovážených energetických zdrojů,
- zdroje biomasy nejsou lokálně omezeny,
- účelně se využijí spalitelné odpady,
- řízená produkce biomasy přispívá k utváření krajiny a péči o ni.



Biomasu lze využít pro *výrobu tepla* prostřednictvím jejího spalování, pro *pohon motorů*, přeměnou na kapalné palivo jako je etanol, metanol, rostlinné oleje, motorová nafta, benzín nebo plynný vodík, a dalším využitím je *výroba elektřiny*.

Podmínky pro využití biomasy v České republice jsou příznivé, protože tato země patří podle různých analýz k zemím s relativně vysokým potenciálem biomasy. Pokud by byl odhadovaný potenciál biomasy (1,9 milionů tun) rozvinut a využit včetně záměrně pěstované biomasy formou výmladkových plantáží rychle rostoucích dřevin, mohla by se biomasa podílet na energetické bilanci ČR až z 12 % v horizontu desítek let [18].

**Tabulka 1:** Zdroje energeticky využitelné biomasy v ČR

| Biopalivo                                    | mil. tun |
|--|----------|
| Odpadní a palivové dřevo                     | 1,7      |
| Obilní a řepková sláma                       | 2,7      |
| Rychlerostoucí dřeviny a energetické plodiny | 1,0      |
| Komunální odpad                              | 1,5      |
| Spalitelný odpad z průmyslové výroby         | 1,0      |
| Celkem                                       | 7,9      |

**Zdroj:** [25]

Podobné údaje, které obsahuje Tabulka 1, uvádí i Kutil [15], který uvažuje možnost, že by se biomasa pěstovala cíleně. Pokud ale tuto možnost srovnáme s druhou variantou, která maximálně využívá bioodpady, které jsou přirozeným výstupem lidské činnosti, bude první varianta méně efektivní a méně konkurenceschopná. Pouze v případě státní podpory např. ve formě dotací by se dalo uvažovat o využívání pouze cíleně pěstované biomasy.

## 2 Využití biomasy

Biomasu lze použít k několika různým účelům. Jako nejstarší můžeme uvést její použití jako potrava pro lidi a zvířata. Dále ji můžeme využít jako zdroj tepla pro vytápění, vaření a ohřev vody – tepelnou energii získáme spalováním různých forem biomasy, např. samotného dřeva, pelet, dřevní štěpky nebo pilin. Je také zdrojem energie pro dopravní prostředky, což je funkce poměrně nová a významná nejen z energetického a ekologického hlediska, ale má i velký politický význam, protože pomáhá snižovat závislost na producentech

ropy. Nesmíme zapomenout ani na využití biomasy v průmyslu. Typickým příkladem je stavebnictví, kde se využívá při stavění dřevostaveb nebo se využívají rostlinná vlákna jako tepelná izolace. A konečně funkce, kterou se budu zabývat i v následujících kapitolách, zdroj energie pro výrobu elektřiny.

## 2.1 Výroba elektrické energie z biomasy

Elektřinu je možné z biomasy vyrobit několika způsoby. Tyto procesy se liší využívanou technologií, palivem a investičními náklady na vyrobený MW elektrické energie [11, 23, 28]:

*Přímé spalování biomasy s výrobou páry a parní turbínou* – nejvyužívanější způsob výroby elektřiny z biomasy. Biomasa je spalována v parním kotli a vzniklá pára je následně využita na pohon parní turbíny. Většinou půjde o kombinovanou výrobu elektřiny a tepla tedy o teplárny nebo elektrárny s odběrem tepla. Účinnost přeměny na elektrickou energii se ovšem uvádí jen okolo 20%.

*Přímé spalování biomasy s výrobou páry a parním motorem* – výrobě elektřiny opět předchází proces přímého spalování biomasy s výrobou páry. Ta pohání parní motor napojený na generátor elektrické energie. Tato technologie je vhodnější při nižších výkonech.

*Využití bioplynu a dřevního plynu v kogeneračních jednotkách* – tyto jednotky mohou vyrábět elektřinu a teplo v kombinovaném procesu s využitím bioplynu a dřevního plynu. Bioplyn vzniká při procesu fermentace, dřevní plyn je produktem nedokonalého spalování při omezeném přístupu vzduchu.

*Využití dřevního plynu pomocí pístového motoru* – po procesu zplyňování je generátor poháněn pístovým motorem (stejným, jaký se používá u nákladních aut), vzniklé odpadní teplo se využívá k vytápění.

*Fermentace s výrobou elektrické energie a tepla* – v tomto případě se opět používá pístový motor a v tomto i předchozím případě je možnost současného použití termických solárních panelů, pokud odpadní teplo na vytápění nepostačuje.

*Organický Rankinův cyklus (ORC)* – princip je založený na uzavřeném parním Rankinově cyklu, kde je místo vodní páry použita organická látka (např. toluen), která se odpařuje při nižší teplotě a tlaku. Výhodou této metody je vyšší účinnost a spolehlivost.

*Využití plynu ve spalovací turbíně* – spalovací turbína je poháněna přímo spalovaným plynem. Uplatnění je tedy možné až po procesu zplyňování biomasy. Výhodou je opět vyšší účinnosti, ale vyžaduje stálost kvality plynu a jeho čistotu.

### 2.1.1 Výroba elektrické energie pomocí bioplynu v bioplynových stanicích

Bioplyn je směs metanu a dalších plynů jako je oxid uhličitý, vodní pára, dusík, kyslík, vodík, čpavek a sulfan. Procentuální zastoupení jednotlivých látek je uvedeno v Tabulce 2.

**Tabulka 2:** Složení bioplynu

| Látky obsažené v bioplynu        | Procentuální zastoupení |
|----------------------------------|-------------------------|
| Metan (CH <sub>4</sub> )         | 40 – 75 %               |
| Oxid uhličitý (CO <sub>2</sub> ) | 25 – 55 %               |
| Vodní pára (H <sub>2</sub> O)    | 0 – 10 %                |
| Dusík (N <sub>2</sub> )          | 0 – 5 %                 |
| Kyslík (O <sub>2</sub> )         | 0 – 2 %                 |
| Vodík (H <sub>2</sub> )          | 0 – 1 %                 |
| Čpavek (NH <sub>3</sub> )        | 0 – 1 %                 |
| Sulfan (H <sub>2</sub> S)        | 0 – 1 %                 |

**Zdroj:** [17]

Surovinovým zdrojem pro výrobu bioplynu jsou biologicky rozložitelné materiály včetně takových, které by bylo jinak těžké zpracovat. Obecně lze říci, že může být použit každý organický materiál s vysokým obsahem těkavých látek a sušinou menší než 50%. Optimální je rozmezí vlastností:

**Tabulka 3:** Základní vlastnosti materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci

| Organické látky (% suš.) | Sušina (%) | Poměr C:N <sup>4</sup> | pH        |
|--------------------------|------------|------------------------|-----------|
| nad 50                   | 5 - 35     | 20 – 40 : 1            | 6,5 – 7,5 |

**Zdroj:** [19]

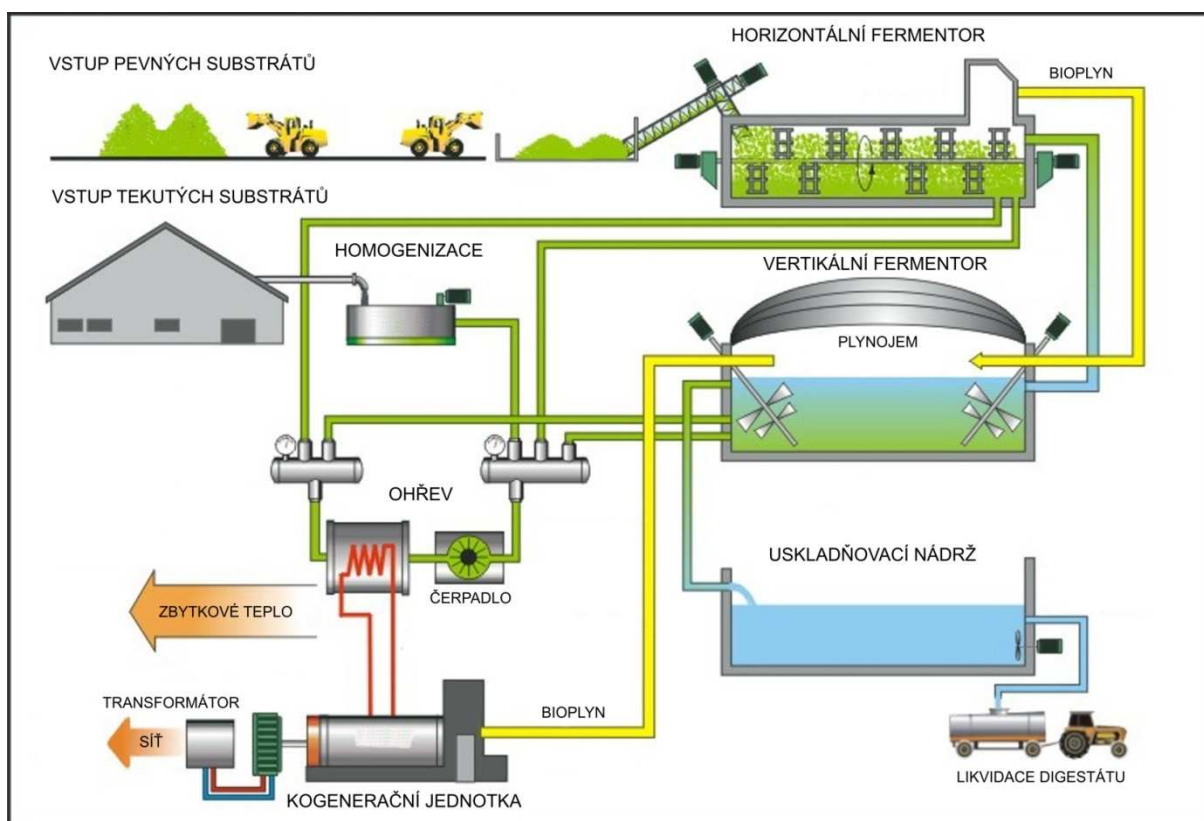
Pro tyto účely mohou být využity následující skupiny materiálů [1]:

- bioodpady z údržby veřejné zeleně (tráva, listí, ale nikoli dřevo)
- bioodpady z domácností a zahrad
- prošlé potraviny a bioodpady ze supermarketů
- zbytky z jídelen, restaurací a hotelů

<sup>4</sup> Poměr uhlíkatých a dusíkatých látek

- bioodpady z podnikatelských provozů (pekárny, lihovary, pivovary, cukrovary, masokombináty)
- výstupy z chovu hospodářských zvířat (kejša<sup>5</sup>, hnůj, podestýlky atd.)
- cíleně pěstovaná biomasa (např. kukuřice, řepka, senáž, vojtěška, obilí)

Základem pro vznik bioplynu je metanové kvašení, ke kterému dochází v anaerobním prostředí<sup>6</sup> působením metanogenních bakterií<sup>7</sup> v uzavřeném fermentoru<sup>8</sup> [27]. Výslednými produkty jsou biologicky stabilizovaný substrát s vysokým hnojivým účinkem (digestát) a bioplyn s obsahem 55 – 70% metanu a výhřevností asi 18 – 26 MJ/m<sup>3</sup>. Plyn se poté odvádí přes plynojem do kogenerační jednotky, kde je spalován a tím vzniká elektrická energie. Celý tento proces je zachycen na Obrázku 1.



**Obrázek 1:** Průběh činnosti bioplynové stanice

**Zdroj:** [1]

<sup>5</sup> částečně zkvašená směs tuhých a tekutých výkalů hospodářských zvířat a zbytků krmiv s určitým podílem technologické vody

<sup>6</sup> prostředí bez přítomnosti kyslíku

<sup>7</sup> bakterie, které dokážou přeměnit oxid uhličitý na metan

<sup>8</sup> zařízení, ve kterém dochází k rozkladu organických látek

Metanové kvašení je složitý proces, na kterém se podílí mnoho různých druhů bakterií a zpravidla je rozdělen do čtyř fází [7, 17, 27]:

1. Hydrolýza – protože je velká část biomasy tvořena vysokomolekulárními látkami, jako jsou bílkoviny, škrob, celulóza, a přítomny jsou i tuky a oleje, v této fázi se uplatní hydrolytické bakterie. Ty rozloží organické látky na jejich stavební prvky (cukry, mastné kyseliny, aminokyseliny apod.). Při tomto procesu vzdušný kyslík nevádí.
2. Acidogeneze – v této fázi dochází k vytvoření anaerobního prostředí a vznikají organické kyseliny, alkoholy a současně i oxid uhličitý a vodík.
3. Acetogeneze – z výše uvedených produktů vznikne kyselina octová, oxid uhličitý a vodík.
4. Metanogeneze – v posledním stadiu dochází k tvorbě metanu činností různých kmenů bakterií. Některé ho umí vytvořit z kyseliny octové, některé z vodíku a oxidu uhličitého a některé druhy jsou schopny obojího. V této fázi musí být prostředí striktně anaerobní.

Podmínkou pro hospodárný provoz bioplynové stanice je možnost využití odpadního tepla, které vyprodukuje kogenerační jednotka. Teplo lze využít k zásobování teplem v obcích, ohřevu vody, vytápění stájí, sušení fermentátu, zemědělských produktů nebo dřeva. Důležité je také další využití digestátu. Nejlepší podmínky jsou v zemědělství, kde je možné ho použít jako hnojivo, díky jeho vysoké výživové hodnotě, nebo po vysušení jako podestýlku.

## **2.2 Faktory ovlivňující efektivitu bioplynové stanice**

Postoj obyvatel obcí k výstavbě nových bioplynových stanic (BPS) je poměrně odmítavý. Hlavním impulsem pro stavbu stanic je produkce elektrické energie a její prodej za zajímavé výkupní ceny. Některé firmy ovšem navrhují nevhodné koncepty bioplynových stanic, kde se například jako vstup plánuje téměř ze 100% kukuřičná siláž, případně se plánují BPS s nadbytečným výkonem. Hlavními faktory, které ovlivňují efektivitu jejich projektu a provozu jsou [10]:

- výkupní cena elektrické energie
- cena vstupní suroviny
- kvalitní technologie
- průběh fermentačního procesu
- vedlejší přínosy

### 2.2.1 Výkupní cena elektrické energie

Primární funkcí bioplynové stanice bylo snížit množství problematických odpadů, jako je kejda nebo tekuté komunální odpady. Ovšem díky současným výhodným výkupním cenám elektřiny z bioplynu, může být hlavním důvodem pro jejich výstavbu ekonomická stránka věci.

Výkupní ceny a zelené bonusy<sup>9</sup> pro spalování bioplynu stanoví Energetický regulační úřad. Rozděluje bioplynové stanice do různých kategorií podle spotřebovávaných surovin. Zařazení do jednotlivých kategorií určí vyhláška č. 482/2005 Sb., kterou se stanoví druhy, způsoby využití a parametry biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění pozdějších předpisů.

**Tabulka 4:** Výkupní ceny za elektřinu z bioplynu pro rok 2010

| Druh obnovitelného zdroje   | Výkupní cena elektřiny do sítě<br>Kč/kWh | Zelené bonusy<br>Kč/kWh |
|---|--|-------------------------|
| Spalování bioplynu<br>v bioplynových stanicích<br>kategorie AF1 <sup>10</sup> | 4,12                                     | 3,15                    |
| Spalování bioplynu<br>v bioplynových stanicích<br>kategorie AF2 <sup>11</sup> | 3,55                                     | 2,58                    |

**Zdroj:** [8]

### 2.2.2 Cena vstupní suroviny

Ceny vstupních surovin výrazně ovlivňují činnost bioplynové stanice a je zde snaha snížit náklady na jejich pořízení na minimum. V první řadě musí zemědělský podnik využít ty suroviny, na jejichž získání není třeba vynaložit dodatečné finanční prostředky (kromě manipulace). Mezi ně patří slamnatý hnůj, kejda, odpady z posklizňového zpracování obilovin, odpadní brambory, zbytky krmiva, siláž a podobně.

Dále jsou to suroviny s minimálními náklady na jejich získání – biomasa z neudržovaných ploch, z veřejných prostranství, biomasa po výmlatu trav pěstovaných

<sup>9</sup> Zelený bonus je příplatek k tržní ceně elektřiny. Prodává-li výrobce elektřinu z OZE za smlouvenou tržní cenu jakémukoliv konečnému zákazníkovi či obchodníkovi s elektřinou nebo vyrobenou elektřinu sám spotřebuje, má právo navíc inkasovat od provozovatele přenosové nebo regionální distribuční soustavy na základě předloženého výkazu zelené bonusy.

<sup>10</sup> Bioplynové stanice využívající cíleně pěstované plodiny primárně určené k energetickému využití, bez dalšího zpracování.

<sup>11</sup> Bioplynové stanice využívající zemědělské a potravinářské odpady, dále kejdu, hnůj, trávu z veřejné zeleně, zbytky z kuchyní a další.

na semeno nebo hroznové výlisky. Nejméně výhodné, z hlediska ceny na jejich pořízení, jsou plodiny pěstované pouze za účelem zplyňování (siláž, senáž) [10].

### **2.2.3 Kvalitní technologie**

Jak uvádí Hrůza a Stober [10], při projektování BPS by mělo být hlavním krokem stanovení velikosti zařízení v závislosti na dostupných surovinách. Pro každý podnik může být výhodná stanice s jiným výkonem a mělo by se předcházet obrácenému přístupu – prvotnímu výběru velikosti stanice a následnému naplánování plochy potřebných surovin.

Velmi důležitá je také bezpečnost, kvalita a životnost technologie. Je třeba dbát na kvalitu částí bioplynové stanice, sestavit plán pro případ poruch nebo vniknutí pevného předmětu do zařízení, určit energetickou náročnost jednotlivých prvků (dávkovací zařízení, doprava surovin, míchání) a zajistit bezpečnost ve výbušném prostoru plynojemu.

### **2.2.4 Proces fermentace**

Bakterie, které se podílí na procesu fermentace, požadují určité prostředí a stopové prvky a nesvědčí jim velké změny vstupních surovin nebo přítomnost plísní. Je tedy důležitá nejen technologická kázeň obsluhy, ale i odborná a pravidelná péče servisní organizace. Ta by měla zajistit rozbory vstupních surovin, složení obsahu fermentoru a dávat potřebná doporučení k optimalizaci [10]. Pokud je celý proces dobře zvládnut, z bioplynové stanice vystupuje kvalitní hnojivo bez zápachu a vyrábí se dostatek plynu.

Průběh fermentace závisí na složkách původní suroviny, na druhu použitého mikroorganismu a na podmínkách, za kterých fermentace probíhá (aerobní x anaerobní).

### **2.2.5 Vedlejší přínosy**

Využít se dá odpadní teplo a to pro vytápění provozů, zahřívání fermentátu, sušení obilovin nebo sena, sušení řeziva nebo palivového dřeva a jeho prodej. Někdy teplo nelze takto využít, ale jsou zde i další vedlejší přínosy. Mezi ně patří úspora průmyslových hnojiv, úspory za budování nových hnojišť a možnost využití stávajících na uskladnění např. siláží, zužitkování méně kvalitní siláže a senáže na výrobu bioplynu, zisk z dosud nevyužívaných surovin atp.

## **2.3 Emise při spalování biomasy**

Význam biomasy jako zdroje energie neustále roste, je dán snahou využít všechny dostupné zdroje a také tím, že se Česká republika v rámci vstupu do Evropské unie zavázala

v roce 2010 dosáhnout 8 % podílu obnovitelných zdrojů energie na hrubé spotřebě elektřiny [2].

Uvádí se, že spalování biomasy je z hlediska emisí oxidu uhličitého neutrální, neboť množství produkovaného oxidu uhličitého je srovnatelné s množstvím spotřebovaným rostlinami při jejich růstu. Tento pohled je velmi zjednodušený, protože stromy rostou desítky let a dřevo z nich se spálí okamžitě. Navíc při spalování biomasy vznikají další škodliviny, a to některé velmi nebezpečné, jako polyaromatické uhlovodíky<sup>12</sup>, případně dioxiny<sup>13</sup>. Měření ale prokázala, že o množství škodlivých emisí rozhoduje především způsob spalování [22].

Koncentrace **oxidu uhelnatého (CO)** ve spalinách ukazuje na kvalitu spalovacího procesu – špatné nastavení spalovacích parametrů, nevhodná konstrukce spalovacího zařízení. Emise **NO<sub>x</sub>**<sup>14</sup> jsou nejvíce ovlivněny obsahem dusíku v palivu a teplotou ve spalovací komoře. Při vysokých teplotách, které ale nejsou při spalování biomasy obvyklé, vznikají především tzv. termické NO<sub>x</sub><sup>15</sup>, při běžných teplotách pro spalování biomasy (700 až 900°C) vznikají především palivové NO<sub>x</sub><sup>16</sup>. Jak bylo uvedeno výše, obvykle se uvádí, že stejné množství **oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>)**, které vznikne spálením biomasy, biomasa absorbuje během růstu, můžeme tento emisní faktor považovat za nulový. Síra je v biomase obsažena v minimálním množství, a proto emise **oxidu siřičitého (SO<sub>2</sub>)** z jejího spalování jsou velmi nízké. To je jedna z velkých předností [14, 25].

Emisní limity pro biomasu stanovené nařízením vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší, jsou uvedeny v následující tabulce. Limity jsou uvedeny pro oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), oxidy dusíku (NO<sub>x</sub> vyjádřené jako NO<sub>2</sub>), tuhé znečišťující látky (TZL), oxid uhelnatý (CO) a případně ještě organické látky vyjádřené jako suma organického uhlíku (ΣC). V případě tohoto druhu paliva emisní limity nezávisí na tepelném výkonu spalovacího zdroje. Jsou tedy stejné pro tepelný výkon 0,2 MW jako např. pro 5 MW.

---

<sup>12</sup> Skupina aromatických uhlovodíků s nejméně dvěma benzenovými jádry, které vznikají převážně během nedokonalého spalování (např. fenantren, antracen, fluoranten, pyren, benzo(a)pyren).

<sup>13</sup> Látky nebezpečné i ve stopovém množství, které vznikají například při spalování odpadu obsahujícího chlоровané látky či jako vedlejší produkty v chemické výrobě, kde se používá chlór.

<sup>14</sup> Nejčastěji oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO<sub>2</sub>).

<sup>15</sup> Vznikají z molekul N<sub>2</sub> obsažených ve vzduchu, který se účastní spalování. Vlivem vysoké teploty je tento atmosférický dusík rozštěpen a s přítomnými atomy kyslíku vznikají oxidy dusíku. Jejich množství je závislé na teplotě spalování a na době zdržení ve spalovacím procesu.

<sup>16</sup> Z dusíku obsaženého v palivu



**Tabulka 5:** Emisní limity pro biomasu

| Druh paliva | Emisní limity vztahované na normální stavové podmínky a suchý plyn<br>[mg/m <sup>3</sup> ] |                 |     |     |
|-------------|--|-----------------|-----|-----|
|             | SO <sub>2</sub>  | NO <sub>x</sub> | TZL | CO  |
| Biomasa     | 2500   | 650             | 250 | 650 |

**Zdroj:** [3]

## 2.4 Legislativní prostředí

Chování podnikatelských subjektů je usměrňováno a limitováno právními a technickými normami a kontrolu vykonávají složky správních a samosprávních orgánů. Základní právní a technické normy mají za cíl vytvořit rámec pro chování podnikatelských subjektů a spotřebitelů, stanovit technické požadavky na zařízení a výrobky. Také se snaží implementovat právní systém Evropské unie do právního systému České republiky a stanovit funkce, pravomoci a podmínky činnosti správních a samosprávních orgánů tak, aby byla zabezpečena ochrana životního prostředí, zdraví lidí a rovné podmínky pro hospodářskou soutěž včetně ochrany spotřebitelů [25].

V jednotlivé právní dokumenty se zabývají problematikou odpadů, energetiky, podnikání, ochrany životního prostředí a požadavků na výrobky. Právní a technické normy jsou uváděny hierarchicky podle právní síly [25]:

- Právní a technické normy EU
- Základní zákony ČR
- Nařízení vlády ČR, prováděcí vyhlášky k základním zákonům
- Složkové zákony a související právní normy
- Vyhlášky a předpisy samosprávních orgánů
- České technické normy (ČSN) a předpisy
- Podnikové normy, předpisy a smluvní ujednání

Plán odpadového hospodářství pro Českou republiku zahrnuje do své závazné části postupné omezování skládkování organických odpadů. Podíl této složky měl v roce 2010 tvořit nejvíce 75 %, v roce 2013 nejvíce 50 % a v roce 2020 nejvíce 35 % hmotnostních z celkového množství biologicky rozložitelných komunálního odpadu vzniklého v roce 1995 [4].

### 2.4.1 Legislativa založení a provozu bioplynových stanic

Hlavní právní dokumenty, které jsou v České republice platné pro založení a provoz bioplynových stanic, lze rozdělit do několika oblastí. U každé z nich je uvedeno několik příkladů [29]:

- Podnikání v oblasti obnovitelných zdrojů energie
  - zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon
  - zákon č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů
  - vyhláška 502/2005 Sb., o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a neobnovitelného zdroje
- Stavba
  - zákon č. 183/2006 Sb., stavební zákon
- EIA<sup>17</sup> a IPPC<sup>18</sup>
  - zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí
  - zákon č. 76/2001 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů
- Ochrana vod
  - zákon č. 254/2001 Sb., o vodách
- Ochrana ovzduší
  - zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší
  - vyhláška č. 362/2006 Sb., o způsobu stanovení koncentrace pachových látek
- Nakládání s odpady
  - zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech
  - vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady
- Hygienizace čistírenských kalů a vedlejších živočišných produktů
  - Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002 ES, o veterinárních a hygienických pravidlech pro vedlejší výrobky živočišného původu, které nejsou určeny k lidské spotřebě
- Nakládání s fermentačním zbytkem z BPS
  - zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech
  - vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva
  - vyhláška č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů

<sup>17</sup> hodnocení vlivu na životní prostředí

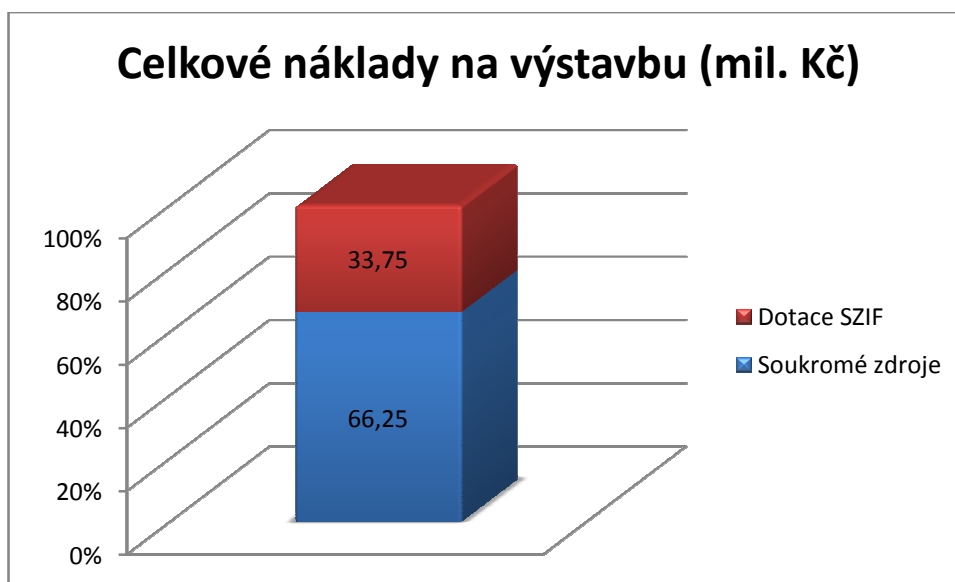
<sup>18</sup> celkové znečištění z výroby

### 3 Bioplynová stanice Litomyšl

Tato bioplynová stanice se nachází na severním okraji města Litomyšl v Pardubickém kraji a jejím provozovatelem je Zemědělské družstvo chovatelů a pěstitelů (ZDCHP). Hlavním předmětem jejich činnosti je zemědělská výroba a výstavba bioplynové stanice v areálu družstva vedla k jeho dalšímu rozvoji. Výhodou je nejen zpracování dřívě nevyužitého materiálu, ale také získání finančních prostředků za odkup vyrobené elektřiny.

#### 3.1 Výstavba bioplynové stanice

V roce 2009 byly uvedeny do provozu tři kogenerační jednotky vyrábějící elektrickou energii, každá s výkonem 250 kW. Později byla zapojena ještě čtvrtá a celkový osazený výkon stanice je nyní 1 MW. V příloze č. 3 k vyhlášce 475/2005 Sb., k provádění zákona o podpoře využívání obnovitelných zdrojů jsou uvedeny na modelovacích příkladech předpokládané investiční náklady na 1 kW elektrické energie. Pro výrobní spalující bioplyn je to částka do 110 mil. Kč. Bioplynová stanice Litomyšl toto kritérium splnila, náklady na její výstavbu činily něco málo přes 100 mil. Kč. Na tento účel se podařilo získat dotaci ze Státního zemědělského investičního fondu z Programu rozvoje venkova a to ve výši 33 750 tis. Kč.



**Graf 1:** Celkové náklady na výstavbu bioplynové stanice v Litomyšli

**Zdroj:** Vlastní zpracování

Dotace získaná právě z Programu rozvoje venkova byla třetí nejvyšší ve své kategorii. Snaha o její získání byla tedy velmi úspěšná a s její pomocí se podařilo projekt bioplynové

stanice realizovat. Druhou část nákladů pokryly soukromé zdroje Zemědělského družstva, jiné instituce (např. město Litomyšl) se na financování nepodílely.

### 3.2 Výroba elektrické energie

Pro výrobu elektrické energie je zde využíván bioplyn, který se získává z materiálů, ve kterých je obsažen metan. Čím větší je procento jeho zastoupení, tím je zdroj výhodnější. Využívá se hlavně kukuřičná siláž, travní senáž, kukuřičný šrot, obilí, hnůj a kejda. Objem bioplynu, který se dá z těchto surovin získat, je uveden v Tabulce 6. Z hodnot je zřejmé, že nejvýhodnější by bylo používat jako zdrojové suroviny převážně obilí a kukuřičný šrot.

**Tabulka 6:** Objem bioplynu v jednotlivých materiálech

| Materiál        | m <sup>3</sup> bioplynu z 1 tuny materiálu |
|-----------------|--|
| kukuřičná siláž | 200 – 220                                  |
| travní senáž    | 140 – 160                                  |
| obilí           | 580 – 600                                  |
| kukuřičný šrot  | 580 – 600                                  |
| hnůj a kejda    | 80   |

**Zdroj:** [12]

Suroviny se dávkuje do fermentoru, kde se zahřejí na teplotu 45°C a nechají se projít procesem fermentace. Vzniklý bioplyn je odváděn přes plynojem do kogenerační jednotky, kde je spalován a vytvořená elektrická energie je odváděna do sítě. Měsíčně se tímto způsobem vyrobí 650 – 700 tis. kWh proudu. Pro nepřetržitý provoz je potřeba přibližně 11 000 m<sup>3</sup> bioplynu denně, což představuje zhruba 60 tun biomasy. Vyhořelé palivo (digestát) má velkou výživnou hodnotu, a proto se používá jako hnojivo. Odpadní teplo, které při procesu vzniká, bohužel využíváno není, kogenerační jednotky se tedy musí chladit. Do budoucna je možné jeho využití alespoň pro potřeby družstva (např. sušení digestátu). Vytápění obytných zón není příliš reálné kvůli jejich velké vzdálenosti od areálu a případným velkým tepelným ztrátám, které by vznikaly při dopravě do objektů.

Zdrojová oblast není jednoznačná, každým rokem se mění. ZDCHP má k dispozici přibližně 700 ha orné půdy a záleží na rozhodnutí agronoma, které plodiny se na jaké rozloze budou pěstovat. V tomto ohledu se musí brát v úvahu i svažitost půdy, protože ne každá rostlina je vhodná na pěstování kdekoli (např. na hodně svažitém terénu není vhodné

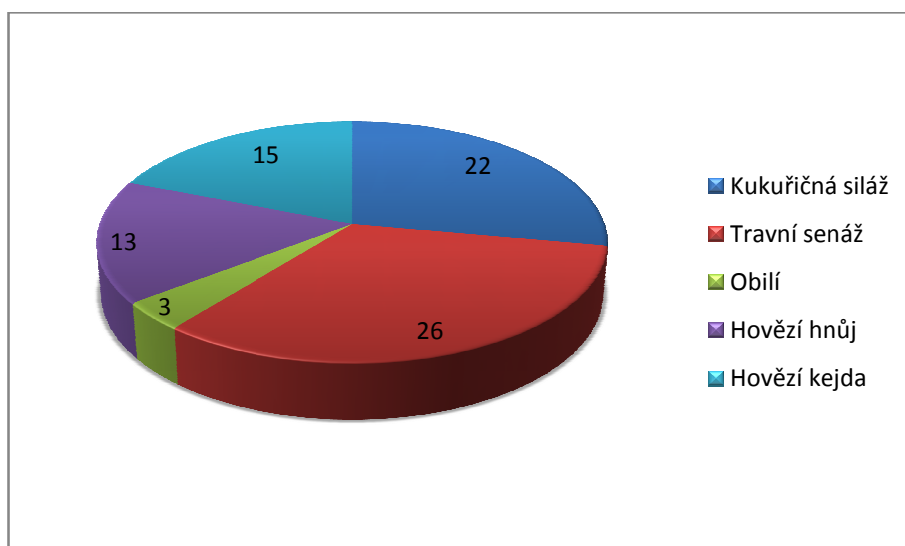
pěstování kukuřice – má kořeny do hloubky a velké rozestupy mezi rostlinami, v případě silného deště způsobí odplavení půdy).

Objem bioplynu získaného za den je možné ukázat na konkrétním příkladě s využitím předchozí tabulky. Množství bioplynu získaného z jednotlivých surovin bude v případě rozpětí dvou hodnot bráno jako jejich střední hodnota. Zdroje mohou být složeny např. tímto způsobem:

**Tabulka 7:** Množství bioplynu vyrobeného za den - konkrétní příklad

| Zdroj bioplynu  | Množství (t) | m <sup>3</sup> bioplynu z 1 tuny materiálu | Celkem        |
|-----------------|--------------|--|---------------|
| kukuřičná siláž | 22           | 210  | 4 620         |
| travní senáž    | 26           | 150  | 3 900         |
| obilí           | 3            | 590  | 1 770         |
| hovězí hnůj     | 13           | 80   | 1 040         |
| hovězí kejda    | 15           | 80   | 1 200         |
| <b>Celkem</b>   | <b>79</b>    | -  | <b>12 530</b> |

Zdroj: [12]



**Graf 2:** Materiál spotřebovaný na výrobu bioplynu na den

Zdroj: Vlastní zpracování

Poměr jednotlivých vstupů je lépe patrný z koláčového grafu. Číselné hodnoty uvádějí množství tun spotřebovaného materiálu. Jak bylo zřejmé již z Tabulky 7, největší podíl zabírá

travní senáž. Pokud je ovšem porovnána z hlediska získaného objemu bioplynu např. s obilím, bylo jí použito téměř devětkrát více, ale bioplynu byl získán přibližně dvojnásobek.

### 3.3 Environmentální vlivy

Kogenerační stanice je zařazena z hlediska zákona č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, jako střední zdroj znečišťování ovzduší. Tento zdroj musí splňovat emisní limity, které jsou stanoveny v nařízení vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Před vydáním povolení k umístění stavby byl záměr firmy podroben tzv. zjišťovacímu řízení podle § 7 zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí.

#### 3.3.1 Porovnání s emisními limity

Na začátku roku 2009, v souvislosti se zavedením tří kogeneračních jednotek do provozu, provedla laboratoř pro kontrolu emisí a imisí měření vznikajících emisí. Později byla do provozu uvedena ještě čtvrtá jednotka, její měření ale není k dispozici. Kogenerační jednotky jsou vybaveny vznětovými motory se zapalováním paprskem přídavného paliva, kterým je extralehký topný olej. Tohoto paliva se používá do 4 % z celkové vyrobené energie. Vlastnosti jedné kogenerační jednotky jsou shrnuty v Tabulce 8.

**Tabulka 8:** Vlastnosti kogenerační jednotky

|                          | Výkon (kW) | Podíl na celku (%) |
|--------------------------|------------|--------------------|
| Elektrický výkon         | 250        | 43                 |
| Tepelný využitelný výkon | 232        | 40                 |
| Ztráty                   | x          | 17                 |

**Zdroj:** [12]

V intervalu měření emisí byla zjišťována průměrná spotřeba vyrobeného bioplynu – cca 124,4 m<sup>3</sup>/hod. Naměřené výsledky plynných emisí<sup>19</sup> na kogeneračních jednotkách mohou být zatíženy chybou max. 2% z hodnoty použitého měřicího rozsahu, přičemž další chyba 1% může být vnesena použitým kalibračním plynem<sup>20</sup>. Naměřené výsledky TZL<sup>21</sup> mohou být

<sup>19</sup> SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, O<sub>2</sub>

<sup>20</sup> Směs plynů, u kterou jsou kladeny zvláštní požadavky na výrobní toleranci, přesnost analýzy a čistotu výchozích surovin.

<sup>21</sup> Tuhé znečišťující látky

zatíženy chybou až 20%. Koncentrace látek v tabulkách s rozměrem mg/m<sup>3</sup> jsou vztaženy na normální stavové podmínky 101,325 kPa, 0°C a na suchý nosný plyn, u TZL na vlhký nosný plyn [26].

Výsledky měření musí být v souladu s nařízením vlády č. 146/2007 Sb., o emisních limitech a dalších podmínkách provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. Je zajímavé, že hodnoty stanovené tímto právním dokumentem byly v jednom případě (složka NO<sub>x</sub>) odlišné od hodnot použitých laboratoří. Zákon stanovuje limit 1000 mg/m<sup>3</sup>, laboratoř vychází ze čtyřnásobku tohoto čísla. Emisní limity užitě pro bioplynovou stanici Litomyšl uvádí tabulka. Vybraná je pouze část týkající se bioplynu jako hlavního paliva pro vznětové motory.

**Tabulka 9:** Emisní limity pro bioplyn

| Druh paliva                | Emisní limity vztažené na normální stavové podmínky, vlhký plyn a 5 % O <sub>2</sub><br>[mg/m <sup>3</sup> ] |                 |     |     |
|----------------------------|--|-----------------|-----|-----|
|                            | SO <sub>2</sub>  | NO <sub>x</sub> | TZL | CO  |
| Bioplyn,<br>skládkový plyn | x <sup>22</sup>  | 4000            | 130 | 650 |

**Zdroj:** [26]

Hodnoty emisí vypouštěných do ovzduší byly měřeny pro každý ze tří motorů zvlášť. Bylo provedeno několik měření, zjištěné hodnoty jsou uvedeny v jednotlivých tabulkách. Koncentrace jednotlivých látek je brána jako průměrná, vztažená na normální podmínky v suchém spalování a jsou přepočteny na 5 % O<sub>2</sub>.

**Tabulka 10:** Souhrn výsledků měření emisí pro motor M1

| Měřená složka    | Jednotka          | Koncentrace | Měrná výrobní emise<br>[mg/m <sup>3</sup> bioplynu] |
|------------------|-------------------|-------------|---|
| TZL              | mg/m <sup>3</sup> | 5           | 46  |
| SO <sub>2</sub>  | mg/m <sup>3</sup> | 112         | 940   |
| ΣNO <sub>x</sub> | mg/m <sup>3</sup> | 405         | 3 400   |
| CO               | mg/m <sup>3</sup> | 592         | 4 963   |

**Zdroj:** [26]

<sup>22</sup> Obsah síry v palivu nesmí překročit limitní hodnoty obsažené ve zvláštním právním předpisu stanovujícím požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší a v motorové naftě nesmí překročit 0,05 hmotnostních %.

**Tabulka 11:** Souhrn výsledků měření emisí pro motor M2

| Měřená složka    | Jednotka          | Koncentrace | Měrná výrobní emise<br>[mg/m <sup>3</sup> bioplynu] |
|------------------|-------------------|-------------|---|
| TZL              | mg/m <sup>3</sup> | 5,3         | 49  |
| SO <sub>2</sub>  | mg/m <sup>3</sup> | 107         | 867   |
| ΣNO <sub>x</sub> | mg/m <sup>3</sup> | 378         | 3 062   |
| CO               | mg/m <sup>3</sup> | 511         | 4 140   |

**Zdroj:** [26]**Tabulka 12:** Souhrn výsledků měření emisí pro motor M3

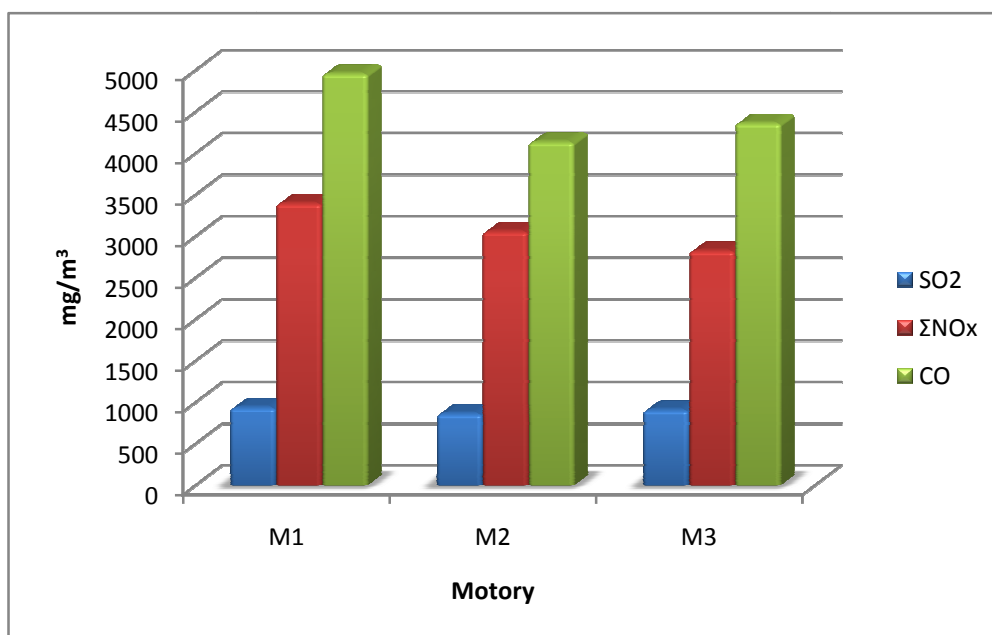
| Měřená složka    | Jednotka          | Koncentrace | Měrná výrobní emise<br>[mg/m <sup>3</sup> bioplynu] |
|------------------|-------------------|-------------|---|
| TZL              | mg/m <sup>3</sup> | 4,6         | 43  |
| SO <sub>2</sub>  | mg/m <sup>3</sup> | 114         | 912   |
| ΣNO <sub>x</sub> | mg/m <sup>3</sup> | 354         | 2 829   |
| CO               | mg/m <sup>3</sup> | 547         | 4 367   |

**Zdroj:** [26]

Koncentrace jednotlivých složek vznikajících při procesu kogenerace byly porovnány s emisními limity a je zřejmé, že všechny tři kogenerační jednotky v tomto směru odpovídají normám. Hodnoty měrných výrobních emisí jsou uvedeny v mg/m<sup>3</sup> bioplynu a tyto hodnoty byly použity v následujících výpočtech. V dokumentaci „Protokol o autorizovaném měření emisí“ jsou uváděny tyto hodnoty v kg/1000 m<sup>3</sup> bioplynu. Největší objem emisních jednotek byl zaznamenán u oxidu uhelnatého.

Nelze souhrnně říci, který motor pracuje s nejmenším objemem emisí. Toto pořadí se u jednotlivých látek mění. Například motor M2 zaznamenal sice největší koncentraci emisí tuhých znečišťujících látek, ale na druhou stranu také nejmenší koncentraci oxidu uhelnatého a oxidu siřičitého. Součinností motorů se poté jednotlivé hodnoty víceméně vyrovnají.





**Graf 3:** Koncentrace emisních látek

**Zdroj:** Vlastní zpracování

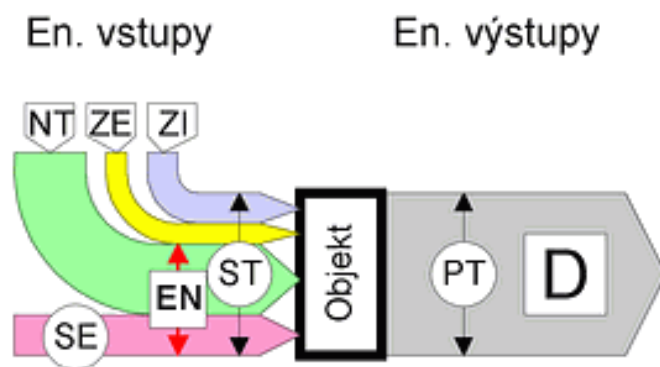
Pro přehlednost byly koncentrace jednotlivých emisních látek zpracovány do grafu. Svislá osa znázorňuje koncentraci škodlivin, vodorovná osa znázorňuje motory. Emisní hodnoty tuhých znečišťujících látek nejsou v tomto grafu zahrnuty, protože oproti ostatním jsou příliš malé a pro tento účel tedy zanedbatelné.

## 4 Vhodné nástroje pro modelování výstupů

### 4.1 Sankeyův diagram

Sankeyův diagram dostal své pojmenování podle irského inženýra H. P. R. Sankeye. Jedná se o grafické znázornění toku surovin v určitém procesu. A to takovým způsobem, že šířka proužků oddělující se od základního je úměrná poměrné velikosti vzhledem k celku. Současně je označen i směr toku dané suroviny a pro větší názornost lze odlišit jejich pohyb barevně. Jako příklad poslouží následující obrázek, který sestrojil Klazar [13]. Zachycuje energetickou náročnost projektu. Vstupem je spotřeba tepla pro vytápění (ST), která se skládá z vnitřního tepelného zisku (ZI), vnějšího tepelného zisku (ZE), nízkopotenciálního tepla<sup>23</sup> (NT) a spotřebou hnací energie, tj. energetická náročnost (SE). Výstupem je potom potřeba tepla pro vytápění neboli energetické nároky (PT).

<sup>23</sup> Přírodní teplo – obnovitelný zdroj energie



**Obrázek 2:** Sankeyův diagram

**Zdroj:** [13]

Jak je z obrázku patrné, barevně jsou označeny vstupy procesu a po sečtení šířek jednotlivých šipek je získán stejně široký výstup, neboli  $ST = PT$ .

## 4.2 Microsoft Office Excel

Další metodou, kterou lze použít pro znázornění a výpočet jednotlivých složek procesu kogenerace je program Microsoft Office Excel. Ten po zadání dat a výpočtového vzorce vypočte velikost jednotlivých vstupů a výstupů. Tato metoda není vhodná kvůli náročnosti procesu, která poukazuje na složitost vzorců potřebných pro výpočet.

## 4.3 Petriho síť

Petriho sítěmi je označována široká škála matematických modelů, které umožňují popisovat specifickými prostředky řídicí toky a informační závislost uvnitř modelovaných systémů. Poprvé je ve své práci „Kommunikation mit Automaten“ použil v roce 1962 C.A.Petri<sup>24</sup>. V současné době jsou nejčastěji spojovány s aplikacemi při návrhu, analýze a modelování paralelních a distribuovaných systémů a to v oblastech databázových systémů, překladačů, při popisu komunikačních protokolů, počítačových sítí, automatizovaných průmyslových systémů nebo i systémů v administrativě [5, 31].

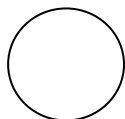
### 4.3.1 Základní principy

Model je nástrojem poznávání reality a účinným prostředkem řešení zejména složitých a rozsáhlých problémů. Srozumitelnost a analyzovatelnost Petriho sítí je dána jejich jednoduchostí. Existuje celá řada modifikací. Mezi základní můžeme zařadit např. P/T

<sup>24</sup> Carl Adam Petri – německý matematik a počítačový vědec

(Place/Transitions) Petriho sítě. Na této variantě budou znázorněny základní postupy. K popsání modelu jsou užívány tři základní objekty:

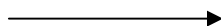
- Místa (Places) – graficky reprezentovány jako kružnice



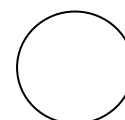
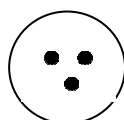
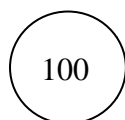
- Přechody (Transitions) – graficky reprezentovány jako obdélníky



- Hrany (Arcs) – graficky reprezentovány jako šipky směřující od míst k přechodům a opačně



Místa a hrany mohou mít kapacitu a váhy. Kapacita je definována pro všechna místa v síti a udává maximální počet tzv. značek (tokens) někdy též nazývané „žetony“, které může dané místo obsahovat. Pokud u místa není kapacita uvedena, považuje se za neomezenou.

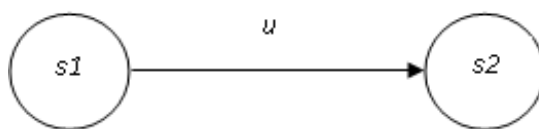


neomezená  
kapacita

Váhy (Weight) jsou definovány pro všechny hrany v síti a udávají její násobnost. Pokud váha není uvedena, má se za to, že je rovna jedné.



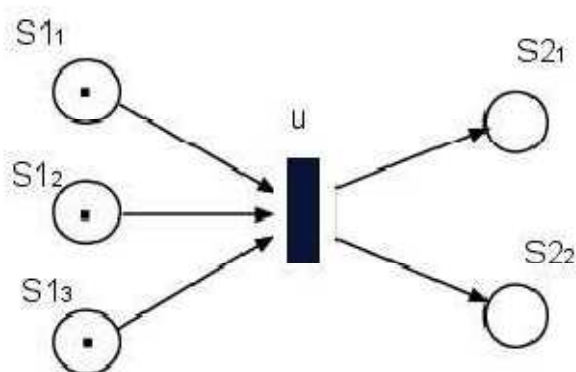
Petriho sítě vznikly rozšířením modelovacích možností konečných automatů. Při jejich použití je základním prostředkem popisu změny pojem stav a přechod mezi stavy. Na následujícím obrázku je modelována změna v určitém systému, která nastane při události  $u$  (podmíněně stavem  $s_1$ ) a která přivede systém do stavu  $s_2$  [5].



**Obrázek 3:** Modelování změny stavu systému konečným automatem

**Zdroj:** [31]

Nyní předpokládejme, že daný systém rozložíme na subsystemy. Poté je ale nutné popsat kombinaci stavů jednotlivých subsystemů zvláštními, tzv. parciálními stavy. Stav  $s1$  popíšeme podmínkami  $s1_1, s1_2, s1_3$  a stav  $s2$  rozložíme na parciální stavy  $s2_1$  a  $s2_2$ . Pak situaci na Obr. 3 lze prostředky Petriho sítě vyjádřit takto [31]:



**Obrázek 4:** Modelování změny stavu systému Petriho sítí

**Zdroj:** [31]

Obrázek 4 tedy znázorňuje, jak se v Petriho sítích provádí přechod v případě, že vstupní i výstupní místa jsou složena z několika podsystémů. Definování vstupů a výstupů je v grafu vyjádřeno orientovanými hranami. Těmi je tedy dáno, které aspekty stavu podmiňují výskyt odpovídajících událostí a které aspekty jsou výskytem této události ovlivněny [31].

### 4.3.2 Definice Petriho sítí

Po definování základních prvků Češka [5] uvádí základní matematickou definici Petriho sítí:

Trojici  $N = (P, T, F)$  nazýváme sítí, jestliže

- (1)  $P$  a  $T$  jsou disjunktní množiny<sup>25</sup> a
- (2)  $F \subseteq (P \times T) \cup (T \times P)$  je binární relace

Množina  $P$  se nazývá *množinou míst* sítě  $N$ , množina  $T$  *množinou přechodů* sítě  $N$  a množina  $A$  *množinou hran* sítě  $N$ .

Každá síť má také své *značení*. To je definováno jako funkce, která každému místu přiřadí celé nezáporné číslo  $z: P \rightarrow N_0$ . Aktuální značení můžeme zapsat jednotlivě, např.  $z(s_{1_1}) = 5$ ,  $z(s_{1_2}) = 2$ ,  $z(s_{1_3}) = 1$ ,  $z(s_{2_1}) = 1$ ,  $z(s_{2_2}) = 0$ , nebo pokud máme přesně dané pořadí přechodů, jako uspořádanou  $n$ -tici, kde  $n$  je počet přechodů:  $(z(s_{1_1}), z(s_{1_2}), z(s_{1_3}), z(s_{2_1}), z(s_{2_2})) = (5, 2, 1, 1, 0)$ .

Počet značek odebraných z místa  $p$  provedením přechodu  $t$  je *zpětná incidenční funkce*  $\mathbf{I}(p, t)$ . Podobně počet značek, které provedením přechodu přidáme do výstupního místa přechodu nazýváme *dopředná incidenční funkce*  $\mathbf{I}^+(p, t)$ .

Potom Voráčová [31] definuje Petriho síť jako uspořádanou pětici  $(P, T, \mathbf{I}, \mathbf{I}^+, z_0)$ , kde:

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}$  je konečná neprázdná množina míst
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$  je konečná neprázdná množina přechodů
- množiny  $P, T$  jsou disjunktní  $P \cap T = \emptyset$
- $\mathbf{I}, \mathbf{I}^+$  jsou incidenční funkce  $P \times T \rightarrow N_0$
- $z_0: P \rightarrow N_0$  je počáteční značení

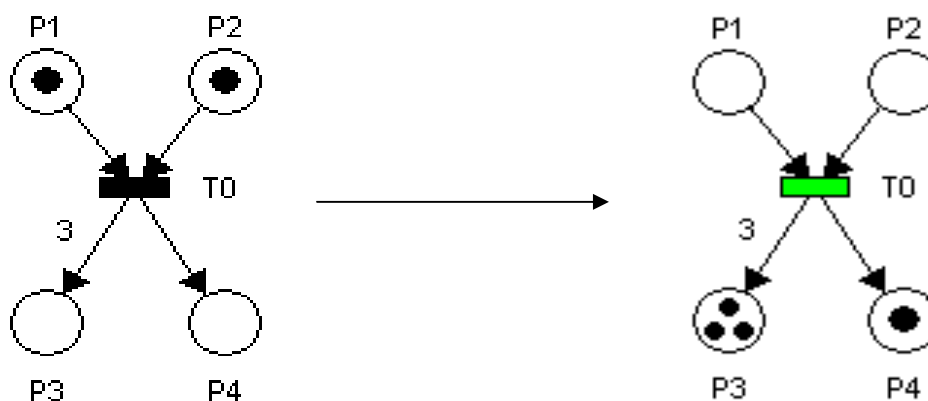
Pokud jsou splněny podmínky pro provedení přechodu, systém nahradí aktuální značení jiným, které bude odpovídat incidenčním funkcím daného přechodu. Přechod se projeví pouze lokálně, ostatní části systému zůstanou nezměněny.

---

<sup>25</sup> Množiny, které nemají žádný společný prvek, tj. jejich průnikem je prázdná množina

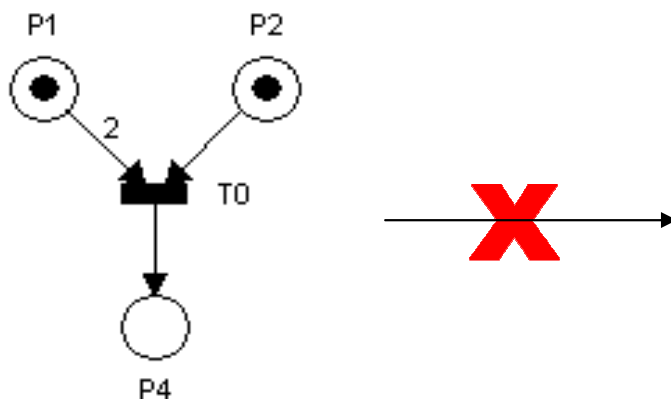
### 4.3.3 Grafické zobrazení

Petriho síť můžeme zobrazit pomocí orientovaného grafu. Místa a přechody jsou jeho uzly, počet značek (žetonů) potřebných pro provedení přechodu udává váha orientované hrany. Ta určí nejen kolik značek je potřeba k uskutečnění přechodu, ale také počet značek v jednotlivých místech po jeho provedení. Není možné spojovat navzájem dvě místa ani dva přechody. Petriho síť můžeme tedy graficky zobrazit pomocí orientovaného bipartitního<sup>26</sup> grafu [31].



**Obrázek 5:** Průběh přechodu v Petriho síti

Zdroj: [24]



**Obrázek 6:** Neproveditelný přechod v Petriho síti

Zdroj: [24]

Přechod bude proveden pouze v případě, kdy počet značek na vstupních místech  $\geq$  váze hrany, která spojuje vstupní místa s přechodem. Situace, kdy přechod proveden

<sup>26</sup> Takový graf, jehož množinu vrcholů lze rozdělit na dvě disjunktní množiny tak, že žádné dva vrcholy ze stejné množiny nejsou spojeny hranou.

nebude, protože počet značek ve vstupním místě P1 je menší než váha hrany, je znázorněna na Obrázku 6 [24].

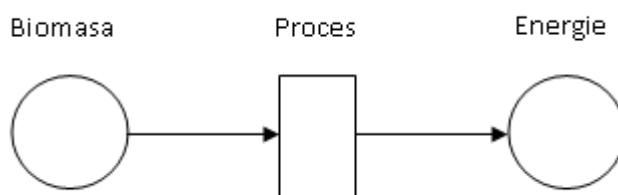
#### 4.3.4 Barvené Petriho sítě

Petriho sítě jsou efektivním nástrojem pro modelování a návrh řízení dynamických diskretních systémů. Často je však model nepřehledný a nesrozumitelný a je potřeba rozšířit strukturu Petriho sítí o další parametry. Tuto možnost – obohatit klasické sítě o možnost popisu časových vztahů či datových typů – poskytují tzv. Petriho sítě vyšší úrovně. Jejich velkou výhodou je značná redukce sítě [31].

Pokud jsou vztahy mezi jednotlivými stavy systémů komplikované a existuje v něm celá řada podsystémů, hlavním problémem je, že máme k dispozici jen jeden typ značek. Tím je modelování systémů s různorodými požadavky či událostmi komplikované. Nejrozšířenější typ Petriho sítí s rozlišením značek jsou barvené Petriho sítě. Základní myšlenkou je, že značky v barvených Petriho sítích mají svou vlastní individualitu reprezentovanou údaji určitého typu nazývaného barva. Ta reprezentuje přiřazení určité hodnoty. Místa, přechody a hrany mohou být opatřeny logickými podmínkami, které se týkají barev jednotlivých značek [31].

## 5 Aplikace Petriho sítě

Proces výroby elektrické energie z biomasy zahrnuje množství vstupů a výstupů. Pro jeho namodelování proto byla použita přehlednější barvená Petriho síť, kde vstupem byly jednotlivé druhy biomasy a nejvíce sledovaným konečným výstupem elektrická energie. Zjednodušeně je možné tento proces znázornit následovně:



**Obrázek 7:** Zjednodušený model výroby elektrické energie z biomasy

**Zdroj:** Vlastní zpracování

Pomocí Petriho barvené sítě byl modelován proces výroby elektrické energie z biomasy s využitím konkrétních dostupných údajů. Celý proces prochází přes dva přechody. Do prvního, ve kterém vzniká bioplyn, vstupuje biomasa a výstupem je digestát a bioplyn.

Ten se zpracovává ve druhém přechodu, kterým je proces kogenerace. Negativními konečnými výstupy jsou emise a odpadní teplo, pozitivními potom energie.

## 5.1 Vstupy

Vstupem celého procesu (místo *P1*) je *Biomasa*, která zahrnuje kukuřičnou siláž, travní senáž, obilná zrna, kukuřičný šrot, hnůj a kejdu. Tohoto materiálu je denně zpracováno přibližně 60 tun, tj. **60 000 kg**.

Zvláštní postavení zastává místo *P2*, které je díky dvěma přechodům zároveň vstupem i výstupem. Je označeno jako *Bioplyn*. Ze získaných údajů víme, že denně se ho vyrobí cca 11 000 m<sup>3</sup>. Pro potřebu modelování převedeme tento objem na kilogramy. K výpočtu byla použita hustota bioplynu, kterou ve svém článku uvádí Mužík [20], vztažená na 60% CH<sub>4</sub> a 40% CO<sub>2</sub>, tj. **1,2 kg/m<sup>3</sup>**. Výpočet výstupu prvního přechodu bude ve tvaru:

$$11\,000\text{ m}^3 * 1,2\text{ kg/m}^3 = \mathbf{13\,200\text{ kg}}$$

V průběhu druhého procesu je bioplyn použit jako vstupní materiál. Ze získaných údajů víme, že průměrná spotřeba vyrobeného bioplynu jednoho motoru je 124,4 m<sup>3</sup>/hod. Kvůli nutnosti shodných jednotek přepočítáme tuto hodnotu opět s využitím hustoty bioplynu jako v předchozím případě na kilogramy. Bioplyn jako vstup bude tedy udáván v množství:

$$124,4\text{ m}^3/\text{hod} * 1,2\text{ kg/m}^3 = \mathbf{149,28\text{ kg/hod}}$$

## 5.2 Výstupy

Prvním výstupem (místo *P5*) je *Digestát*. Jeho celková hmotnost po projití procesem je rovna rozdílu hmotností vstupu (biomasa) a druhého výstupu (bioplyn):

$$60\,000\text{ kg} - 13\,200\text{ kg} = \mathbf{46\,800\text{ kg}}$$

Výstupem druhého přechodu (místo *P4*) jsou *Emise* a *Odpadní teplo*. U emisí byly výchozí průměrné hodnoty měrných výrobních emisí jednotlivých motorů, které jsou uvedeny v Tabulkách 10 – 12. Tyto látky byly pro účely modelování přepočteny na 1 kg vyrobeného bioplynu. Byl tedy proveden výpočet, ve kterém v prvním kroku získáme měrné výrobní



emise v kg/m<sup>3</sup>, poté tuto hodnotu vynásobíme objemem bioplynu v m<sup>3</sup> (nebo vynásobíme množstvím bioplynu v kg a vydělíme jeho hustotou 1,2 kg/m<sup>3</sup>). Počty desetinných míst v jednotlivých případech se neshodují z toho důvodu, že do modelovacího programu je nutné zadat co nejpřesnější číslo. Výpočty pro jednotlivé složky tedy budou ve tvaru:

CO:

$$\frac{4\,963 + 4\,140 + 4\,367}{3} = 4\,490 \frac{mg}{m^3}$$

$$4\,490 \frac{mg}{m^3} * 10^{-6} = 0,004\,49 \frac{kg}{m^3}$$

$$0,004\,49 \frac{kg}{m^3} * 124,4 \frac{m^3}{hod} = \mathbf{0,558\,556 \frac{kg}{hod}}$$

NO<sub>x</sub>:

$$\frac{3\,400 + 3\,062 + 2\,829}{3} = 3\,097 \frac{mg}{m^3}$$

$$3\,097 \frac{mg}{m^3} * 10^{-6} = 0,003\,097 \frac{kg}{m^3}$$

$$0,003\,096 \frac{kg}{m^3} * 124,4 \frac{m^3}{hod} = \mathbf{0,385\,142\,4 \frac{kg}{hod}}$$

SO<sub>2</sub>:

$$\frac{940 + 867 + 912}{3} = 906,33 \frac{mg}{m^3}$$

$$906,33 \frac{mg}{m^3} * 10^{-6} = 0,000\,906\,33 \frac{kg}{m^3}$$

$$0,000\,906\,33 \frac{kg}{m^3} * 124,4 \frac{m^3}{hod} = \mathbf{0,112\,747\,452 \frac{kg}{hod}}$$

TZL:

$$\frac{46 + 49 + 43}{3} = 46 \frac{mg}{m^3}$$

$$46 \frac{mg}{m^3} * 10^{-6} = 0,000\ 046 \frac{kg}{m^3}$$

$$0,000\ 046 \frac{kg}{m^3} * 124,4 \frac{m^3}{hod} = \mathbf{0,005\ 722\ 4} \frac{kg}{hod}$$

Teplo, které není možné nijak využít, činí asi 17% celkového výkonu spalovacího motoru. Ostatních 83 % tvoří mechanický a tepelný využitelný výkon. Mechanický výkon hřídele se vypočítá jako podíl elektrického výkonu a účinnosti přenosu, která byla ZDCHP uvedena v rozmezí 90 – 93%. Pro potřeby výpočtu je brána tato hodnota jako 91,5%. Tepelnou ztrátu tedy určíme jako 17 % celku.

Tepelná ztráta:

$$\frac{250kW}{0,915} + 232 kW = 505,22 kW \rightarrow 83 \%$$

$$\frac{505,22 kW * 100}{83} = 608,7 kW \rightarrow 100 \%$$

$$\frac{608,7 kW}{100} * 17 = \mathbf{103,5 kW} \rightarrow \mathbf{17 \%}$$

Po získání hodnoty tepelné ztráty (odpadního tepla) je možné určit účinnost jednoho motoru, tedy účinnost přenosu energie plynu na mechanickou energii. Ta se získá jako součin mechanického výkonu, který se vypočítá jako podíl elektrického výkonu ( $P_{el.}$ ) a účinnosti přenosu mechanické energie na energii elektrickou ( $\eta_{přenosu}$ ), a převrácené hodnoty celkového výkonu ( $P_{celk.}$ ).

Jako účinnost  $\eta_{přenosu}$  byla pro výpočet použita hodnota 91,5 %, jak je popsáno výše. Celkový výkon spalovacího motoru se vypočítá jako součet:

- výkonu mechanického  $P_{mech.} = 273,22 kW$
- výkonu tepelného  $P_{tep.} = 232 kW$
- výkonu ztrátového  $P_{z.} = 103,5 kW$

Celkový výkon spalovacího motoru, jehož hodnota byla vypočtena již při zjišťování hodnoty tepelné ztráty, tedy bude:

$$P_{celk.} = 273,22kW + 232kW + 103,5kW = \mathbf{608,72 kW}$$

Získané hodnoty dosadíme do vzorce pro celkovou účinnost motoru:

$$\eta_{motoru} = \frac{P_{el.}}{\eta_{přenosu}} * \frac{1}{P_{celk.}} = \frac{250 kW}{0,915} * \frac{1}{608,72 kW} = 0,448 843 = \mathbf{44,88 \%}$$

Po provedení výpočtu je patrné, že účinnost jednoho motoru se v tomto případě pohybuje lehce pod 45%.

Hodnoty používané pro výpočty byly brány jako průměry hodnot tří motorů. Později bioplynová stanice Litomyšl uvedla do provozu čtvrtý motor se stejnými parametry. Jelikož se jedná o stejný typ motoru, dá se předpokládat, že se tím jednotlivé průměrné hodnoty nijak výrazně nezmění. Potom je možné hodnoty místa P4, které jsou vztaženy na 250 kWh, vyjádřit v množství na 1 MWh elektrické energie. Tyto hodnoty získáme jako čtyřnásobek výše vypočítaných hodnot a budou tedy získány údaje pro celou bioplynovou stanici.

CO:

$$0,558 556 \frac{kg}{hod} * 4 = \mathbf{2,234 224 \frac{kg}{MWh}}$$

NO<sub>x</sub>:

$$0,385 142 4 \frac{kg}{hod} * 4 = \mathbf{1,540 569 6 \frac{kg}{MWh}}$$

SO<sub>2</sub>:

$$0,112 747 452 \frac{kg}{hod} * 4 = \mathbf{0,450 989 808 \frac{kg}{MWh}}$$

TZL:

$$0,005 722 4 \frac{kg}{hod} * 4 = \mathbf{0,022 889 6 \frac{kg}{MWh}}$$

Tepelná ztráta:

$$103,5\text{kWh} * 4 = \mathbf{414\text{ kWh}}$$

Místo *P5* je posledním konečným výstupem. Jedná se o hlavní produkt celého procesu. V tomto místě kogenerační jednotka vykazuje určitý tepelný a elektrický výkon, souhrnně nazváno *Energie*. Z údajů získaných z bioplynové stanice Litomyšl je zřejmé, že elektrický výkon jednoho motoru je 250 kWh a jeho tepelný výkon činí 232 kWh. Dá se říci, že tento tepelný výkon je také ztrátový, neboť daná biostanice teplo nevyužívá. Ovšem v programu je uvažováno jeho využití a tedy tento výstup bude žádoucí.

### 5.3 Přejchody

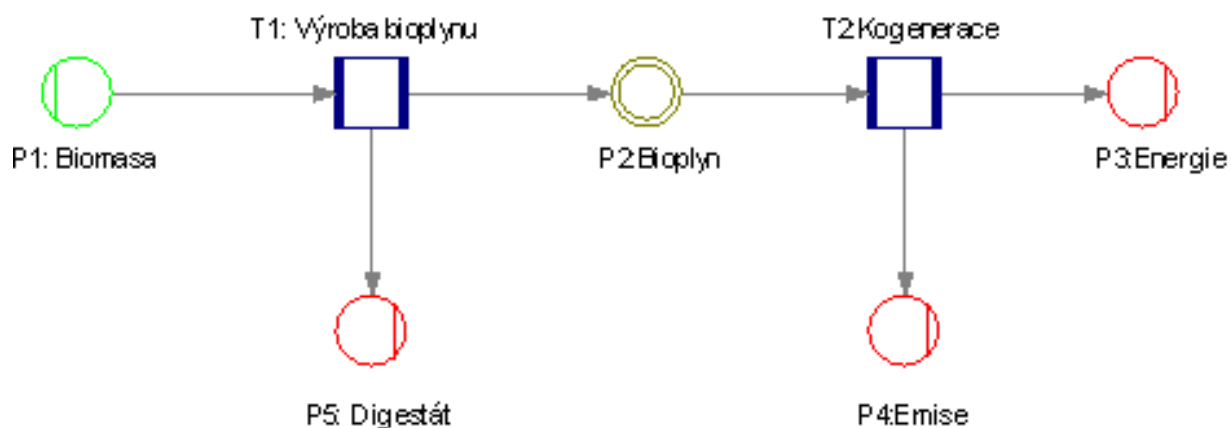
Přejchodem *T1* je *Výroba bioplynu*. Sem vstupuje biomasa, výstupem je bioplyn a digestát. Druhý přechod *T2* je proces samotné *Kogenerace*. Pro přehlednost jsou jednotlivé hodnoty, potřebné pro vytvoření modelu, shrnuty v následující Tabulce. Z výše uvedených hodnot je patrné, že bioplynová stanice spotřebuje 149,28 kg/hod bioplynu. V následujících krocích bude použito měrné množství bioplynu, a to 149,28 kg.

**Tabulka 13:** Parametry vstupů a výstupů jednotlivých přechodů

| <b>Přejchod T1</b> |           |                    |                  |
|--------------------|-----------|--------------------|------------------|
| Vstupy             |           | Výstupy            |                  |
| Biomasa            | 60 000 kg | Bioplyn            | 13 200 kg        |
|                    |           | Digestát           | 46 800 kg        |
| <b>Přejchod T2</b> |           |                    |                  |
| Bioplyn            | 149,28 kg | Teplo              | 232 kWh          |
|                    |           | Elektrická energie | 250 kWh          |
|                    |           | Odpadní teplo      | 103,5 kWh        |
|                    |           | CO                 | 0,558 556 kg     |
|                    |           | NO <sub>x</sub>    | 0,385 142 4 kg   |
|                    |           | SO <sub>2</sub>    | 0,112 747 452 kg |
|                    |           | TZL                | 0,005 722 4 kg   |

**Zdroj:** Vlastní zpracování

Všechny hodnoty byly zadány do prostředí programu Umberto 5.0.1, kde byl celý proces namodelován. Výsledkem je průběh zachycený na následujícím obrázku. Jako konkrétní výpočtový příklad bylo zvoleno vstupní množství biomasy na 1000 kg. Program provedl celý proces a jednotlivé výstupy jsou shrnuty v Tabulce 14.

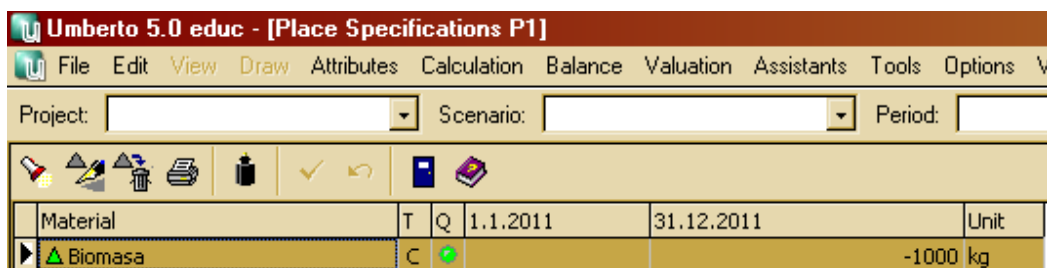


**Obrázek 8:** Proces namodelovaný v prostředí Umberto 5.0.1

**Zdroj:** Vlastní zpracování

Jednotlivá místa a přechody jsou barevně odlišeny. Důvodem je použití barvené Petriho sítě. Místa jsou navíc rozlišena podle své funkce. Ta, která obsahují pouze vstupy, místa výstupní a místa s oběma těmito funkcemi. Tyto kategorie jsou vizuálně barevně rozlišeny.

Jako modelový příklad byl zvolen vstup 1000 kg biomasy. Z té bylo získáno 220 kg bioplynu a 780 kg digestátu. V modelovacím programu se provedení tohoto přechodu na místě P1 zobrazí jako:



**Obrázek 9:** Namodelovaný příklad prvního přechodu

**Zdroj:** Prostedí Umberto 5.0.1 - Vlastní zpracování

V záhlaví můžeme vidět, že se skutečně jedná o zobrazení místa P1 a modelovací prostředí Umberto 5.0.1, v samotné tabulce potom druh materiálu, množství, které při přechodu odešlo, a jeho jednotky.

Pro druhý přechod byl vstupem již vyrobený bioplyn, pozitivními výstupy teplo a elektrický proud, negativními potom emise a odpadní teplo. Po specifikování přechodů můžeme shrnout konečné výsledky namodelovaného příkladu.

## 5.4 Výsledky modelování

Všechny empiricky zjištěné i dopočítané hodnoty byly zadány do modelu v prostředí Umberto 5.0.1, kde byl celý model implementován. Modelem vypočítané výstupy pro jeden motor, které se vztahují na 1 000 kg vstupní biomasy, jsou shrnuty v Tabulce:

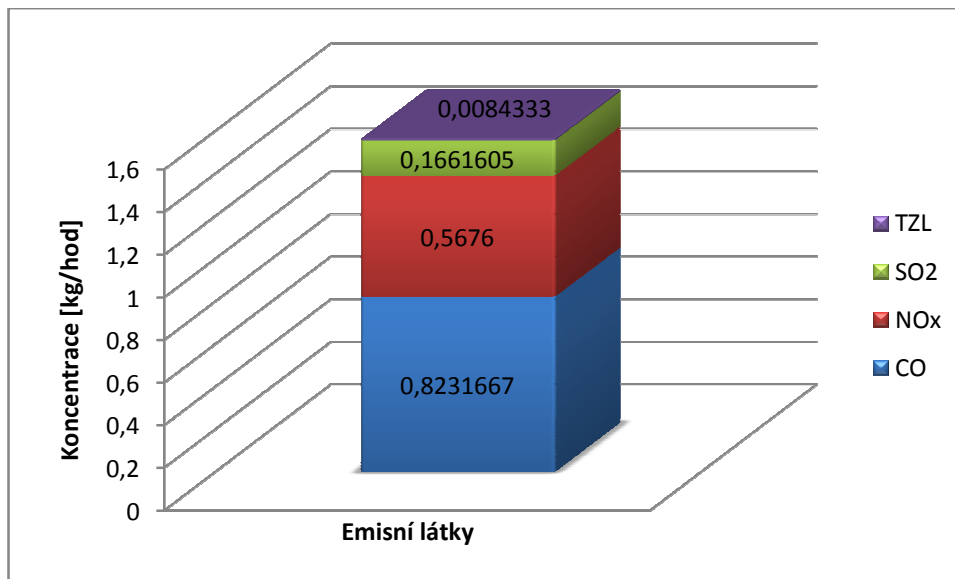
**Tabulka 14:** Výstupy modelu pro jeden motor

| Veličina           | Umístění | Hodnota | Jednotka |
|--------------------|----------|---------|----------|
| Teplo              | P3       | 341,9   | kWh      |
| Elektrická energie | P3       | 368,4   | kWh      |
| Odpadní teplo      | P4       | 145,5   | kWh      |
| CO                 | P4       | 0,823   | kg/hod   |
| NOx                | P4       | 0,568   | kg/hod   |
| SO2                | P4       | 0,166   | kg/hod   |
| TZL                | P4       | 0,008   | kg/hod   |
| Digestát           | P5       | 780     | kg       |

**Zdroj:** Výstup modelu v prostředí Umberto 5.0.1 - Vlastní zpracování

Množství vytvořeného digestátu z jednoho tisíce kg biomasy je poměrně velké, ovšem jak bylo zmíněno výše, ZDCHP Litomyšl ho pro velkou výživovou hodnotu využívá jako hnojivo. Do budoucna je možnost po vysušení ho použít jako podestýlku. Elektrický proud vytvořený tímto způsobem by mohl být využit například na týdenní nepřetržitý provoz rychlovarné konvice o příkonu 2,2 kWh.

Pro větší přehlednost množství výstupních emisních látek jsou tyto hodnoty znázorněny v grafu. Jak je patrné, největší část, více než 50 %, náleží emisím oxidu uhelnatého, druhou největší položkou jsou oxidy dusíku. Tuhých znečišťujících látek a oxidu siřičitého je v porovnání s těmito dvěma látkami velmi malé množství.



**Graf 4:** Koncentrace emisních látek v modelovém příkladu

**Zdroj:** Vlastní zpracování

Po provedení obou přechodů se použitím procesu kogenerace z jedné tuny vstupní biomasy získá dle výsledků modelu 341,9 kWh tepelné energie a 368,4 kWh elektrické energie, které jsou považovány za pozitivní výstupy. Vzniknou zde ale i výstupy nežádoucí, a to 145,5 kWh odpadního tepla, 0,823 kg/hod emisí oxidu uhelnatého, 0,568 kg/hod emisí dusíku, 0,166 kg/hod emisí oxidu siřičitého a 0,008 kg/hod emisí tuhých znečišťujících látek.

Podobným způsobem by bylo možné získat hodnoty za celou bioplynovou stanicí. Byl by to čtyřnásobek hodnot uvedených v Tabulce 14. V modelu je modelován pouze jeden motor. Pokud by tedy byl některý z motorů odstaven nebo naopak přidán další, je možné hodnoty aplikovat při stejných typech motoru na jakýkoliv jejich počet.

Petriho síť umožňuje namodelovat proces pro jakékoli množství vstupních surovin. V tomto případě jsou hodnoty výstupů uspokojivé a výroba elektrické energie tímto způsobem má malý negativní dopad na životní prostředí.

## Závěr

Spotřeba energie má v současné době stále rostoucí tendenci. Protože zásoby obnovitelných zdrojů energie nejsou nevyčerpatelné, stále více jsou využívány zdroje obnovitelné. Mezi jejich nespornou výhodou patří šetrnost k životnímu prostředí a dá se říci, že i jejich nevyčerpatelnost. Nejen z toho důvodu, ale hlavně díky zmenšujících se zásobám fosilních paliv, které jsou v současné době využívány nejvíce, je nezbytné do budoucna zvyšovat jejich podíl na celkové vyrobené energii. Takovým zdrojem s poměrně velkým energetickým potenciálem je biomasa, jejíž využívání je v českém prostředí zatím málo rozvinuté. Cílem této práce bylo namodelování a zhodnocení environmentálních vlivů výroby elektrické energie z biomasy.

První dvě kapitoly jsou věnovány jednotlivým zdrojům energie, které je možné využívat, hlavně tedy zdrojům obnovitelným a především biomase. Jejím definování a procesu, kterým se z biomasy získává elektrická energie. Další kapitola popisuje činnost konkrétní bioplynové stanice, větší prostor je věnována oblasti produkovaných emisí. Následuje popis jednotlivých modelů, kterými můžeme znázornit proces probíhající v bioplynových stanicích, a závěrečná kapitola obsahuje příklad s konkrétními hodnotami namodelovaný pomocí barvených Petriho sítí a vyhodnocení získaných údajů.

Výhody procesu výroby elektrické energie z biomasy v bioplynových stanicích vystavěných u zemědělských družstev, jako je tomu i v případě litomyšlské bioplynové stanice, lze spatřovat především ve využití takových surovin pro vstupní materiály, které by za jiných podmínek již žádné další využití neměly, např. hovězí a vepřový hnůj a kejda. Z tohoto pohledu mají nejlepší způsob použití v Německu, kde jsou vstupními surovinami tohoto procesu z většiny právě tyto dva zdroje. I účinnost spalovacího motoru je při tomto procesu poměrně vysoká a to něco málo pod 45%.

Výstupem celého procesu jsou nejen využitelné tepelná a elektrická energie, ale také tepelné ztráty a emise škodlivých látek. Zde se jedná především o oxid uhelnatý, oxidy dusíku, oxid siřičitý a tuhé znečišťující látky, kam můžeme zařadit saze a prach. A právě tyto látky, které vystupují z procesu, byly v práci zkoumány z hlediska jejich množství, které se při procesu vyprodukuje, jejich souladu s platnými emisními normami a z hlediska jejich dopadu na životní prostředí.

Největší podíl na produkovaných emisích má oxid uhelnatý, který tvoří nadpoloviční většinu z celkového množství. Celkový výstup vyprodukovaný za hodinu činnosti jednoho motoru, obsahuje něco málo přes 0,82 kg zmiňovaného CO, zhruba 0,57 kg oxidů dusíku,



0,167 kg SO<sub>2</sub> a pouze 0,008 kg tuhých znečišťujících látek. Ale i díky dobré technologii celého zařízení unikají do ovzduší škodlivé látky pouze v takovém rozsahu, ve kterém nepřekročí limit stanovený legislativou České republiky. Z environmentálního hlediska tedy výroba elektrické energie z biomasy nemá na životní prostředí špatný vliv.

Biomasa jako obnovitelný zdroj energie je v České republice na počátku svého využití. Do budoucna lze tedy předpokládat její větší podíl na výrobě „čisté“ elektrické energie. Nejen že tento proces má malé dopady na životní prostředí, jak bylo prokázáno modelem, ale využívá také odpadní materiály a v neposlední řadě cílené pěstování biomasy výrazným způsobem utváří ráz krajiny.

## Zdroje

- [1] *Agromont Vimperk, s.r.o.* [online]. nevedeno [cit. 2011-01-26]. Energie z bioplynu. Dostupné z WWW: <<http://www.agromont.cz/cs/11/section-40/energetika-bioplynove-stance.htm>>.
- [2] BECHNÍK, Bronislav. Obnovitelné zdroje : cíl 8 % v roce 2010 bude splněn. *Tzbinfo* [online]. 15.11.2010, nevedeno, [cit. 2011-03-02]. Dostupný z WWW: <<http://energie.tzb-info.cz/6931-obnovitelne-zdroje-cil-8-v-roce-2010-bude-splnen>>.
- [3] Česká republika. Nařízení vlády ze dne 30. května 2007 o emisních limitech a podmínkách provozování stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší. In *Sbírka zákonů, Česká republika*. 2007, částka 53, s. 1838 - 1892. Dostupný také z WWW: <<http://aplikace.mvcr.cz/archiv2008/sbirka/2007/sb053-07.pdf>>.
- [4] Česká republika. Sdělení odboru odpadů Ministerstva životního prostředí : P8N ODPADOV0HO HOSPOD85STV9 České republiky. In *Věstník Ministerstva životního prostředí*. 2003, částka 10, s. 33-34. Dostupný také z WWW: <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plan\\_odpadoveho\\_hospodarstvi/\\$FILE/oodp-POH\\_CR\\_kompletni\\_dokument\\_2003.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi/$FILE/oodp-POH_CR_kompletni_dokument_2003.pdf)>.
- [5] ČEŠKA, Milan. *Petriho síť : Úvod do teorie a nástrojů pro aplikaci Petriho sítě*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 1994. 94 s. ISBN 80-85867-35-4.
- [6] ČEZ, a. s., Oddělení dokumentace. *Energie z obnovitelných zdrojů : Encyklopedie energetiky*. 2. upravené vydání. Praha : ATYPO, s.r.o., 2003. 40 s.
- [7] DOHÁNYOS, Michal. *GBA : Česká bioplynová asociace* [online]. 2009 [cit. 2011-02-15]. Teoretické základy anaerobní fermentace. Dostupné z WWW: <<http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vse-o-bioplynu&nid=teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>>.
- [8] ERÚ [online]. c2009, 28.2.2011 [cit. 2011-03-01]. Energetický regulační úřad. Dostupné z WWW: <[http://eru.cz/dias-read\\_article.php?articleId=860&highlight=biomasa](http://eru.cz/dias-read_article.php?articleId=860&highlight=biomasa)>.
- [9] GROZMAN, Pavol. Bioplyn ako dobrá investícia. *Energie 21 : Časopis obnovitelných zdrojů energie*. 2010, III, s. 21. ISSN 1803-0394.
- [10] HRŮŽA, Radim; STOBER, Karel. Co ovlivňuje efektivitu provozu bioplynové stanice. *Energie 21 : Časopis obnovitelných zdrojů energie*. 2008, 3, s. 20 - 21.
- [11] *Intech Slovakia* [online]. 2009 [cit. 2011-02-17]. Elektrina z biomasy. Dostupné z WWW: <<http://www.intechenergo.sk/sekcie/energia-z-biomasy/elektrina-z-biomasy>>.

- [12] Interní materiály Zemědělského družstva chovatelů a pěstitelů Litomyšl
- [13] KLAZAR, Luděk. Nároky a náročnost, potřeba a spotřeba, teplo a energie. *Tzbinfo* [online]. 18.3.2003, nevedeno, [cit. 2011-03-28]. Dostupný z WWW: <<http://www.tzb-info.cz/1412-naroky-a-narocnost-potreba-a-spotreba-teplo-a-energie>>.
- [14] KOLONIČNÝ, Jan. Emise při spalování biomasy. *Energie 21 : Časopis obnovitelných zdrojů energie*. 2009, roč. 2, 1, s. 24 - 27.
- [15] KUTIL, Antonín. Energetický potenciál biomasy v České republice. *Biom* [online]. 1998, nevedeno, [cit. 2011-04-05]. Dostupný z WWW: <[http://stary.biom.cz/sborniky/sb98PrPetr/sb98PrPetr\\_kutil.html](http://stary.biom.cz/sborniky/sb98PrPetr/sb98PrPetr_kutil.html)>.
- [16] *Masarykova univerzita* [online]. nevedeno [cit. 2011-04-05]. Energeticky soběstačné město Güssing. Dostupné z WWW: <<http://amper.ped.muni.cz/jenik/tmp/guessing.pdf>>.
- [17] MURTINGER, Karel; BERANOVSKÝ, Jiří. *Energie z biomasy*. Brno : Era, 2006. 94 s. ISBN 80-7366-071-7.
- [18] MUSIL, Petr. *Globální energetický problém a hospodářská politika: se zaměřením na obnovitelné zdroje*. Vyd. 1. Praha: C. H. Beck, 2009. 204 s. ISBN 978-80-7400-112-3.
- [19] MUŽÍK, Oldřich, et al. Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Energie 21 : Časopis obnovitelných zdrojů energie*. 2008, 1, s. 22-25.
- [20] MUŽÍK, Oldřich, KÁRA, Jaroslav: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. 2009-03-04 [cit. 2011-03-29]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>. ISSN: 1801-2655.
- [21] NOSKIEVIČ, Pavel, et al. *Biomasa a její energetické využití*. Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 1996. 68 s. ISBN 80-7078-367-2.
- [22] NOSKIEVIČ, Pavel; KOLONIČNÝ, Jan; OCHODEK, Tomáš. *Malé zdroje znečišťování*. Ostrava: Vysoká škola báňská - TU Ostrava, 2004. 86 s.
- [23] OPIČKA, Fantišek. *Svaz podnikatelů pro využití obnovitelných zdrojů* [online]. nevedeno [cit. 2011-03-08]. Obnovitelné zdroje energie. Dostupné z WWW: <<http://www.spvez.cz/pages/zdroje.htm>>.
- [24] PAPÍK, Martin. *Česká zemědělská univerzita v Praze* [online]. nevedeno [cit. 2011-03-28]. Úvod do Petriho sítí. Dostupné z WWW: <[pef.czu.cz/~papik/doc/ICT/petrinets.ppt](http://pef.czu.cz/~papik/doc/ICT/petrinets.ppt)>.

- [25] PASTOREK, Zdeněk; KÁRA, Jaroslav; JEVIČ, Petr. *Biomasa : obnovitelný zdroj energie*. Praha : FCC Public, 2004. 286 s. ISBN 80-86534-06-5.
- [26] Protokol o autorizovaném měření emisí č. 043/2009
- [27] REHM, H.-J.; REED, G. *Biotechnology : a comprehensive treatise in 8 volumes. Volume 3, Biomass, microorganismus for special applications, microbial products I, energy from renewable resources*. Weinheim : Verlag Chemie, 1983. 642 s. ISBN 3-527-25765-9.
- [28] *Svaz podnikatelů pro využití obnovitelných zdrojů* [online]. nevedeno [cit. 2011-02-17]. Obnovitelné zdroje energie. Dostupné z WWW: <<http://www.spvez.cz/pages/zdroje.htm>>.
- [29] TLUKA, Petr, ŠAFARÍK, Miroslav, HABART, Jan: Expertní systém pro bioplyn : Legislativa založení a provozu bioplynových stanic. *Biom.cz* [online]. 2008-06-10 [cit. 2011-03-15]. Dostupné z WWW: <<http://expert.biom.cz/bioplyn.stm>>. ISSN: 1801-2655.
- [30] TREFIL, James; HAZEN, Robert M. *The sciences : an integrated approach*. New York : John Wiley & Sons, 1994. 545 s. ISBN 0-471-30300-3.
- [31] VORÁČOVÁ, Šárka; PĚNIČKA, Martin; VESELÝ, Jaroslav. *Úvod do modelování procesů Petriho sítěmi*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. 126 s. ISBN 978-80-01-03979-3.