

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

DISERTAČNÍ PRÁCE

k získání akademického titulu doktor
v oboru

elektroenergetika

Petr Jindra

**Optimalizace provozu bioplynové
kogenerační jednotky v distribuční síti**

Školitel: Prof. Ing. Jan Škorpil, CSc.

Datum státní doktorské zkoušky: 20.5.2010

Datum odevzdání práce: 31.12.2011

V Plzni, 2011

ANOTACE

Tato disertační práce pojednává o připojování bioplynových jednotek do energetických sítí, zejména s důrazem na skládkové jednotky. Na konkrétním příkladě je provedena podrobná analýza dvouletého provozu včetně modelu sítě a navržena možná optimalizace. Sledoval jsem i možnosti spolupráce jednotky s dalšími obnovitelnými zdroji, zvláště fotovoltaickou elektrárnou a navrhnul konkrétní možnosti spojení a řízení. Opět jsem vytvořil model sítě a vyhodnotil vliv spojení na distribuční soustavu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bioplyn, kogenerace, skládka, fotovoltaická elektrárna, provoz energetické sítě

ANOTATION

This thesis deals with connection of biogas units to energy networks especially with an emphasis on waste dump units. Thorough analysis of two years operation is made on particular example including a model of the network and there is also suggested possible optimization. I also follow the possibilities of cooperation of the unit with other renewable sources, especially photovoltaic power station. I will suggest concrete possibilities of connection and control. There is again made a model of the network and evaluated influence of connection on distribution system.

KEY WORDS

Biogas, cogeneration, waste dump, photovoltaic power station, energy grid operation

OBSAH:

1	Úvod	5
1.1	Současný stav problematiky	5
1.2	Cíle disertační práce:	5
2	Obnovitelné zdroje	6
3	Biomasa	7
3.1	Možností energetického využití biomasy	7
4	Bioplynové jednotky	9
4.1	Bioplyn	9
4.1.1	Anaerobní technologie	10
4.1.2	Teoretická výtěžnost metanu	11
4.1.3	Zpracování plynu	12
4.1.4	Výroba energie z bioplynu	12
4.2	Popis bioplynových stanic	14
4.2.1	Zásady provozování bioplynových stanic	16
4.2.2	Anaerobní fermentace	16
4.2.3	Zvýšení efektivity bioplynové stanice	17
4.2.4	Nejčastější provozní problémy	20
4.3	Kogenerace	21
5	Pravidla připojování zdrojů do sítí	24
5.1	Pravidla provozování distribuční soustavy	24
5.2	Připojovací podmínky	26
5.3	Požadavky na zdroje připojené do distribuční soustavy	28
6	Problémy při připojování malých zdrojů	49
6.1	Model vlivu obnovitelných zdrojů na el. síť	49
7	Optimalizace provozu jednotky Chotíkov	53
7.1	Popis skládky	53
7.2	Popis jednotky	54
7.2.1	Kogenerační jednotka	54

7.2.2	Elektrické parametry	57
7.2.3	Provedení připojení	57
7.3	Optimalizace provozu	58
7.3.1	Optimalizace režimu výroby tepla	58
7.3.2	Spolupráce se sítí	60
8	<i>Spolupráce s jinými zdroji elektrické energie</i>	68
8.1	Spolupráce s větrnou elektrárnou	68
8.2	Spolupráce s fotovoltaickou elektrárnou	70
8.2.1	Průběh výkonu na FVE	70
8.2.2	Možnosti regulace spojených zdrojů	75
8.2.3	Model spolupráce jednotky s fotovoltaickou elektrárnou	83
9	<i>Závěr</i>	84
10	<i>Literatura</i>	85
11	<i>Seznam příloh</i>	86

1 ÚVOD

1.1 *Současný stav problematiky*

Biomasa je v České republice jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie. Po energii vodních toků nejvyužívanější. Na rozdíl od energie vodních toků, jejíž potenciál je již z větší části vyčerpán, bude podíl biomasy na výrobě energie jak tepelné tak i elektrické dále stoupat. Druhou, neméně významnou, odlišností biomasy od energie vodních toků je možnost rychlého a poměrně levného nasazení nových zdrojů. V souvislosti s finančním zvýhodněním ceny, za kterou je vykupována el. energie vyrobená z obnovitelných zdrojů, se v současné době zvyšuje počet investorů, kteří zvažují výstavbu zdroje s využitím biomasy. Technologicky i finančně je velmi výhodné spojit s výrobou elektřiny i výrobu tepla. Proto se soustředím především na princip a problematiku výroby elektrické energie v bioplynových elektrárnách, zejména v jednotkách na skládkový plyn.

Vznikající bioplynové stanice mají často zbytečně velké množství výpadků. Záznamy o provozu a výpadcích jsou často neúplné, nebo nevhodně vyhodnocené. Pokud je zdroj energie nespolehlivý, není možné uvažovat o spolupráci několika takových zdrojů. Proto se v současnosti malé zdroje nespojují do celků a neúčastní se regulace dodávky energie v sítích.

1.2 *Cíle disertační práce:*

- Analýza současného stavu připojování bioplynových jednotek do el. sítí
- Vytvoření obecného modelu připojení
- Návrh možností spolupráce bioplynové jednotky a jiných obnovitelných zdrojů
- Sestavení modelu spolupráce

Připojení bioplynových jednotek mohou provázet různé rušivé vlivy jednotky na síť, ale někdy i obráceně. Ve své práci se soustředím na příčinu nežádoucího vlivu. Tyto příčiny se pokusím co nejlépe rozpoznat a doporučit způsob jejich eliminace. Naměřené hodnoty a praktické poznatky pocházejí především ze skládky TKO Chotíkov. Dále jsem spolupracoval se skládkou TKO Vysoká a s provozovatelem bioplynové jednotky slepičárny ve Vejprnicích.

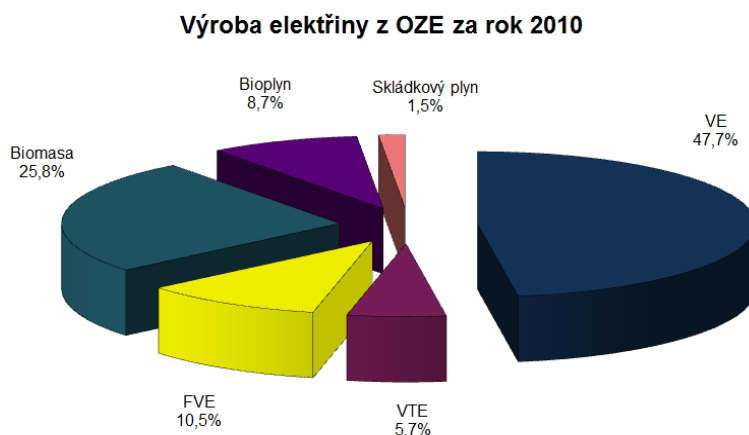
2 OBNOVITELNÉ ZDROJE

Obnovitelný zdroj energie je označení některých vybraných, na Zemi přístupných forem energie, získané primárně především z jaderných přeměn v nitru Slunce. Dalšími zdroji jsou teplo zemského nitra a setrvačnost soustavy Země-Měsíc. Lidstvo je čerpá ve formách např. sluneční záření, větrné energie, vodní energie, energie přílivu, geotermální energie, biomasy a další.

Definice obnovitelného zdroje podle českého zákona o životním prostředí je: „Obnovitelné přírodní zdroje mají schopnost se při postupném spotřebovávání částečně nebo úplně obnovovat, a to samy nebo za přispění člověka.“

V roce 2006 pocházelo asi 18 % celosvětově vyprodukované energie ze zdrojů, označovaných jako obnovitelné. Většina z toho (13 % celkové spotřeby) pochází z tradiční biomasy (především pálení dřeva). Vodní energie, poskytující 3 % celkové spotřeby primární energie, byla druhý největší obnovitelný zdroj. Moderní technologie, využívající geotermální energie, větrná energie, sluneční energie a oceánská energie dohromady poskytovaly asi 0,8 % z celkové výroby. V březnu roku 2007 se představitelé Evropské unie dohodli, že v roce 2020 má být 20 % energie jejich států vyráběno z obnovitelných zdrojů, aby se omezily emise oxidu uhličitého, který je obviňován z globálního oteplování [8].

České republice se podařilo dosáhnout v roce 2010 indikativního cíle a překročit 8 % podíl obnovitelných zdrojů vzhledem ke spotřebě elektrické energie. Jak se na této výrobě podílejí jednotlivé druhy OZE znázorňuje obr.1.



Obrázek 1.: Podíl OZE na výrobě el. energie[15]

3 BIOMASA

Biomasa je definována jako hmota organického původu. Hovoříme-li o biomase v souvislosti s energetikou, máme na mysli nejčastěji dřevo a dřevní odpad, slámu a jiné zemědělské zbytky a exkrementy užitkových zvířat. Omezíme-li se na biomasu rostlinného původu nazýváme ji fytomasou. Pomineme-li tedy energii potravin, je energie ze spalování biomasy (resp.: fytomasy) nejstarší energií, kterou kdy člověk využíval. I v současné době je využívána především pro výrobu tepla.

Základním problémem fytomasy je její nízká energetická hustota (1). Znamená to, že v objemové jednotce fytomasové hmoty (zpravidla kubickém metru) je málo energie využitelné spalováním. Jedná se o jakousi výhřevnost vztaženou na objem.

$$(1) \quad \rho_E = \frac{E}{V} \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

kde: ρ_E energetická hustota
 E energie využitelná spalováním
 V objem

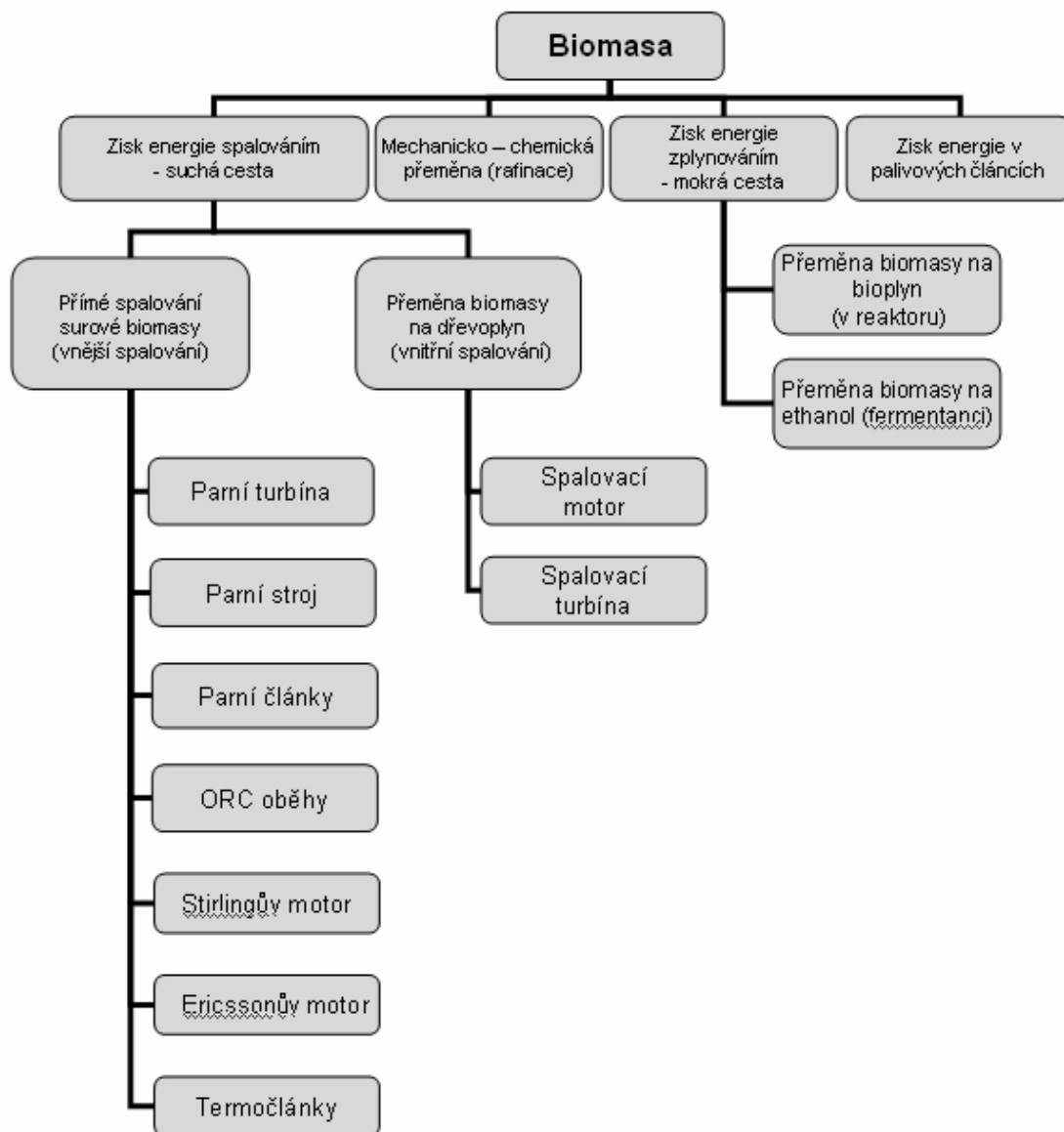
3.1 Možností energetického využití biomasy

Při získávání energie z biomasy máme dvě základní cesty – takzvanou mokrou a analogicky suchou. Trochu mimo toto základní rozdělení by byla mechanicko-chemická výroba paliv z biomasy, jako je třeba lisování olejů a jejich přeměna rafinací na bionaftu, topné oleje a podobně.

Nejvíce se biomasa využívá např. ve Finsku, kde v současné době mají již 25 % primárních zdrojů energie z biomasy, ve Švédsku cca 18,5 % a v Rakousku přibližně 12,8 % [20]. Nejvíce elektřiny v mikrokogeneraci se vyrábí v Japonsku, kde je rozvinuta domácí kogenerace především se spalovacím motorem [20].

V mnohem menší míře než k výrobě tepla se biomasa využívá k výrobě elektrické energie. Celkový přehled možností výroby el.energie z biomasy je na obr 2. Suchá biomasa se pro malé el. zdroje (do 500 kW) nehodí. Důvod je z velké části opět v nízké energetické hustotě. Dalším důvodem je to, že většinou nelze zapojit systémy s vnitřním spalováním.

Úplně jiná situace je s bioplynem, který nemá v oblasti malých výkonů konkurenci a je možné jej použít pro výrobu el. energie i v zařízení s velmi malým výkonem.

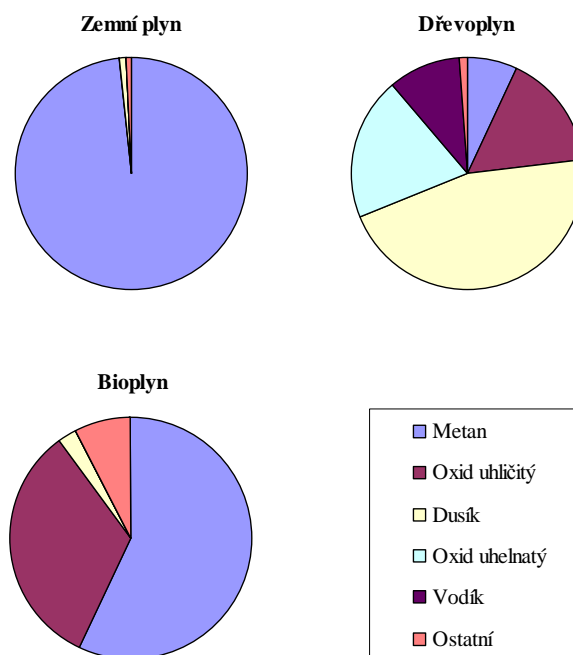


Obrázek 2.: Možnosti výroby el. energie z biomasy

4 BIOPLYNOVÉ JEDNOTKY

4.1 Bioplyn

Technologie výroby bioplynu je známá již celá desetiletí a spočívá v procesu anaerobní fermentace, kdy dochází, za nepřístupu vzduchu a přítomnosti mikroorganismů, k rozkladu organické hmoty a k uvolnění bioplynu, který je možno dále využívat ke spalování v kogeneračních jednotkách za současné produkce elektrické energie a tepla. Bioplyn je bezbarvý plyn tvořený převážně methanem (CH_4) a oxidem uhličitým (CO_2). Vedlejším produktem anaerobní fermentace je fermentační zbytek (digestát), který lze využít jako kvalitní hnojivo na zemědělské pozemky, nebo jako surovinu pro výrobu kompostu. Vyrobena elektrická energie je používána ve vlastní technologii případně v jiných provozech vlastníka bioplynové stanice nebo je dodávána do elektrické sítě.



Obrázek 3.: Porovnání typického složení energetických plynů

Bioplyn je produkován zejména v:

- přirozených prostředích, jako jsou mokřady, sedimenty, trávicí ústrojí (zejména u přežvýkavců),

- zemědělských prostředích, jako jsou rýžová pole, uskladnění hnoje a kejdy,
- odpadovém hospodářství na skládkách odpadů (zde je označován jako skládkový plyn), na anaerobních čistírnách odpadních vod (ČOV), v bioplynových stanicích.

Složení bioplynu je proměnné. Skládá se z většího počtu prvků, ale energeticky hodnotný je metan a vodík. Problematickými jsou sirovodík a čpavek, které je často nutné před energetickým využitím bioplynu odstranit, aby nepůsobily agresivně na strojní zařízení.

Parametr	Bioplyn (skládky odpadů)	Bioplyn (ČOV)	Bioplyn (prasečí kejda)
Výhřevnost (MJ/m ³)	16,9	21,1	24
H ₂ (%)	1	1	-
CO (%)	1	-	-
O ₂ (%)	3	-	-
N ₂ (%)	-	-	-
Cl-, F- (mg/m ³)	-	-	-
NH ₃ (mg/m ³)	-	-	40
CO ₂ (%)	48	38	41
CH ₄ (%)	49	61	69
H ₂ S (mg/m ³)	350	1000	2300

Tabulka 1.: Složení a vlastnosti bioplynu [12]

4.1.1 Anaerobní technologie

Anaerobní fermentace je biologický proces rozkladu organické hmoty, probíhající za nepřístupu vzduchu. Tento proces probíhá přirozeně v přírodě např. v bažiništích, na dně jezer nebo např. na skládkách komunálního odpadu. Při tomto procesu směsná kultura mikroorganismů postupně v několika stupních rozkládá organickou hmotu. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem pro další skupinu. Proces můžeme rozdělit do 4 hlavních fází:

- Hydrolýza: v první fázi přeměňují anaerobní bakterie makromolekulární látky (bílkoviny, uhlovodíky, tuk, celulózu) pomocí enzymů na nízkomolekulární sloučeniny (jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a voda). Uvolňuje se rovněž vodík a oxid uhličitý.

- Acidogeneze: acidofilní bakterie provádějí další rozklad na organické kyseliny, oxid uhličitý, sirovodík a čpavek.
- Acetogeneze: octotvorné bakterie tvoří acetáty, oxid uhličitý a vodík.
- Methanogeneze: nakonec metanové bakterie v alkalickém prostředí vytvoří metan, oxid uhličitý a vodu.

Metanové bakterie jsou citlivé především na náhlé změny teplot, pH, oxidačního potenciálu a další inhibiční vlivy. Z hlediska reakčních teplot rozdělujeme anaerobní procesy, podle optimální teploty pro mikroorganismy na psychrofilní (5-30°C), mezofilní (30-40°C), termofilní (45-60°C) a extrémně termofilní (nad 60°C). Výhodou procesů prováděných za vyšších teplot je hlavně vyšší účinnost hygienizace materiálu. Nejběžnější aplikací jsou zatím procesy mezofilní při teplotě cca 38°C. Metanové bakterie mohou pracovat a množit se, když je substrát dostatečně zalitý vodou (alespoň z 50%). [7]

4.1.2 Teoretická výtěžnost metanu

Výtěžnost metanu závisí zejména na oxidačním stupni, tj. na počtu elektronů, které má molekula k dispozici. Měřítkem oxidačního stupně organické látky je např. průměrné oxidační číslo uhlíkového atomu POXČ. Čím je POXČ nižší, tím je výtěžnost metanu vyšší. Mezní hodnoty dosahují sloučeniny CO₂ (POXČ= +4) a CH₄ (POXČ=-4). Z hmotnostně ekonomické bilance procesu vyplývá, že POXČ je úměrné teoretické chemické spotřebě kyslíku dané látky vztažené na množství organického uhlíku:

$$(2) \quad \text{POXČ} = 4 - \frac{1,5 \cdot \text{CHSK}}{C_{org}}$$

Z hmotnostně ekonomické bilance procesu vyplývá, že teoretická hodnota CHSK vzniklého metanu je rovna teoretické hodnotě CHSK původního substrátu. Z toho plyne, že maximální teoretická výtěžnost metanu je dána:

$$(3) \quad \text{CHSK}_{\text{substrátu}} = \text{CHSK}_{\text{metanu}}$$

Skutečná výtěžnost metanu je nižší, protože CHSK obsahuje i část CHSK nerozložitelného odpadu a část CHSK se spotřebuje na výrobu biomasy. Přesnější je bilance odstraněné CHSK:

$$(4) \quad \text{CHSK}_{\text{odstraněná}} = \text{CHSK}_{\text{metanu}} + \text{CHSK}_{\text{biomasy}}$$

Kde:

$CHSK_{odstraněná}$ skutečně odstraněná (tj. biologicky rozložitelná) část substrátu

$CHSK_{metanu}$ množství vzniklého metanu v $CHSK$

$CHSK_{biomasy}$ část substrátu spotřebovanou na růst a krytí energetických nároků biomasy

Ze vztahu (4) pak můžeme stanovit produkci biomasy.

4.1.3 Zpracování plynu

Bioplyn, který vychází z fermentoru je nasycen vodní parou skoro na 100%. Dalším problémem je, že obsahuje většinou velké množství sirovodíku, takže na potrubích, armaturách, plynoměrech a plynových spotřebičích dochází ke korozi. K zásadnímu odvodnění bioplynu dochází při ochlazení na teplotu okolí v zásobníku a v potrubí.

Odlučovač kondenzátu je umístěn na začátku tzv. plynové trasy v nezámrazném prostoru. Tvoří ho nádoba, z níž může odlučující se kondenzát odtékat přes sifon. Výška hladiny kondenzátu es dnes většinou využívá jako vodní etalon pro přetlakovou pojistku. Hloubka ponoru trubky, v níž je bioplyn pod tlakem, odpovídá přípustnému přetlaku v fermentoru. Plynovodní trubka, která při překročení přípustného vnitřního tlaku odvádí plyn do ovzduší. Přetlak v plynovodním systému může vznikat např. jako důsledek příliš velkého čerpání substrátu do fermentoru.

Při kogeneraci tepla a elektrické energie je bioplyn využíván jako pohonná hmota pro spalovací motor pohánějící generátor. Odpadní teplo z chlazení motoru a výfukové plyny lze použít pro vytápění. Pro výrobu proudu se nabízejí dvě rozdílné metody:

- výroba orientovaná podle potřeby – výroba proudu sleduje spotřebu
- rovnoměrná výroba – motor běží většinou 24 hodin denně se stejným zatížením.

V dnešní době se využívá zejména druhý způsob. Jen ve zvláštních případech, např. když jsou dodávky ve špičkách hrazeny vyšším tarifem, využívá se první způsob.

4.1.4 Výroba energie z bioplynu

Hlavním problémem při výrobě el. energie bioplynu je najít spalovací motor, který by splňoval následující požadavky:

- dlouhá životnost i při plné zátěži a stálém provozu

- dobrá mechanická účinnost i při částečné provozní zátěži
- jednoduchá údržba
- odolnost vůči vlhkosti a stopovým látkám v bioplynu

Pro praktické použití v bioplynových stanicích připadají v úvahu plynové zážehové motory, na plynové zážehové motory přestavitelné diesellové motory i diesellové motory se vstříkem zapalovacího oleje. [7]

Plynový zážehový motor pracuje výhradně na bioplyn a je třeba použít cizí zdroj na zážeh za pomoci zapalovacích svíček. Lze použít diesellové i benzínové motory upravené na spalování bioplynu. Diesellové motory je třeba vybavit směšovačem plynu a zapalovacím zařízením na místo vstříkovačného zařízení.

	Konstrukční typ motoru a způsob spalování		
Údaj	Benzinový motor: plynový zážehový způsob	Diesellový motor: plynový zážehový způsob	
			zažehnutí vznětem vstříknutého oleje
Cena	Nízká	Velmi vysoká	Vysoká
Účinnost	20-25%	30-35%	25-35%
Životnost	Nízká	Střední	střední
Hlučnost	střední	Silná	Silná
Údržba	náročná	Nenáročná	Náročná
Náhradní palivo	Kapalný plyn (benzín)	Kapalný plyn	Topný olej, motorová nafta (rostlinný olej)

Tabulka 2.: Typické znaky motorů a způsoby spalování bioplynu [7]

4.1.4.1 Škodliviny ve zplodinách

Zplodiny bioplynových motorů jsou tvořeny hlavně vodní párou a oxidem uhličitým. Jako škodliviny jsou zde přítomny oxid siřičitý, oxidy dusíku, oxid uhelnatý, uhlovodíky a saze. Podíl oxidu uhličitého je závislý od množství sirovodíku v bioplynu a dnes je možno ho výrazně redukovat. Ostatní hodnoty emisí závisí na kvalitě, druhu a teplotě spalování.

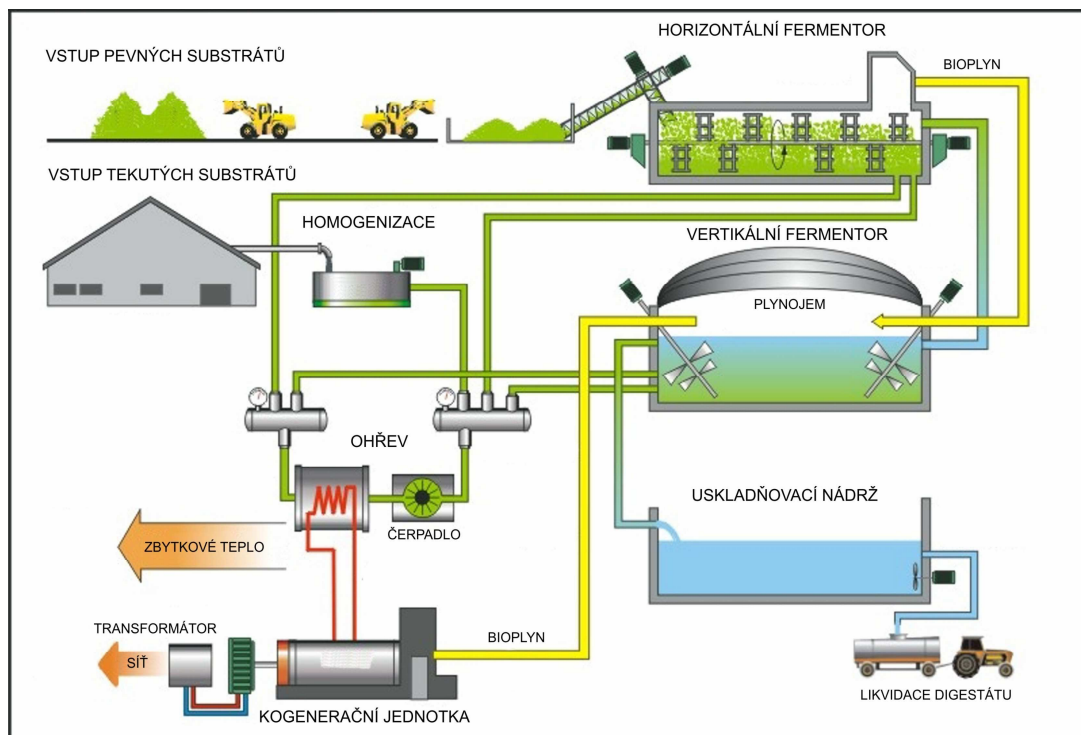
4.1.4.2 Generátory pro kogeneraci tepla a elektřiny

K výrobě elektrického proudu se většinou používají asynchronní generátory, zřídka kdy synchronní generátory. Jsou-li k síti připojeny v klidovém stavu, je možné tímto způsobem startovat plynové zážehové motory. Bioplynový motor nevyžaduje regulaci otáček. Přívod plynu je nastavován tak, aby motor dodával požadovaný příkon. Velká nevýhoda asynchronního generátoru je, že při výpadku nemůže dodávat proud, takže nemůže sloužit jako záložní agregát (není-li na toto zvlášť konstruován). Synchronní generátory jsou samobudící, proud potřebný pro vytvoření magnetického pole se vyrábí malým pomocným generátorem osazeným na hřídeli generátoru. U těchto motorů musí být otáčky synchronizovány se sítovou frekvencí. Pro tento účel je třeba vybavit bioplynový motor regulátorem otáček a regulátorem množství plynu

4.2 Popis bioplynových stanic

Při realizaci bioplynové stanice je jednou z nejdůležitějších věcí stanovení vstupních materiálů. Na otázku, co všechno lze zpracovávat v bioplynové stanici, je jednoduchá odpověď – technicky úplně všechno, co je organického původu, tzn. vše, co vyrostlo a je to rostlinného nebo živočišného původu. Překážky pro zpracování některých materiálů klade legislativa (např. rizikové kadavery), ale i ekonomika (prostě se to nevyplatí) a lidský pohled (například potraviny).

Běžně zpracovávané materiály jsou např.: exkrementy hospodářských zvířat, tráva, siláž, senáž, znehodnocené zemědělské produkty, zbytky z potravinářské výroby. Další velkou skupinou jsou odpady, a to tříděné komunální, z tržišť, z masokombinátů, ze zpracování ovoce a zeleniny, odpadní vody komunální i průmyslové... Je toho opravdu dost, ale záleží na nákladech, za které tyto materiály nebo odpady pořídíme a jak vyřešíme, co se zbylým materiálem po fermentaci.



Obrázek 4.: Princip bioplynové stanice [13]

Za účelem výroby bioplynu lze uplatnit kaly z ČOV, produkty zemědělské výroby (rostlinné/živočišné výroby) a jiné biologicky rozložitelné odpady, včetně takových, které jsou jinak obtížně zpracovatelné. Bioplynová stanice (BPS) nesmí být žádným zdrojem zápachu pro své okolí. Toto platí nejen pro objekty BPS, ale i pro digestáty použité pro hnojení mimo objekty BPS. Toto je základní požadavek a musí mu být plně podřízeny výkonové parametry stanic i technologické uspořádání. Bioplynové stanice v ČR jsou různého výkonu ve škále od 100 kW do 3200 kW, průměr činí 690 kW. První BPS se začaly uvádět do provozu v 70. letech min. století zejména u čistíren odpadních vod. [16]

V současné době je kladen velký důraz na dobře zpracovanou projektovou dokumentaci, a projekt také musí vyhovět všem legislativním požadavkům ochrany životního prostředí. BPS jsou často budovány s dotační podporou (viz kapitola dotace). Toto je v souladu s evropským trendem rozšiřování alternativních zdrojů energií. K datu 22.5.2008 bylo na území ČR posuzováno 107 nových záměrů BPS. Sedm BPS bylo posuzováno v rámci procesu integrované prevence (IPPC), přičemž tři BPS byly součástí čistíček odpadních vod u pivovarnických provozů. [16]

Při provozu BPS je velmi důležité dodržovat technologickou kázeň, provozovat tak, aby díky přesně definovaným podmínkám fermentace, době zdržení vstupních surovin v reaktoru, teplotě v reaktoru, homogenizaci vstupních surovin, dávkování vstupních surovin, uskladnění digestátu, podmínkám manipulace s digestátem, apod. nedocházelo k negativním vlivům na životní prostředí.

4.2.1 Zásady provozování bioplynových stanic

Bioplynová stanice jako jeden z alternativních zdrojů energie je zařízení, ve kterém se působením anaerobních bakterií rozkládá vhodný substrát a vzniklý bioplyn je energeticky využíván. Nejčastější využití bioplynu je jeho spalování v kogenerační jednotce s výrobou elektrické energie a tepla ve formě teplé vody. Předpokladem pro úspěšné provozování BPS je kromě jiného i pochopení a respektování složitých biologických procesů probíhajících ve fermentoru.

Zde je nezbytně nutná dobrá spolupráce provozovatele s technologem dodavatele. Je v zájmu provozovatele poskytovat během prvního roku dodavateli všechny údaje důležité pro kontrolu a řízení procesu.

V technologickém postupu najíždění by neměly chybět údaje o množství očkovacího inokula, časový plán postupného ohřevu náplně a dávkování surovin respektující velmi pozvolné objemové zatěžování fermentoru. Při dobře stanoveném postupu a jeho dodržení by proces najíždění fermentace měl trvat asi tři až šest týdnů v závislosti na druhu a množství použitého inokula. Po této době bývá obsah metanu v bioplynu již min. 50% a je možné spustit kogenerační jednotku.

Je nutné si však uvědomit, že se nejedná ještě o stabilní proces fermentace umožňující plnou zátěž. Postupné zatěžování provozními surovinami na plný výkon může trvat za stálé kontroly i několik měsíců, zásadou je tuto fázi neuspěchat.

4.2.2 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentaci je možné zpracovávat široko škálu organických materiálů. V úvahu připadá cíleně pěstovaná biomasa a odpadní organické suroviny. Výhodou tohoto zpracování je poměrně nízký obsah sušiny v materiálu, asi 3 – 35 %. Při tomto procesu vzniká nerozložitelný zbytek, tzv. digestát, který se používá pro hnojení a zakládání kompostů.

Česká republika má dlouholetou tradici v technologii anaerobní fermentace organických materiálů i s výrobou bioplynu. V současnosti se na všech zařízeních ročně vyrábí více než 150 mil. m³ [16]. Podle převažujícího zdroje substrátu můžeme zařízení rozdělit na:

- skládkové bioplynové stanice
- průmyslové bioplynové stanice
- zemědělské bioplynové stanice
- bioplynové stanice komunálních čistíren odpadních vod

V současnosti se nevíce bioplynu (cca 49 %) zpracovává na skládkách, a to k výrobě elektrické energie. Druhým největším producentem jsou čistírny odpadních vod s 44 % vyráběné energie a zemědělské stanice zaujímají asi 5 %. [16]

4.2.3 Zvýšení efektivity bioplynové stanice

Zlepšení výkonosti bioplynové stanice lze dosáhnout především optimalizací provozu stanice. To znamená zabezpečení optimálních podmínek pro využití stávajících technologických komponent BPS a optimalizací podmínek procesu vhodným dávkováním substrátu, dostatečným mícháním reaktorů, dodržováním technologických parametrů – správného zatížení a doby zdržení, zabezpečení konstantní teploty apod. [7].

Důležitá je identifikace příčiny problémů provozu stanice, což může být vysoká koncentrace amoniaku nebo sulfidů. Pak lze například zařadit intenzivnější odstraňování sulfidů (zvýšení mikroaerace nebo srážení sloučeninami železa) nebo úpravou technologie na méně citlivou na vysokou koncentraci amoniaku – termofilní provoz, dvoustupňový provoz, srážení amoniaku apod.

Další možností zvýšení výkonosti bioplynové stanice je volba skladby substrátu ve prospěch lépe rozložitelných substrátů s vyšší výtěžností bioplynu nebo s nižším obsahem organického dusíku.

4.2.3.1 Zvýšení výtěžnosti bioplynu

Zvýšení biologické rozložitelnosti a tím i výtěžnosti metanu lze dosáhnout vhodnou předúpravou suroviny. Všechny metody předúpravy jsou založeny na zpřístupnění složek materiálu enzymovému rozkladu. Zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou

dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu a tím i k větší dostupnosti enzymového rozkladu, u některých metod předúpravy dochází i k hydrolýze makromolekulárních látek.

4.2.3.2 Zvyšování efektivity anaerobní fermentace

Celosvětový zájem o alternativní zdroje energie zrychlil vývoj i v oblasti bioplynu. Zvýšení produkce bioplynu a následné zvýšení produkce elektrické energie a tepla je možno dosáhnout zefektivněním fermentačních procesů, které vychází ze základních vlastností procesu. Mikroorganismy, které se fermentace zúčastňují, mají nízkou růstovou rychlost a nízkou rychlost odstraňování substrátu, tudíž jejich biomasa narůstá velmi pomalu. Úsilí intenzifikace musí být tedy především zaměřeno na rychlost rozkladu a na množství a aktivitu anaerobní mikrobiální kultury.

Rychlost rozkladu

Anaerobní fermentace je souborem následných i souběžných reakcí. V takovémto případě limitující reakcí celého systému je reakce nejpomalejší. Tou může být hydrolýza makromolekulárních látek, rozpuštěných i nerozpuštěných (např. fytomasa) nebo za určitých okolností v případě snadno rozložitelných substrátů to může být i metanogeneze. Z dalších limitujících reakcí přicházejí v úvahu reakce rozkladu kyseliny propionové a kyseliny máselné, které jsou velmi důležité z hlediska udržení dynamické rovnováhy celého systému.

Kvalita a množství biomasy v reaktoru

Rychlost rozkladu organických látek závisí na množství a kvalitě aktivní kultury mikroorganismů, proto je snahou udržovat jejich koncentraci v reaktoru co nejvyšší. Koncentrace biomasy mikroorganismů v reaktoru závisí přímo úměrně na koeficientu produkce biomasy, množství odstraněného substrátu a době zdržení biomasy mikroorganismů a nepřímo závisí na hydraulické době zdržení.

Reaktory na bioplynových stanicích pracují z hydraulického hlediska v režimu kde je doba zdržení biomasy mikroorganismů stejná jako hydraulická doba zdržení. To znamená, že koncentrace biomasy mikroorganismů bude záviset pouze na produkční konstantě biomasy a množství odstraněného substrátu. Zvýšení koncentrace biomasy mikroorganismů můžeme tedy za dané hydraulické doby zdržení dosáhnout buď zvýšením produkce biomasy mikroorganismů stimulací jejich činnosti nebo zvýšením množství rozloženého substrátu například výběrem lépe rozložitelného substrátu nebo zvýšením jeho rozložitelnosti.

4.2.3.3 Výtěžnost metanu

V této práci se vzhledem k zadání zbývá zejména bioplynovými stanicemi provozovanými na skládkách. Energetický potenciál 1tuny komunálního odpadu je přibližně 200 -250 m³ bioplynu, z toho může být využito asi 40–50 %. Plný rozběh metalizace nastává zpravidla 6-20 měsíců po dokončení tělesa. V průběhu prvních 5 let se vyprodukuje kolem 25 % metanu na tunu odpadu a dalších 75 % se vyprodukuje přibližně za dalších 20 let. Produkce bioplynu potom výrazně klesá. Produkce bioplynu potom výrazně klesá.

Skládky tuhých komunálních odpadů obsahují inertní materiály, jejichž množství se velice špatně odhaduje. Může nastat i situace, kdy je materiál málo vlhčený a procesy metalizace pobíhají ve skládce nepravidelně. Za těchto podmínek nejde přesně odhadnout množství metanu, ale je potřeba udělat měření. Poměrně novou metodou, která postupně nahrazuje nákladné vrtné průzkumy a čerpací testy ve vrtech, je polní povrchový průzkum. Je provedena zárazná sondáž a naměří se hodnoty v 60 cm. Ze získaných údajů se poté odvozuje zařazení skládky podle intenzity tvorby plynu.

Podle měrné rychlosti tvorby plynu je možné rozdělit skládky tuhých odpadů následovně:

Měrná rychlost [m ³ ·h ⁻¹]	Kategorie	Tvorba plynu	Využití plynu	Odplynění
pod 10	I	nulová až velmi slabá	nemožné	není nutné
10-400	II	slabá až střední	nemožné	je nutné
400-700	III	střední až silná	podmínečně možné	je nutné
nad 700	IV	silná	možné	je nutné

Tabulka 3.: Rozdělení skládek podle tvorby bioplynu [14]

K odplynování skládek můžeme přistoupit dvěma způsoby. První použijeme pro skládky nově zakládané a druhý pro již hotová tělesa. Ve starých skládkách se vytvoří soustava plynosběrných vrtů opatřených centrální perforovanou pažnicí. Tyto vrty se pak propojují sběrnou soustavou drenážních a odsávacích plynovodů. Příkladem takové skládky v Plzeňském kraji je skládka Vysoká u Dobřan.

Nově zakládané skládky již s výrobou bioplynu většinou počítají už při konstrukci drenáží. Plyn z takových těles je pak odčerpáván v základech skládky z hlavních drenážních tras, z nichž při vyšších výškách tělesa skládky jsou vyváděny vertikální věže ze stejného materiálu jako u vrtů. Příkladem může být skládka komunálního odpadu Chotíkov u Plzně.

4.2.3.4 Vliv chemického složení substrátu na výtěžnost metanu

Biologická rozložitelnost a tím i výtěžnost bioplynu závisí na chemickém složení substrátu, na obsahu sacharidů, tuků, proteinů, na podílu celulózy, hemicelulóz a ligninu eventuelně dalších inertních složek materiálu a na poměru jednotlivých komponent. Vzhledem k tomu, že poměr těchto komponent v různých druzích suroviny je různý, odlišná je i jejich rozložitelnost a výtěžnost metanu.

Poměr C:N je důležitý pro dobrý průběh anaerobního procesu. Jestli je tento poměr vysoký, dochází k deficitu dusíku. Při nízkém poměru dochází k vysoké produkci amoniaku, který je při vyšších koncentracích toxický pro anaerobní bakterie, zejména metanogeny. Toxicky působí nedisociovaná forma amoniaku, jejíž koncentrace závisí především na pH, s vyšším pH silně vzrůstá. Optimální poměr C:N pro anaerobní fermentaci organické frakce tuhého odpadu se pohybuje okolo 25 až 30, vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík, pro anaerobní fermentaci exkrementů hospodářských zvířat nebo jatečních a kafilerních odpadů se za optimální poměr C:N považuje 16 až 19. Za kritický se považuje poměr C:N 12. [7]

V technologické praxi se většinou setkáváme s komplexním složením suroviny pro anaerobní fermentaci, v níž jsou zastoupeny v různém poměru (podle původu a zpracování suroviny) všechny výše uvedené skupiny substrátů. Jak již bylo uvedeno, ne všechny organické látky přítomné v surovině se v průběhu procesu rozloží, část jich zůstává jako tzv. nerozložitelný zbytek ve zfermentovaném materiálu. Jaký podíl organických látek zůstane nerozložený, závisí i na technologických podmínkách procesu (teplota, doba zdržení, předúprava).[7]

4.2.4 Nejčastější provozní problémy

Pokles produkce bioplynu bývá často způsoben změnou dávky nebo změnou složení surovin. Vždy je nutné zkontrolovat zatížení nebo složení surovin. Vždy je nutné zkontrolovat

zatížení fermentoru. Při přetížení fermentace klesá produkce bioplynu a zpravidla i hodnota pH. V této situaci je nutné ihned snížit dávkování surovin a několik dnů sledovat produkci bioplynu.

Vážnější situace nastává při dávkování surovin s nepříznivým poměrem C:N. Zde dochází často k inhibici bakterií amoniakem provázené poklesem produkce bioplynu, obsahu metanu, pěněním náplně a zápachem. V takovém případě je nutné okamžitě vysadit suroviny bohaté na bílkoviny a zahájit stabilizaci procesu fermentace za neustálého sledování obsahu amoniakálního dusíku a mastných kyselin. Podobně inhibičně může působit na bakterie i sirovodík.

Samostatnou kapitolou je zápach bioplynových stanic. Zejména první bioplynové stanice postavené u nás před několika lety tímto neduhem trpěly. Důvodem byl nedostatek zkušeností jak u projektantů tak i u provozovatelů se zpracováním materiálů jako masokostní moučky, jateční odpady, klišovky, obsahů lapolů apod., kdy stanovení správného poměru C:N u vstupních materiálů bylo dílem pokusů a experimentů, které vedly často k destabilizaci fermentace provázené zápachem. Někde se projevila i nedostatečná doba zdržení substrátu ve fermentaci.

Snaha o nápravu tohoto nešvaru byla u všech takto postižených BPS úspěšná a to úpravou surovin a zejména plynotěsným zastřešením skladovacích nádrží s možností využívání zbytkového bioplynu.[7]

4.3 Kogenerace

Pojem kogenerace znamená kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Oproti klasickým elektrárnám, ve kterých je teplo vzniklé při výrobě elektrické energie vypouštěno do okolí, využívá kogenerační jednotka teplo k vytápění a šetří tak palivo i finanční prostředky potřebné na jeho nákup.

Elektrická energie vzniká ve všech elektrárnách roztočením elektrického generátoru pomocí turbíny. Teplo nutné k výrobě páry, která turbínu pohání, se většinou získává spalováním uhlí nebo štěpením jader uranu. Velká část tepla však není využita a je bez užitku vypouštěna do ovzduší. Účinnost výroby v tepelných elektrárnách se pohybuje kolem 30%, nejmodernější paroplynové elektrárny pak mají účinnost kolem 50%, ovšem k dalším ztrátám ve výši asi 11% dochází při transformaci a dálkovém přenosu elektrické energie.

V kogenerační jednotce vzniká elektrická energie stejným způsobem jako v jiných elektrárnách – roztočením elektrického generátoru, a to obvykle pomocí pístového spalovacího motoru. Motory v kogeneračních jednotkách jsou standardně konstruovány na zemní plyn, mohou však spalovat i jiná kapalná či plynná paliva, v tomto případě bioplyn.

Teplo, které se ve spalovacím motoru uvolňuje, je prostřednictvím chlazení motoru, oleje a spalin odváděno. Pokud je efektivně využíváno, účinnost kogeneračních jednotek se pohybuje v rozmezí 80 – 90 %.

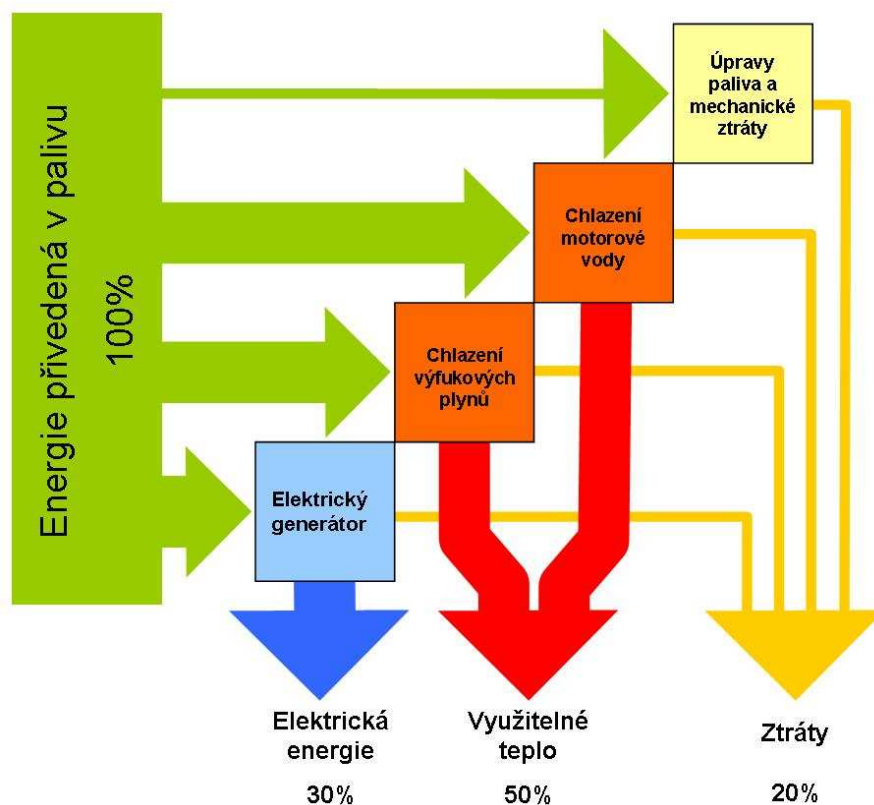
Výhody kogenerace:

- **Úspora paliva:** Použití kogeneračního způsobu výroby tepla a elektrické energie představuje zhruba 40% úsporu paliva. Převáděno na peníze to znamená, že za stejné množství energie zaplatí uživatel pouze 60% finančních prostředků.
- **Úspora nákladů na nákup energie:** Ze stejného množství paliva získá přibližně dvojnásobné množství energie, z níž část může prodávat, a tím opět snižovat vlastní náklady.
- **Minimalizace nákladů na rozvod energie:** Teplo i elektrická energie navíc vznikají v místě své spotřeby, čímž odpadají náklady na rozvod energie i ztráty tímto dálkovým rozvodem způsobené. Teplo vznikající v kogenerační jednotce je využito k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo k přípravě technologického tepla.
- **Ekologický způsob výroby:** Protože se při použití kogeneračního způsobu výroby elektřiny a tepla ušetří asi 40% paliva, zatěžuje kogenerace z ekologického hlediska přibližně o totéž procento méně životní prostředí.
- **Energie pro případ nouze:** Kogenerační jednotky slouží často též jako nouzové zdroje elektrické energie v místech její nepřetržité potřeby.
- **Výroba chladu:** Pomocí absorpčního výměníku je vyrobené teplo možno využít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci. V takovém případě se hovoří o tzv. trigeneraci, kombinované výrobě elektrické energie, tepla a chladu.

Kogenerační jednotky je možné využít ve všech objektech s celoročními nároky na odběr elektřiny a tepla, resp. chladu. Správně zvolená kogenerační technologie dokáže svému provozovateli ušetřit značnou část nákladů na nákup energií, v případě prodeje elektřiny do

sítě pak i vydělat finanční prostředky.

Představu o toku energií v malé kogenerační jednotce s pístovým motorem dává následující diagram:



Obrázek 5.: Diagram energetických toků a ztrát

Využití tepla je ovšem doprovázeno problémy s jeho distribucí na větší vzdálenosti, akumulací a vlastně i samotnou potřebou např. v letních měsících. Bioplynové jednotky jsou z pochopitelných důvodů mimo zástavbu a tak je šance na nelezení odběratele tepla v blízkosti jednotky velmi malá. Obvykle se proto jednotky orientují na výrobu elektrické energie a nadprodukcí tepelné energie raději maří do okolí.

V případě bioplynových jednotek s fermentorem lze teplo využít k ohřevu reaktoru a tím zvýšit (zrychlit) produkci metanu. Oproti tomu spalovací jednotky na skládkách odpadů tento „zaručený“ odbyt na teplo nemají. Pokud se nepodaří teplo využít k vytápění nějakých administrativních nebo technologických budov v blízkosti jednotky, není teplo ekonomicky využitelné. Objevují se pokusy o využití tepla k odparu průsakové vody a tím snížení objemu tohoto nebezpečného odpadu.

5 PRAVIDLA PŘIPOJOVÁNÍ ZDROJŮ DO SÍTÍ

5.1 Pravidla provozování distribuční soustavy

Uvádím výňatek technických požadavků na zdroje:

Požadavky na elektrické parametry výroby elektřiny, měřené na svorkách generátorové jednotky, stanoví PDS (provozovatel distribuční soustavy) v závislosti na způsobu připojení při jednání o připojení k DS.

Generátor s instalovaným výkonem 5 MW a vyšším, na vyžádání PDS i s výkonem 1 MW a vyšším, musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníku $\cos\varphi = 0.85$ (dodávka jal. výkonu induktivního charakteru – Pravidla provozování distribučních soustav, strana 41) a $\cos\varphi = - 0.95$ (chod generátoru v podbuzeném stavu) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru $\pm 5 \% U_n$ a při kmitočtu v rozmezí 48.5 až 50.5 Hz. Při nižších hodnotách činného výkonu se dovolené hodnoty jalového výkonu zjistí podle tzv. „Provozních diagramu alternátoru“ (PQ diagram), které musí být součástí provozně-technické dokumentace bloku. Technologie vlastní spotřeby elektrárny a zajištění napájení vlastní spotřeby umožní využití výše uvedeného dovoleného rozsahu – např. použitím odbočkového transformátoru napájení vlastní spotřeby s regulací pod zatížením.

Zde uvedený základní požadovaný regulační rozsah jalového výkonu může být modifikován, tedy zúžen nebo rozšířen. Důvodem případné modifikace může být např. odlišná (nižší/vyšší) potřeba regulačního jalového výkonu v dané lokalitě DS nebo zvláštní technologické důvody (např. u asynchronních generátorů). Taková modifikace předpokládá uzavření zvláštní dohody mezi provozovatelem a uživatelem DS.

Výše uvedený požadavek na regulační výkon může být variantně zaměněn za následující požadavek: Generátor musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníku $\cos\varphi = 0.85$ (dodávka jal.výkonu induktivního charakteru) a $\cos\varphi = - 0.95$ (chod generátoru v podbuzeném stavu) při dovoleném rozsahu napětí na straně vn nebo 110 kV v mezích $U_n \pm 10 \%$.

PDS písemně stanoví, zda je pro řízení napětí výroby požadován průběžně pracující automatický systém buzení s rychlou odezvou bez nestability v celém provozním pásmu výroby. To závisí na velikosti a typu výroby a sousedících částí DS, k níž je připojena. PDS

písemně stanoví případné požadavky na koordinaci řízení napětí v uzlu DS. PDS dále stanoví pásmo pro jalový výkon výroby.

PDS může stanovit zvláštní požadavky na koordinaci řízení napětí v uzlu DS, případně požadovat začlenění zdroje do systému sekundární a terciální regulace napětí a jalového výkonu. Realizaci požadovaných opatření na straně zdroje zajistí výrobce na své náklady.

Další podrobnosti jsou uvedeny v Příloze 4 PPDS.

Koordinace se stávajícími ochranami:

U ochrany výroben je nezbytné zajistit následující koordinaci s ochranami spojenými s DS:

a) U výroben přímo propojených k DS musí výrobce elektřiny dodržet vypínací časy poruchového proudu tekoucího do DS, aby se důsledky poruch v zařízení ve vlastnictví výrobce elektřiny projevující se v DS snížily na minimum. PDS zajistí, aby nastavení ochrany PDS splňovalo vlastní požadované vypínací časy poruch.

Požadované vypínací časy poruch se měří od počátku vzniku poruchového proudu až do zhašení oblouku a budou specifikovány ze strany PDS tak, aby odpovídaly požadavkům pro příslušnou část DS.

b) O nastavení ochrany ovládajících vypínače nebo o nastavení automatického spínacího zařízení (záskoku) v kterémkoli bodě připojení k DS se písemně dohodnou PDS a uživatel během konzultací probíhajících před připojením. Tyto hodnoty nesmí být změněny bez předchozího výslovného souhlasu ze strany PDS.

c) U ochrany výroby je nezbytné zajistit koordinaci s případným systémem opětného zapnutí specifikovaným PDS.

d) Ochrany výroben nesmí působit při krátkodobé nesymetrii, vyvolané likvidací poruchy záložní ochranou.

e) O velikosti možné nesymetrie napětí v síti uvědomí PDS budoucího výrobce elektřiny při projednávání propojovacích podmínek.

5.2 Připojovací podmínky

Protože skládka TKO Chotíkov, skládka Vysoká i bioplynová jednotka slepičárny Vejprnice jsou připojeny do sítě společnosti ČEZ, uvádím výňatek z připojovacích podmínek společnosti ČEZ DISTRIBUCE, a.s. [10]:

Veškerá připojení musí být v souladu s platnou legislativou, zejména Zákonem č. 458/2000 Sb. v platném znění, Zákonem č. 180/2005 Sb. v platném znění, Pravidly provozování distribuční soustavy (PPDS), platnými ČSN a připojovacími podmínkami ČEZ Distribuce, a. s.

Vztahy mezi provozovatelem VE (výrobní energie) a provozovatelem DS se řídí oboustranně potvrzenou smlouvou o připojení zařízení k DS v souladu s vyhláškou ERÚ č. 51/2006 Sb.

1) Kontrola napěťových poměrů v síti

Zvýšení napětí vyvolané provozem připojených VE, nesmí v nejnepříznivějším případě (přípojném bodu) překročit 2 % pro VE s přípojným místem v síti vn (v síti nn nesmí překročit 3 %) ve srovnání s napětím bez jejich připojení.

2) Vybavení rozpojovacího místa mezi VE a DS

Rozpojovací místo VE musí obsahovat technické vybavení, musí být přístupné pro pracovníky ČEZ Distribuce, a.s. a musí umožnit zajištění spínače generátoru v poloze „VYPNUTO“. Musí být zajištěno spolehlivé a bezpečné odpojení VE od DS ČEZ Distribuce, a.s..

3) Ochrany VE

U VE musí být podle druhu výroby a velikosti výkonu použity ochrany dle Přílohy č. 4 PPDS (viz dále) včetně funkcí a rozsahu nastavení. Regulaci turbíny a regulaci napětí výroby zajišťuje provozovatel VE.

4) Provozní předpisy

Provozovatel VE ve spolupráci s ČEZ Distribuce, a. s. a příslušným rajónním dispečinkem zpracuje místní provozní předpisy pro provoz VE. Jejich součástí bude omezení provozu VE s ohledem na napěťové poměry v DS (např. automaticky přepět'ovou ochranou v rozpojovacím místě). Dále budou obsahovat telefonní spojení a adresy provozovatele a obsluhy VE.

5) Ostatní VE (nejsou dodavatelem elektřiny do DS ČEZ Distribuce,a.s.)

Pokud majitel VE vyrábí elektrickou energii pouze pro vlastní spotřebu, musí tyto zdroje splňovat podmínku bezpečného galvanického oddělení sítě napájené touto VE od DS ČEZ Distribuce, a. s.

6) Měření VE

Dodávka se měří zpravidla v místě, kde elektřina přechází ze zařízení provozovatele VE do DS ČEZ Distribuce, a. s. Měřicí zařízení je v majetku ČEZ Distribuce, a. s. Umístění a způsob měření určují pracovníci ČEZ Distribuce, a. s. na základě stanoviska pracovníků ČEZ Měření, s. r. o. Montáž měřicích souprav pro dodávku do DS vvn, vn a nn zajišťují pracovníci ČEZ Měření s.r.o.

Provozovatel VE je povinen pečovat o měřicí zařízení a zajistit je proti poškození, případně zcizení. Sleduje funkčnost měřicího zařízení a po zjištění závady nejpozději do 3 dnů vyrozumí kompetentní pracovníky ČEZ Distribuce, a. s.

Měření činné a jalové energie se provádí vícekvadrantním elektroměrem.

Požadavky na měřicí soupravy pro měření dodávek do DS nn jsou totožné s požadavky „Připojovacích podmínek pro osazení měřicích zařízení v odběrných místech napojených z DS nn“ s osazením vícekvadrantním elektroměrem. Dodávka a odběr s hodnotou hlavního jističe nad 80 A musí být měřeny polopřímým měřením (tj. přes měřicí transformátory proudu).

U dodávek do DS vn a vvn jsou požadavky na měřicí soupravy shodné s požadavky „Připojovacích podmínek pro umístění měřicích zařízení v odběrných a předacích místech napojených z DS vn, vvn“, včetně zapojovacích schémat.

Velikost měřicích transformátorů proudu musí odpovídat výkonu připojovaného zařízení.

Umístění elektroměru musí umožňovat odečet přes optické rozhraní a manipulaci s ovládacími tlačítky elektroměru, bez demontáže krycího panelu, nebo masky zajištěné plombou.

7) Podmínky pro obsluhu VE a práce na el. zařízení VE

Provozovatel VE odpovídá za dodržení podmínek stanovených v místních provozních předpisech VE, za dodržení podmínek bezpečnosti při obsluze VE a práci na elektrickém zařízení VE ve smyslu ČSN vyhlášky ČÚB č. 50/1978 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Dále odpovídá za dodržování všech dalších předpisů a norem souvisejících s provozem VE.

5.3 Požadavky na zdroje připojené do distribuční soustavy

Výňatek z přílohy 4 pravidel PPDS

1) Připojení k síti

Vlastní výroby, popř. zařízení odběratelů s vlastními výrobny, které mají být provozovány paralelně se sítí PDS, je zapotřebí připojit k síti ve vhodném předávacím místě.

Způsob a místo připojení na síť stanoví PDS s přihlédnutím k daným síťovým poměrům, výkonu a způsobu provozu vlastní výroby, stejně jako k oprávněným zájmům výrobce. Tím má být zajištěno, že vlastní výroba bude provozována bez rušivých účinků, neohrozí napájení dalších odběratelů.

Posouzení možností připojení z hlediska zpětných vlivů na síť vychází z impedance sítě ve společném napájecím bodě (zkratového výkonu), připojovaného výkonu, stejně jako druhu a způsobu provozu vlastní výroby.

Připojení k síti PDS se děje ve předávacím místě s oddělovací funkcí, přístupným kdykoliv personálu PDS.

Požadavek na kdykoliv přístupné spínací místo s oddělovací funkcí je u jednofázových zdrojů do 4,6 kVA a trojfázových do 30 kVA splněn, pokud jsou tyto zdroje vybaveny zařízením pro sledování stavu sítě s přiřazeným spínacím prvkem. Spínací prvek může být samostatný nebo být součástí střídače. Princip může být sledování impedance a vyhodnocování její změny, trojfázové sledování napětí či změna fázoru napětí. Toto zařízení musí být ověřeno akreditovanou zkušebnou.

Pro zdroje s nízkou dobou využití, na jejichž provoz není vázána výrobní technologie a výrobce nepožaduje obvyklou zabezpečenost připojení k soustavě (např. pro větrné elektrárny), lze připustit uvedená zjednodušená připojení k soustavě, pokud splňují ostatní požadavky na bezpečný provoz soustavy (např. selektivita ochran a u venkovních vedení provoz s OZ).

- výrobce s licenci, který chce uplatňovat cenové zvýhodnění výroby pro část spotřebovanou (očištěnou o vlastní spotřebu zdroje) a část dodanou do DS musí zajistit připojení podle části 14, obě měření musí být průběhová
- výrobce s licenci, který chce uplatnit celou výrobu jako dodanou do DS musí zajistit připojení (podle části 14 přílohy 4 PPDS)

2) Elektroměry, měřicí a řídicí zařízení

Druh a počet potřebných měřicích zařízení (elektroměrů PDS) a řídicích přístrojů (přepínačů tarifů) se řídí podle smluvních podmínek pro odběr a dodávku elektřiny příslušného PDS. Proto je nutné projednat jejich umístění s PDS již ve stadiu projektu.

Elektroměry pro účtování a jim přiřazené řídicí přístroje jsou uspořádány na vhodných místech udaných PDS. Měření se volí podle napěťové hladiny, do které výrobní pracuje a podle jejího výkonu typicky

- nízké napětí: podle výkonu výrobní buď přímé (do 80 A) nebo polopřímé
- vysoké napětí: do výkonu transformátoru 630 kVA včetně – měření na straně nn, polopřímé od výkonu 630 kVA měření na straně vn – nepřímé
- 110 kV: měření na straně 110 kV, nepřímé.

Elektroměry pro polopřímé a nepřímé měření se volí elektronické, čtyřkvadrantové. Dodávku a montáž elektroměrů zajišťuje PDS, náklady na jejich instalaci hradí výrobce. Přístrojové měřicí transformátory napětí či proudu jsou součástí zařízení výrobní. Přístrojové měřicí transformátory musí být schváleného typu, požadovaných technických parametrů a úředně ověřeny (podrobnosti jsou v Příloze 5 PPDS: Obchodní měření).

V případě oprávněných zájmů PDS musí výrobce vytvořit podmínky pro to, aby přes definované rozhraní mohly být na příslušný dispečink PDS přenášeny další údaje důležité pro bezpečný a hospodárny provoz, např. hodnoty výkonu a stavy vybraných spínačů.

Pozn.: Podrobnosti k měření je zapotřebí upřesnit při projednávání připojení výrobní s PDS.

3) Spínací zařízení

Pro spojení vlastní výrobní sítí PDS musí být použito spínací zařízení (vazební spínač) minimálně se schopností vypínání zátěže (např. vypínač, odpínač s pojistkami, úsekový odpínač), kterému je předřazena zkratová ochrana podle části 4. Tento vazební spínač může být jak na straně nn, tak i na straně vn nebo 110 kV. Pokud se nepředpokládá ostrovní provoz, lze k tomuto účelu použít spínací zařízení generátoru. Spínací zařízení musí zajišťovat galvanické oddělení ve všech fázích.

Pozn.: Poměrně závažným důsledkem sloučení funkcí oddělení zdroje od sítě při poruchách v síti a při pracích na přípojném vedení či vymezení poruch je u jednoduchého připojení zdrojů ztráta napětí pro vlastní spotřebu a s tím spojené nepříznivé důsledky při opětovném uvádění do provozu. Z tohoto důvodu považujeme pro takto připojené zdroje za výhodnější, aby při poruchách v DS docházelo přednostně k vypnutí generátoru a napájení vlastní spotřeby po skončení napěťového poklesu či úspěšném cyklu OZ zůstalo zachováno.

U vlastních výroben se střídači je třeba spínací zařízení umístit na střídavé straně střídače. Při společném umístění ve skříně střídače nesmí být spínací zařízení vyřazeno z činnosti zkratem ve střídači.

Při použití tavných pojistek jako zkratové ochrany u nn generátorů je zapotřebí dimenzovat spínací zařízení minimálně podle vypínacího rozsahu předřazených pojistek.

Výrobce musí prokázat zkratovou odolnost celého zařízení. K tomu mu PDS udá velikost příspěvku zkratového ekvivalentního oteplovacího proudu a velikost nárazového zkratového proudu ze sítě. Způsobí-li nová výrobní zvýšení zkratového proudu v síti PDS nad hodnoty, na které je zařízení sítě dimenzováno, pak musí výrobce učinit opatření, která výši zkratového proudu z této výrobní nebo jeho vliv patřičně omezí, pokud se s PDS nedohodne jinak.

4) Ochrany

Opatření na ochranu vlastní výrobní (např. zkratovou ochranu, ochranu proti přetížení, ochranu před nebezpečným dotykem) je zapotřebí provést podle části 3.5.9 PPDS. U zařízení schopných ostrovního provozu je třeba zajistit chránění i při ostrovním provozu.

Je zapotřebí zajistit ochrany s následujícími funkcemi:

Funkce	rozsah nastavení	Příklad nastavení	Časové zpoždění	Příklad nastavení
Podpětí 1.stupeň U<	0.70 U _n až 1.0 U _n	90 % U _n	t _{U<}	0,5 s
Podpětí 2.stupeň U<<	0.70 U _n až 1.0 U _n	80 % U _n	t _{U<<}	0,1 s
Přepětí 1.stupeň U>	1.0 U _n až 1.2 U _n	110 % U _n	t _{U>}	0,5 s
Přepětí 2.stupeň U>>	1.0 U _n až 1.2 U _n	120 % U _n	t _{U>>}	0,1 s
Podfrekvence 1.stupeň f<	48 Hz až 50 Hz	49,8 Hz	t _{f<}	0,5 s
Podfrekvence 2.stupeň f<<	48 Hz až 50 Hz	49,5 Hz	t _{f<<}	0,1 s
Nadfrekvence f>	50 Hz až 52 Hz.	50,2 Hz	t _{f>}	0,5 s

Tabulka 4.: Funkce a nastavení ochran

Po dohodě s PDS lze upustit od 2. stupně uvedených ochran.

Pro ochrany zdrojů s fázovými proudy do 16 A provozovaných paralelně s distribuční sítí nn, na které se vztahuje ČSN EN 50438, platí následující tabulka.

Parametr	Maximální vypínací čas [s]	Maximální nastavení pro vypnutí
nadpětí	0,2	230 V + 15 %
podpětí	0,2	230 V - 15 %
nadfrekvence	0,2	50,5 Hz
podfrekvence	0,2	49,5 Hz

Tabulka 5.: Vypínací časy, frekvence a napětí

V některých případech může být s ohledem na síťové poměry třeba jiné nastavení ochran. Proto je jejich nastavení vždy nutné odsouhlasit s PDS. Vhodným podkladem pro tato nastavení jsou studie dynamického chování zdrojů v dané síti.

Podpět'ová a nadpět'ová ochrana musí být trojfázová. V sítích s izolovaným uzlem vn nebo s kompenzací zemních kapacitních proudů může být v dohodě s PDS použita přepět'ová ochrana jednofázová, připojená na sdružené napětí. Podfrekvenční a nadfrekvenční ochrana může být jednofázová.

Při připojení výroben k síti PDS provozované s OZ, které mohou tyto výrobní ohrozit, je zpoždění vypínání přípustné jen tehdy, když je pro nezpožděné odpojení výrobní při OZ k dispozici zvláštní ochrana.

Na rozpoznání stavu odpojení zdroje od sítě PDS může být použita též ochrana na skokovou změnu vektoru napětí nebo relé na výkonový skok. Pozn.: Pro ochranu na skok vektoru zatím není k dispozici metodika pro určení nastavení.

K provádění funkčních zkoušek ochran je zapotřebí zřídit rozhraní (např. svorkovnici s podélným dělením a zkušebními svorkami).

Výrobce je povinen si zajistit sám, aby spínání, kolísání napětí, krátkodobá přerušení vč. OZ nebo jiné přechodové jevy v síti PDS nevedly ke škodám na jeho zařízení.

S PDS je zapotřebí dohodnout, které ochrany budou případně zaplombovány.

5) Řízení jalového výkonu

Obecně způsob řízení jalového výkonu závisí vždy na konkrétním místě distribuční soustavy a určuje ho PDS po konzultaci s výrobcem.

5.1) Zdroje připojované do sítí nn

5.1.1) Zdroje do 16 A/fázi včetně

Účinnost zdroje za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 20 % jmenovitého výkonu zdroje.

5.1.2) FVE do 4.6 kVA/fázi včetně

U fotovoltaických elektráren do výkonu 4.6 kVA/fázi se kompenzace účinnosti nepožaduje.

5.1.3) Ostatní zdroje

Účinnost zdroje za normálních ustálených provozních podmínek při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí musí být mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 3 % jmenovitého výkonu zdroje.

U výrobců druhé kategorie musí být při dodávce činného výkonu do DS a při dovoleném rozsahu tolerancí jmenovitého napětí účinnost v předávacím místě mezi 0,95 kapacitní a 0,95 induktivní za předpokladu, že činná složka výkonu je nad 3 % jmenovitého proudu (transformátoru proudu) předávacího místa.

5.2) Zdroje připojované do sítí vn

Tyto zdroje musí být při dodávce činného výkonu P vybaveny pro některý z následujících režimů řízení jalového

výkonu v předacím místě (u výkonu do 400 kW postačí vybavení pro řízení podle bodu a)):

- a) udržování pevné hodnoty zadaného účinníku $\cos\varphi$
- b) udržování hodnoty účinníku $\cos\varphi = f(P)$
- c) udržování zadané hodnoty jalového výkonu (odběr/dodávka) v rámci provozního diagramu stroje (PQ diagramu)
- d) udržování napětí v předávacím místě (na výstupu generátoru, za blokovým transformátorem nebo v pilotním uzlu DS) v rámci omezení daných PQ diagramem stroje.

Zdroj musí být schopen dodávat jmenovitý činný výkon v rozmezí účinníku $\cos\varphi = 0,85$ až 1 (dodávka jalového výkonu) a účinníku $\cos\varphi = 1$ až 0,95 (odběr jalového výkonu) při dovoleném rozsahu napětí na svorkách generátoru $\pm 5\% U_n$ a při kmitočtu v rozmezí 48,5 až 50,5 Hz (pásma účinníku viz tabulka). Při nižších hodnotách činného výkonu se dovolené hodnoty jalového výkonu zjistí podle tzv. „Provozních diagramů“, které musí být součástí provozně-technické dokumentace zdroje. Pokud technologie vlastní spotřeby elektrárny a zajištění napájení vlastní spotřeby neumožňuje využití výše uvedeného dovoleného rozsahu (napětí vlastní spotřeby by se dostalo mimo dovolené meze), lze zvýšit regulační rozsah generátoru např. použitím odbočkového transformátoru napájení vlastní spotřeby s regulací pod zatížením.

Uvedený základní požadovaný regulační rozsah jalového výkonu může být modifikován, tedy zúžen nebo rozšířen. Důvodem případné modifikace může být např. odlišná (nižší/vyšší) potřeba regulačního jalového výkonu v dané lokalitě DS nebo zvláštní technologické důvody (výrobní s asynchronními generátory, fotovoltaiky, větrné elektrárny). Taková modifikace předpokládá uzavření zvláštní dohody mezi provozovatelem výrobní a PDS.

U kompenzačního zařízení zdrojů je zapotřebí přihlížet ke způsobu provozu vlastní výrobní a z toho vyplývajících zpětných vlivů na síťové napětí.

Při silně kolísajícím výkonu pohonu (např. u některých typů větrných elektráren) musí být kompenzace jalového výkonu automaticky a dostatečně rychle regulována.

Kompenzační kondensátory nesmějí být připínány před zapnutím generátoru. Při vypínání generátoru musí být odpojeny současně.

Provoz zdrojů může vyžadovat opatření k omezení napětí harmonických a pro zamezení nepřijatelného zpětného ovlivnění HDO. S PDS je proto zapotřebí odsouhlasit

výkon, zapojení a způsob regulace kompenzačního zařízení, případně i hrazení harmonických nebo frekvence HDO vhodnými indukčnostmi.

Pro jednoznačné přiřazení pásem účinníku slouží následující tabulka. Pro předcházení rozporům při hodnocení účinníku se přitom doporučuje používat jednotně spotřebičovou orientaci.

Příklad	Zdrojová orientace	Spotřebičová orientace
Synchronní generátor (přebuzený)	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$
Asynchronní generátor	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$
Synchronní motor (přebuzený)	$P < 0$ a $Q > 0$ $90^\circ < \varphi < 180^\circ$	$P > 0$ a $Q < 0$ $270^\circ < \varphi < 360^\circ$
Asynchronní motor	$P < 0$ a $Q < 0$ $180^\circ < \varphi < 270^\circ$	$P > 0$ a $Q > 0$ $0^\circ < \varphi < 90^\circ$

Tabulka 6.: Zdrojová a spotřebičová orientace

6) Podmínky pro připojení

K zabránění zavlečení zpětného napětí do sítí PDS je zapotřebí zajistit technickými opatřeními, aby připojení vlastní výroby k síti PDS bylo možné pouze tehdy, když jsou všechny fáze sítě pod napětím.

K připojení může být použit jak spínač, který spojuje celé zařízení odběratele se sítí, tak i spínač, který spojuje generátor popř. více paralelních generátorů se zbylým zařízením odběratele. Zapnutí tohoto vazebního spínače musí být blokováno do té doby, dokud není na každé fázi napětí minimálně nad rozběhovou hodnotou podpěťové ochrany. K ochraně vlastní výroby se doporučuje časové zpoždění mezi obnovením napětí v síti a připojením výroby v rozsahu minut.

Časové odstupňování při připojování více generátorů v jednom společném předávacím místě je zapotřebí odsouhlasit s PDS.

6.1) Zvýšení napětí

Zvýšení napětí vyvolané provozem připojených výroben nesmí v nejnepříznivějším případě (přípojním bodu) překročit 2 % pro výroby s přípojným místem v síti vn a 110 kV ve srovnání s napětím bez jejich připojení

$$(5) \quad \Delta u_{vn, 110} \leq 2\%$$

pro výrobní s přípojným místem v síti nn nesmí překročit 3 %, tedy

$$(6) \quad \Delta u_{nn} \leq 3\%$$

Pokud je v síti nn a vn jen jedno přípojně místo, je možné tuto podmínku (4), (5) posoudit jednoduše pomocí zkratového poměru výkonů

$$(7) \quad k_{k1} = \frac{S_{kV}}{\sum S_{A \max}}$$

Kde:

S_{kV} zkratový výkon v přípojném bodu

$\sum S_{A \max}$ součet maximálních zdánlivých výkonů všech připojených/plánovaných výroben.

K vyšetření $\sum S_{A \max}$ u větrných elektráren je zapotřebí vycházet z maximálních zdánlivých výkonů jednotlivého $\sum S_{E \max}$:

$$(8) \quad S_{E \max} = S_{E \max 10 \min} = S_{nG} \cdot p_{10 \min} = \frac{P_{nG}}{\lambda} \cdot p_{10 \min}$$

přičemž hodnotu $p_{10 \min}$ (maximální střední výkon v intervalu 10 minut) je zapotřebí převzít ze zkušebního 10 min protokolu. U zařízení se speciálním omezením výkonu je zapotřebí dosadit tyto omezené hodnoty.

V případě jediného předávacího místa v síti bude podmínka pro zvýšení napětí dodržena vždy, když zkratový poměr výkonů k_{k1} je pro výrobní s předávacím místem v síti vn

$$(9) \quad k_{k1 \text{ vn}} \geq 50$$

podobně pro výrobní s předávacím místem v síti nn

$$(10) \quad k_{k1 \text{ nn}} \geq 33$$

Pokud je síť nn a vn silně induktivní, pak je posouzení pomocí činitele k_{k1} příliš konzervativní, tzn., že dodávaný výkon bude silněji omezen, než je zapotřebí k dodržení zvýšení napětí. V takovém případě je zapotřebí provést výpočet s komplexní hodnotou impedance sítě s jejím fázovým úhlem ψ_{kV} , který poskytne mnohem přesnější výsledek.

Podmínka pro maximální výkon pak je pro výrobny s předávacím místem v síti vn

$$(11) \quad S_{A \max} \leq \frac{2\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} - \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{50 \cdot |\cos(\psi_{kV} - \varphi)|}$$

pro výrobny s předávacím místem v síti nn

$$(12) \quad S_{A \max nn} \leq \frac{3\% \cdot S_{kV}}{|\cos(\psi_{kV} - \varphi)|} = \frac{S_{kV}}{33 \cdot |\cos(\psi_{kV} - \varphi)|}$$

Kde:

φ je fázový úhel mezi proudem a napětím výrobny při maximálním zdánlivém výkonu $S_{A \max}$

U výroben, které dodávají do sítě jalový výkon (např. přebuzené synchronní generátory, pulzní měniče), přitom platí:

$$P > 0 \text{ a } Q > 0$$

$$0^\circ \leq \varphi_E \leq 90^\circ.$$

U výroben, které odebírají ze sítě jalový výkon (např. asynchronní generátory, podbuzené synchronní generátory, sítě řízené střídače) platí:

$$P > 0 \text{ a } Q < 0$$

$$270^\circ \leq \varphi_E \leq 360^\circ \text{ (-}90^\circ \leq \varphi_E \leq 0^\circ).$$

Pokud pro cosinový člen, tj. $\cos(\psi_{kV} - \varphi)$ v rovnici (11) vychází hodnota menší než 0,1, pak se se zřetelem na nejistoty tohoto výpočtu odhaduje 0,1.

V mnoha případech je v praxi udán maximální připojitelný výkon $S_{A \max}$, pro který je pak zapotřebí určit zvýšení napětí v přípojném bodu. K tomu je používán následující vztah:

$$(13) \quad \Delta u_{AV} = \frac{S_{A \max nn} \cdot \cos(\psi_{kV} - \varphi)}{S_{kV}}$$

V propojených sítích, v sítích 110 kV a/nebo při provozu více rozptýlených výroben v síti je zapotřebí určovat zvýšení napětí s pomocí komplexního chodu sítě. Přitom musí být dodržena podmínka pro Δu v nejnepříznivějším přípojném bodě.

Při posuzování připojitelnosti výroben se vychází z neutrálního účinku v předávacím místě do DS, pokud PDS vzhledem k místním podmínkám (bilance jalové energie, napětí v síti) nestanoví jinak. V tomto případě je pak zapotřebí doložit podrobnějšími výpočty bilanci ztrát v síti bez zdroje a při jeho provozu.

6.2) Změny napětí při spínání

Změny napětí ve společném napájecím bodě, způsobené připojováním a odpojováním jednotlivých generátorů nebo zařízení, nevyvolávají nepřijatelné zpětné vlivy, pokud největší změna napětí pro výrobní s předávacím místem v síti nn nepřekročí 3 %, tj.

$$(14) \quad \Delta u_{\max \text{ nn}} \leq 3\%$$

Pro výrobní s předávacím místem v síti vn platí

$$(15) \quad \Delta u_{\max \text{ vn}} \leq 2\%$$

Toto platí, pokud spínání není častější než jednou za 1,5 minuty.

Při velmi malé četnosti spínání, např. jednou denně, může PDS připustit větší změny napětí, pokud to dovolí poměry v síti.

Pro výrobní v síti 110 kV platí pro omezení změny napětí vyvolané spínáním:

a) Normální provoz:

Spínání jedné výrobní jednotky (např. jednoho generátoru větrné turbíny)

$$(16) \quad \Delta u_{\max} \leq 0,5\%$$

Spínání celého zařízení (např. větrného parku)

$$(17) \quad \Delta u_{\max} \leq 2\%$$

b) Poruchový provoz

Pro změnu napětí při spínání celého zařízení platí

$$(18) \quad \Delta u_{\max} \leq 5\%$$

V závislosti na zkratovém výkonu S_{kV} v síti PDS a jmenovitém zdánlivém výkonu S_{nE} jednotlivé výrobní lze odhadnout změnu napětí

$$(19) \quad \Delta u_{\max} = k_{i \max} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}$$

Činitel $k_{i \max}$ se označuje jako “největší spínací ráz” a udává poměr největšího proudu, který se vyskytuje v průběhu spínacího pochodu (např. zapínací ráz I_a) ke jmenovitému proudu generátoru nebo zařízení, např.

$$(20) \quad k_{i \max} = \frac{I_a}{I_{nG}}$$

Výsledky na základě tohoto “největšího zapínacího rázu” jsou na bezpečné straně.

Pro činitel zapínacího rázu platí následující směrné hodnoty:

$k_{i \max} = 1$ *synchronní generátory s jemnou synchronizací, střídače*

$k_{i \max} = 4$ *asynchronní generátory, připojované s 95 až 105 %*

synchronních otáček, pokud nejsou k dispozici přesnější údaje o

způsobu omezení proudu. S ohledem na krátkodobost přechodového

jevu musí přitom být dodržena dále uvedená podmínka pro velmi krátké

poklesy napětí

$k_{i \max} = I_a / I_{nG}$ *asynchronní generátory motoricky rozbíhané ze sítě*

$k_{i \max} = 8$ *pokud není známo I_a .*

Asynchronní stroje připojované přibližně se synchronními otáčkami mohou vlivem svých vnitřních přechodných jevů způsobit velmi krátké poklesy napětí. Takovýto pokles smí dosáhnout dvojnásobku jinak přípustné hodnoty, tj. pro sítě vn 4 %, pro sítě nn 6 %, pokud netrvá déle než dvě periody a následující odchylka napětí od hodnoty před poklesem napětí nepřekročí jinak přípustnou hodnotu.

Pro větrné elektrárny platí speciální “činitel spínání závislý na síti”, který musí výrobce prokazovat, jímž se hodnotí jejich spínání a který také respektuje zmíněné velmi krátké přechodné jevy. Tento činitel respektuje nejen výši, ale i časový průběh proudu v průběhu přechodného děje a udává se jako funkce úhlu impedance sítě ψ pro každé zařízení ve zkušebním protokolu.

Jeho pomocí lze vypočítat fiktivní “náhradní změnu napětí”,

$$(21) \quad \Delta u_{ers} = k_{i\psi} \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}$$

která rovněž (jako Δu_{\max}) nesmí překročit hodnoty podle vztahů (13) až (17).

S ohledem na minimalizaci zpětného vlivu na síť PDS je zapotřebí zamezit současnému spínání více generátorů v jednom předávacím místě. Technické řešení je časové odstupňování jednotlivých spínání, které je závislé na vyvolaných změnách napětí. Při maximálním přípustném výkonu generátoru musí být minimálně 1,5 minuty. Při zdánlivém výkonu generátoru do poloviny přípustné hodnoty postačí odstup 12 s.

6.3) Připojování synchronních generátorů

U synchronních generátorů je nutné takové synchronizační zařízení, se kterým mohou být dodrženy následující podmínky pro synchronizaci:

- rozdíl napětí $\Delta U < \pm 10 \% U_n$
- rozdíl frekvence $\Delta f < \pm 0.5 \text{ Hz}$
- rozdíl fáze $< \pm 10^\circ$

V závislosti na poměru impedance sítě k výkonu generátoru může být nutné k zabránění nepřípustných zpětných vlivů na síť stanovit pro spínání užší meze.

6.4) Připojování synchronních generátorů

Asynchronní generátory rozbíhané pohonem musí být připojeny bez napětí při otáčkách v mezích 95 % až 105 % synchronních otáček. U asynchronních generátorů schopných ostrovního provozu, které nejsou připojovány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky spínání jako pro synchronní generátory.

6.5) Připojování výroben se střídači, event. měniči kmitočtu

Střídače smějí být spínány pouze tehdy, když je jejich střídavá strana bez napětí. U vlastních výroben se střídači, schopných ostrovního provozu, které nejsou spínány bez napětí, je zapotřebí dodržet podmínky zapnutí platné pro synchronní generátory.

7) Zpětné vlivy na napájecí síť

Aby nebyla rušena zařízení dalších odběratelů a provozovaná zařízení PDS, je zapotřebí omezit zpětné vlivy místních výroben. Pro posouzení je třeba vycházet ze zásad pro posuzování zpětných vlivů a jejich přípustných mezí.

Bez další kontroly zpětných vlivů mohou být výroby připojeny, pokud poměr zkratového výkonu sítě S_{KV} ke jmenovitému výkonu celého zařízení S_{rA} je větší než 500.

Pokud výrobce nechá své zařízení ověřit v uznávaném institutu, pak lze do posuzování připojovacích podmínek zahrnout příznivější činitel S_{KV} / S_{rG} (< 500). Pro větrné elektrárny je

zapotřebí předložit certifikát, zkušební protokol apod. o očekávaných zpětných vlivech (viz Dodatek – Vysvětlivky přílohy 4 PPDS).

Pro individuální posouzení připojení jedné nebo více vlastních výroben v jednom společném napájecím bodu je třeba vycházet z následujících mezních podmínek:

7.1) Změna napětí

Změna napětí $\Delta U \leq 3\% U_N$ (pro společný napájecí bod v síti nn)

$\Delta U \leq 2\% U_N$ (pro společný napájecí bod v síti vn a 110 kV)

7.2) Flickr

Dlouhodobý flickr

Pro posouzení jedné nebo více výroben v jednom předávacím místě je zapotřebí se zřetelem na kolísání napětí vyvolávající flickr dodržet ve společném napájecím bodě nn a vn mezní hodnotu

$$(22) \quad P_{lt} \leq 0,46$$

ve společném napájecím bodě 110 kV mezní hodnotu

$$(23) \quad P_{lt} \leq 0,37$$

Dlouhodobá míra flickru P_{lt} jednoho zdroje může být určena pomocí činitele flickru c jako

$$(24) \quad P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}$$

S_{nE} je jmenovitý výkon zařízení (pro větrné elektrárny je to hodnota S_{nG}).

Pokud je hodnota vypočtená podle předchozí rovnice větší než 0,46, je možné do výpočtu zahrnout fázové úhly a počítat podle následujícího vztahu

$$(25) \quad P_{lt} = c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}} \cdot |\cos(\psi_{kV} + \varphi_i)|$$

Pozn.: Je-li ve zkušebním protokolu zařízení vypočítána hodnota činitele flickru c pro úhel impedance sítě ψ a tím je udána jen hodnota c_ψ , použije se tato hodnota flickru. Přitom je však třeba vzít v úvahu, že v tomto případě se už kosinový člen nerespektuje, event. se dosazuje 1.

U výroby s více jednotlivými zařízeními je zapotřebí vypočítat P_{lt} pro každé zvlášť a výslednou hodnotu pro flickr ve společném napájecím bodě určit podle následujícího vztahu:

$$(26) \quad P_{lt \text{ res}} = \sqrt{\sum_i P_{lt i}^2}$$

U zařízení s n stejnými jednotkami, je výsledný činitel pro flickr

$$(27) \quad P_{lt \text{ res}} = \sqrt{n} \cdot P_{lt} = \sqrt{n} \cdot c \cdot \frac{S_{nE}}{S_{kV}}$$

7.3) Proudů harmonických

Harmonické vznikají především u zařízení se střídači nebo měniči frekvence. Harmonické proudy emitované těmito zařízeními musí udat výrobce, např. zprávou o typové zkoušce.

7.3.1) Výrobní v síti nn

Za předpokladu, že do sítě nn nemohou být připojeny více než dvě větší vlastní výrobní s maximálním výkonem po 10 % jmenovitého výkonu distribučního transformátoru, mohou být pro posouzení harmonických proudů (I_V) použita následující jednoduchá kritéria:

$$(28) \quad \text{Přípustný proud } I_{vnn} = \text{vztažný proud } i_V \cdot \frac{S_{kV}}{\sin \psi_{kV}}$$

vztažný proud i_V je uveden v následující tabulce:

$\sin \psi_{kV} = X_k/Z_k (\approx 1, \text{ když je předávací místo blízko transformátoru vn/nn}).$

řád harmonické v	vztažný proud i_V : (A/MVA)
5	3.0
7	2.5
11	1.5
13	1.0

Tabulka 7.: Vztažný proud

Tento výpočetní postup nemůže být použit, pokud je společný napájecí bod v síti vn (např. větrná elektrárna).

7.3.2) Výrobní v síti vn

Pro pouze jediné předávací místo v síti vn lze určit celkové v tomto bodě přípustné harmonické proudy ze vztažných proudů $i_{v \text{ př}}$ z Tabulky 9 násobených zkratovým výkonem ve společném napájecím bodu

$$(29) \quad I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kV}$$

Pokud je ve společném napájecím bodu připojeno několik zařízení, pak se určí harmonické proudy přípustné pro jednotlivá zařízení násobením poměru zdánlivého výkonu zařízení S_A k celkovému připojitelnému nebo plánovanému výkonu S_{AV} ve společném napájecím bodu

$$(30) \quad I_{vpř} = i_{vpř} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_{AV}}$$

U zařízení sestávajících z jednotek stejného typu lze za S_A dosadit ΣS_{nE} . To platí též pro větrné elektrárny. U zařízení z nestejných typů jde pouze o odhad.

Celkově přípustné harmonické proudy pro síť vn, vztažené na zkratový výkon, které jsou vyvolány zařízením přímo připojeným do této sítě, jsou uvedeny v Tabulce 9.

Pro harmonické s řády násobků tří platí hodnoty v Tabulce 9 pro nejbližší řád, a to pouze, pokud se nulová složka proudů z výroby neuzavírá do sítě.

Řád harmonické μ, v	Přípustný vztažný proud harmonických		
	síť 10 kV	$i_{\mu, vpř}$ [A/MVA] síť 22 kV	síť 35 kV
5	0,115	0,058	0,033
7	0,082	0,041	0,023
11	0,052	0,026	0,015
13	0,038	0,019	0,011
17	0,022	0,011	0,006
19	0,016	0,009	0,005
23	0,012	0,006	0,003
25	0,01	0,005	0,003
>25 nebo sudé	0,06/□	0,03/□	0,017/□
$\mu < 40$	0,06/□	0,03/□	0,017/□
$\mu > 40$	0,16/□	0,09/□	0,046/□

Tabulka 8.: Přípustný vztažný proud harmonických

Pro sčítání proudů harmonických, pocházejících jak od různých odběratelů, tak i výroben platí následující pravidla:

- usměrňovače řízené sítí (6-ti nebo 12-ti pulzní)

- Harmonické typické pro usměřovače (řádu 5., 7., 11., 13., atd.) i pro netypické nízkých řádů ($\mu < 7$) se sčítají aritmeticky

$$(31) \quad I_v = \sum_{i=1}^n I_{vi}$$

- Pro netypické harmonické vyšších řádů ($\mu > 7$) je celkový harmonický proud určitého řádu roven odmocnině ze součtu kvadrátů harmonických proudů tohoto řádu

$$(32) \quad I_v = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{vi}^2}$$

- pulsně modulované střídače

Pro řád μ , který v zásadě není celočíselný, ale pro hodnoty $\mu > 11$ také obsahuje celočíselné hodnoty, je celkový proud rovný odmocnině ze součtu kvadrátů pro jednotlivá zařízení

$$(33) \quad I_\mu = \sqrt{\sum_{i=1}^n I_{\mu i}^2}$$

Pokud se vyskytují u těchto střídačů netypické harmonické proudy řádu $\mu < 11$, pak se tyto sčítají aritmeticky. Jsou-li překročeny přípustné hodnoty harmonických proudů (nebo přípustné proudy meziharmonických), pak jsou zapotřebí podrobnější posouzení. Přitom je třeba mít na paměti, že hodnoty přípustných harmonických proudů jsou voleny tak, aby platily i při vyšších frekvencích pro induktivní impedanci sítě, tj. např. pro čisté venkovní sítě. V sítích s významným podílem kabelů je ale síťová impedance v mnoha případech nižší, takže mohou být přípustné vyšší proudy harmonických. Předpokladem je výpočet a posouzení napětí harmonických ve společném napájecím bodu při uvažování skutečné (frekvenčně závislé) impedance sítě ve společném napájecím bodu. Navíc k dosavadním požadavkům je zapotřebí dodržet podmínku, že v rozsahu frekvencí 2000 Hz až 9000 Hz nepřekročí ve společném napájecím bodu napětí 0,2 %.

Je-li v síti několik předávacích míst, musí být při posuzování poměrů v jednom předávacím místě brány v úvahu též ostatní předávací místa. Podle toho jsou poměry v síti vn přípustné, pokud v každém společném napájecím bodu nepřekročí harmonické proudy emitované do sítě hodnotu

$$(34) \quad I_{v \text{ V př}} = i_{v \text{ př}} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_{AV}}{S_S}$$

Kde:

S_{AV} součet napájecích zdánlivých výkonů všech zařízení v daném společném napájecím bodě

S_S je celkový výkon, pro který je síť navržena.

Pokud podle tohoto výpočtu dojde k překročení přípustných harmonických proudů, pak v zásadě připojení není možné, pokud podrobnější výpočet neprokáže, že přípustné hladiny harmonických napětí v síti nejsou překročeny.

Pokud jsou překročeny přípustné proudy harmonických, pak je zapotřebí provést podrobnější výpočet harmonických.

7.3.3 Výrobní v síti 110 kV

Pro tyto sítě udává následující tabulka celkově dovolené proudy harmonických pro zařízení připojená do jedné transformovny nebo do jednoho vedení 110 kV. Tyto hodnoty převzaté z [ČSN 33 3201: Elektrické instalace nad AC 1 kV] se vztahují ke zkratovému výkonu v předávacím místě výrobní.

Řád v, μ	Přípustný vztažný proud harmonických $i_{v, \mu zul}$ v A/GVA
5	2,6
7	3,75
11	2,4
13	1,6
17	0,92
19	0,70
23	0,46
25	0,32
> 25 nebo sudé	5,25 / v
$\mu < 40$	5,25 / μ
$\mu > 40$ *	16 / μ

Tabulka 9.: Přípustný vztažný proud harmonickýchII

*) Celočíslné nebo neceločíslné v pásmu 200 Hz

Pozn.: Pro harmonické řádu násobku tří se mohou vzít za základ hodnoty pro nejbližší vyšší řád

Přípustné proudy harmonických jednoho výrobního zařízení se získají pak pro harmonické do řádu 13 takto:

$$(35) \quad I_{v zul} = i_{v, \mu zul} \cdot S_{kV} \cdot \frac{S_A}{S_0}$$

pro harmonické řádů vyšších než 13 a pro meziharmonické:

$$(36) \quad I_{v, \mu zul} = i_{v, \mu zul} \cdot S_{kV} \cdot \sqrt{\frac{S_A}{S_0}}$$

Kde:

- $I_{v, \mu zul}$ přípustný proud harmonické výrobního zařízení
- $i_{v, \mu zul}$ přípustný vztažný proud harmonické podle Tabulky 10.
- S_{kV} zkratový výkon v přípojném bodě
- S_A přípojný výkon výrobního zařízení
- S_0 referenční výkon.

Proudy harmonických a meziharmonických řádů vyšších než 13 se nemusí respektovat, když je výkon největšího dodávajícího měniče menší než 1/100 zkratového výkonu sítě v přípojném bodě.

Je-li výrobní zařízení připojeno k úseku vedení mezi dvěma transformovny, dosazuje se za referenční výkon S_0 tepelný mezní výkon tohoto úseku vedení. Při připojení výrobního zařízení přímo nebo přes zákazníkovo vedení k transformovně se za S_0 dosazuje maximálně k transformovně připojitelný vyráběný výkon.

Dodržení přípustných proudů zpětných vlivů podle předchozích dvou vztahů lze prokázat měřením celkového proudu v předávacím místě nebo výpočtem z proudů připojených jednotlivých zařízení.

Měření proudů harmonických a meziharmonických se musí provádět podle ČSN EN 61000-4-7 ed.2.

Proudy harmonických, přiváděné zkresleným napětím sítě do výrobního zařízení (např. do obvodů filtru), se výrobnímu zařízení nepřipočítávají.

7.4) Ovlivnění zařízení HDO

Zařízení hromadného dálkového ovládání (HDO) jsou obvykle provozována s frekvencí v rozmezí 183,3 až 283,3 Hz. Místně použitou frekvenci HDO je zapotřebí zjistit u PDS. Vysílací úroveň je obvykle 1,5 % až 2,5 % U_n . Vysílače HDO jsou dimenzovány na zatížení, jež do určité míry vychází z 50 Hz zatížení sítě, kterou napájí svým signálem. Výrobní připojené do přípojnice, do níž se vysílá signál HDO, ho ovlivňují přídavným zatížením vysílačů HDO, které plyne z:

- vlastního zařízení výrobní
- zvýšeného zatížením sítě, které je v důsledku výroby k síti připojeno.

V těchto případech se posuzuje vliv výrobní na zatížení vysílače HDO. Vychází se z informace PDS o jeho zatížení a jmenovitém proudu. Přípustné zvýšení zatížení vysílače do 110 kV a vn je 5 % jmenovitého proudu.:

Výrobní připojované k síti mimo přípojnic, do níž se vysílá signál HDO, smí způsobit snížení úrovně signálu HDO maximálně o 5% za předpokladu, že bude dodržena minimální přípustná úroveň signálu HDO určená měřením. Tato úroveň musí být zaručena i při mimořádných zapojeních sítí.

Pro frekvence 194 – 283,3 Hz jsou minimální úrovně signálu HDO:

NN 150% U_f , VN 190% U_f , 110 kV 200% U_f . U_f je náběhové napětí přijímače, které obvykle bývá v rozmezí 0,8 – 0,9 U_n .

Nepřípustným změnám hladiny signálu HDO v přípojném bodu, je obecně zapotřebí zamezit odpovídajícími technickými opatřeními, zpravidla hradícími členy. Jejich technické parametry musí být odsouhlaseny PDS.

Podrobnosti jsou v [PNE 33 3430-6: Parametry kvality elektrické energie – Část 6: Omezení zpětných vlivů na hromadné dálkové ovládání]

Při posuzování poklesů hladiny signálu HDO výrobny je zapotřebí uvažovat následující hlediska:

- Zdroje připojené statickými střídači bez filtrů zpravidla nezpůsobují významné snížení hladiny signálu HDO. Pokud jsou vybaveny filtry nebo kompenzačními kondensátory, pak je zapotřebí přezkoušet sériovou rezonanci s reaktancí nakrátko transformátoru výroby.
- Zdroje, jejichž synchronní nebo asynchronní generátory jsou připojeny do sítě přes transformátor, vyvolávají tím nižší pokles signálu, čím je vyšší zkratová reaktance generátoru a transformátoru, čím je vyšší frekvence HDO a zkratový výkon sítě.

Kromě omezení poklesu hladiny signálu HDO nesmí být též produkována nežádoucí rušivá napětí. Obecně platí:

- výrobnou vyvolané rušivé napětí, jehož frekvence odpovídá místně použité frekvenci HDO nebo leží v bezprostřední blízkosti, nesmí překročit 0.1 % U_n
- napětí produkováná výrobnou, jejichž frekvence je do 100 Hz pod nebo nad místně použitou frekvencí HDO, nesmějí v přípojném bodu překročit 0.3 % U_n .

Výše uvedené hodnoty 0.1% U_n resp. 0.3% U_n vycházejí z předpokladu, že v síti nn nejsou připojeny více než dvě vlastní výroby. Jinak jsou zapotřebí zvláštní výpočty (opět v normě). Pokud vlastní výroba nepřípustně ovlivňuje provoz zařízení HDO, je zapotřebí, aby její provozovatel učinil opatření potřebná k odstranění ovlivnění, a to i když ovlivnění je

zjištěno v pozdějším čase. Bez posouzení je možné podle normy připojit k síti výroby, nepřesáhne-li jejich výkon v přípojném bodu a výkon v celé síťové oblasti hodnoty uvedené v následující tabulce.

Napětová úroveň [kV]	Celkový výkon výrobních zařízení	
	V přípojném bodu	V síťové oblasti
0,4	10 kVA	20 kVA
VN	2MVA	4MVA
110	20 MVA	40 MVA

Tabulka 10.: Mezní výkony pro posuzování vlivu na HDO

6 PROBLÉMY PŘI PŘIPOJOVÁNÍ MALÝCH ZDROJŮ

U generátorů pracujících paralelně se sítí je automatické odpojování od sítě nezbytně nutné vždy, když dojde k výpadku nebo odpojení proudu v síti. Je nutné respektovat příslušné předpisy pro připojení bioplynové stanice k síti a to už při plánování dané stanice. Problémem bioplynových stanic, zejména těch z živočišné výroby, je jejich umístění. Většinou se nachází na koncích vesnic, kde je pouze síť nízkého napětí. Pokud připojíme bioplynovou stanici do sítě nízkého napětí, existuje zde nebezpečí zpětného působení na síť. Několik takových případů zaznamenali například v Německu.[12] Stávalo se to zejména při kolísání napětí způsobeného zvýšením otáček asynchronního generátoru při dodávkách vyšších výkonů.

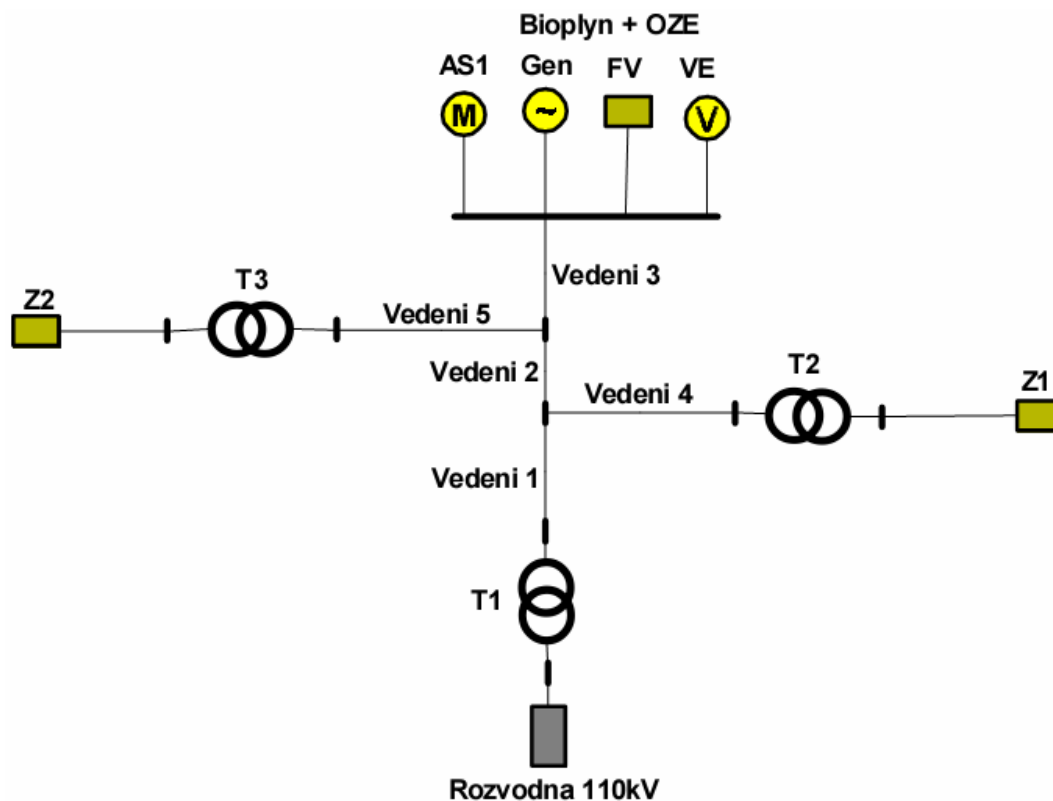
Vzhledem k malým výkonům běžných bioplynových celků, do kterých bezesporu patří všechny tři mnou sledované objekty, nejsou s narušováním provozu sítě vážné problémy. Z tohoto hlediska připadá ve skutečnosti v úvahu jediný nežádoucí stav a tím je náhlý výpadek jednotky z provozu. I pokud dojde k tomuto, z hlediska závažnosti meznímu stavu, nemá pro síť žádné vážné důsledky. Proto jsem se na žádném z jmenovaných objektů nesešel se snahou o výraznou eliminaci výpadku ze strany distributora (ČEZ).

Ze strany provozovatele však výpadky také nepředstavují ekonomický problém. Metanogeneze probíhá i po výpadku nerušeně dál a kapacita plynojemu, popřípadě skládkové kazety je dostatečně naddimenzována. Po odstranění příčiny výpadku a znovu najetí jednotky nedochází k ekonomickým ztrátám za bioplyn, který vznikl po čas odstavení. Moderní řídicí jednotky motorů totiž dokáží na základě složení plynu (zvýšený obsah metanu) nakonfigurovat motor tak, aby metan lépe využil. Krátkodobě tak může například Chotíkovská jednotka po výpadku pracovat na 130% jmenovitého výkonu. Pro provozovatele tak nevznikla ztráta za tržby za elektrickou energii. Výpadek má pouze technická úskalí, vyplývající z nutnosti jednotku znovu uvést do provozu. A to jednak odstranit závadu (je-li závada vnitřní) a za druhé nastartovat jednotku. Například jednotka v Chotíkově není vybavena vzdáleným řízením a tak vyžaduje i v případě výpadku zapříčiněného stranou sítě přímou přítomnost vyškolené obsluhy.

6.1 Model vlivu obnovitelných zdrojů na el. síť

Pomocí simulačního programu E-vlivy jsem vytvořil model klasického připojení malého obnovitelného zdroje do sítě. Ve shodě s obvyklými podmínkami připojování

takových zdrojů jsem předpokládal jejich umístění na konci linky (za vesnicí, za městem), do sítě s nízkým zkratovým výkonem. Konfiguraci modelu ukazuje obr. 6.



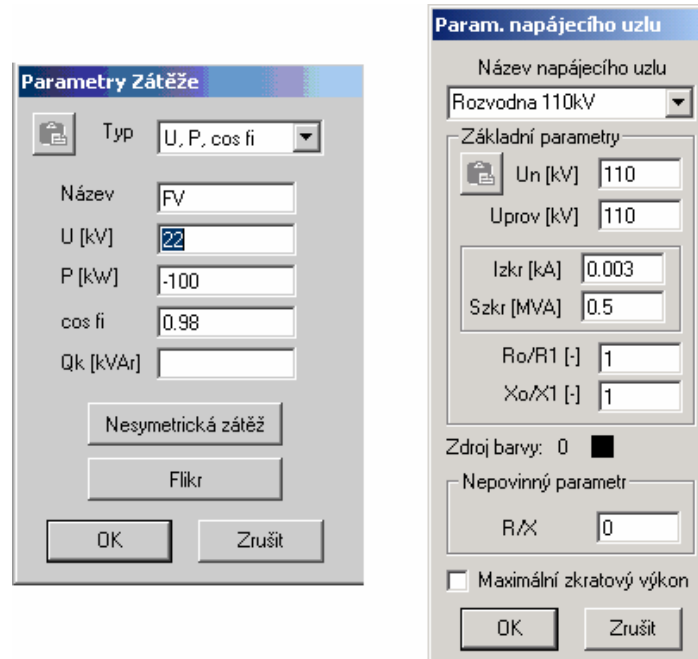
Obrázek 6.: Konfigurace modelu imaginární sítě v programu E-Vlivy

V modelu jsou zátěže Z1 a Z2 reprezentující městské části, případně vesnice. Tyto zátěže jsou vždy připojeny přes transformátor 22/0,4 kV. Celá větev je připojena přes transformátor 110/22 kV na rozvodnu. Na konci vedení jsou do společného uzlu připojeny modelové obnovitelné zdroje. Jedná se o

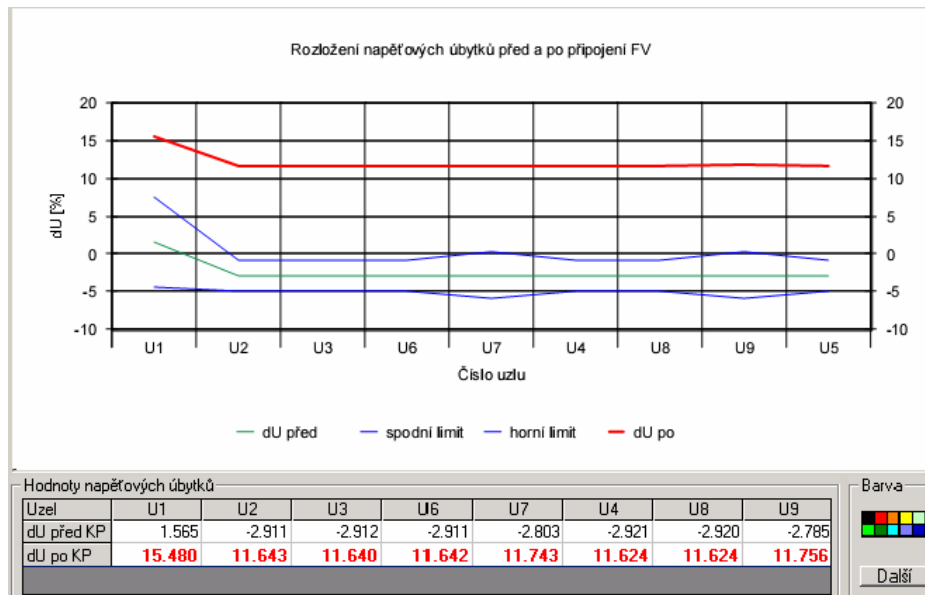
- asynchronní generátor – reprezentující bioplynovou elektrárnu
- zátěž označenou FV – příkon zátěže je záporný a tímto je reprezentována fotovoltaická elektrárna, resp. její střídač
- generátor V – větrná elektrárna
- asynchronní generátor M – motor vlastní spotřeby, například vývěva bioplynové elektrárny

V modelu jsem postupně měnil jednotlivé zdroje i jejich parametry. Metodou uzlových napětí jsem pomocí programu vypočítal a sledoval jednotlivé ukazatele vlivu. Jako

nejproblémovější se při tomto uspořádání projevila podle očekávání větrná turbína. Není li dostatečně velký zkratový výkon v místě připojení, tak může dojít ke zvýšení flikru (obr. 9). Při nízkém zkratovém výkonu rozvodny, byla i fotovoltaická elektrárna rušivá a elektrárnu s vyšším výkonem vůbec nelze připojit. Na obr. 7 jsou parametry FVE a rozvodny (napájecího uzlu) a na obr. 8 výsledná změna napětí v jednotlivých uzlech po připojení FVE.



Obrázek 7.: Parametry FVE a napájecího uzlu vkládané do programu E-vlivy



Obrázek 8.: Rozložení napěťových úbytků po připojení FVE

Parametry asynchronního stroje

Druh stroje: Motor, Generátor, Větrná el.

Druh výpočtu: Chod, Harm/HDO/Zkraty, Rozšířené zadání

Popis asynchronního stroje: Jméno stroje VE, Zdroj barvy: 0

Jmenovité hodnoty: Volba zadání Sn, Pn; U [kV] 22; Sn [kVA] 100.0; cos fi n 0.95; R/X [-] 0

Provozní hodnoty: P [kW] 100; cos fi 0.95; Qk [kVar]; R/X [-]; Kompenzace; Rozběh

Parametry pro flickr větrné elektrárny: fi [°] 0.00; c 5; dP; dQ

Uzel	Pst
U1	1.098
U2	1.202
U3	1.202
U6	1.202
U7	1.202
U4	1.203
U8	1.203
U9	1.203
U5	1.205

Obrázek 9.: Parametry větrné elektrárny a hodnoty flickru v jednotlivých uzlech

Bioplynová stanice je-li její výkon malý v porovnání se zkratovým výkonem sítě, do které se připojuje, nemá žádné rušivé účinky na síť, její připojení je bez obtíží.

7 OPTIMALIZACE PROVOZU JEDNOTKY CHOTÍKOV

7.1 Popis sklárky

Provozovatel sklárky v Chotíkově na severním Plzeňsku je společnost Plzeňská teplárenská a.s. Plocha sklárky je 15 ha. Ročně se na sklárku uloží zhruba 60 tisíc tun odpadu. Pro produkci plynů je nejdůležitější bioodpad, který tlí. Na množství uloženého odpadu se podílí asi pětinou.

Sklárka Chotíkov se skládá v současnosti ze tří částí. Nejstarší je takzvaná nezabezpečená sklárka, která pochází z počátku 90. let minulého století. Do této sklárky se navážely odpadky bez patřičných zabezpečení (v té době provozoval sklárku hospodářský odbor města Plzeň). Látky byly vymývány deštěm a úložiště nemělo parametry současných skládek.

Na staré skládce se už uskutečnila technická rekultivace a v současnosti probíhá rekultivace biologická, kdy se na skládce vysazují rostliny. Z této kazety se bioplyn nejímal a nikdy se pro potřebu kogenerační jednotky odebírat už nebude. Do sklárky by se musely instalovat technologie na získávání bioplynu. To by znamenalo narušení kompaktnosti sklárky a nebylo by to ekologické ani ekonomické. Navíc měření ukázala, že v této staré skládce je minimum skládkových plynů.

Druhou částí je už podle norem založená kazeta K1, která je už ale plná a i na ní probíhá rekultivace. V současné době se používá kazeta K2 a připravuje se založení kazety K3.

druh odpadu	rok 2004	2005	2006	2007 - 1. Q	Celkem
směsný odpad	27825	27138	24987	17060	97010
objemný odpad	8772	8322	6281	4491	27866
ostatní odpady	7410	5575	5899	3466	22350
zemina, hlušina	7903	4500	5610	1854	19867
stavební odpady	10143	5781	7157	5856	28937
rekosol	8143	0	0	0	8143
celkem	70196	51316	49934	32727	204173

Tabulka 11.: Množství ukládaných odpadů na sklárku Chotíkov

Kazeta K1 a stará sklárka se už nepoužívají a probíhá jejich rekultivace. Stará sklárka a kazeta K1 nové sklárky v Chotíkově (obr.10, červeně přibližně označeno) už jsou v procesu rekultivace. Sklárky se uzavřely minerálním těsněním (jíl), na který se navezla metrová

vrstva biologické zeminy. Během této rekultivace se plánuje vysadit cca šest tisíc dřevin a rostlin.



Obrázek 10.: Stará skládka a kazeta K1[9]

7.2 Popis jednotky

Dne 7. 11.2007 zprovoznila u jednoho z rekultivovaných bloků skládky kogenerační jednotku, která skládkový plyn „přeměňuje“ na elektřinu. Její výkon je 120 kilowatt. Kogenerační jednotka stála 5,5 milionu korun. Návratnost investice se odhadovala na čtyři až pět let. Roční odhad výroby byl 700 megawatthodin elektřiny (2270 Kč/MWh) [9]. Podobné zařízení má již několik desítek skládek v ČR.

Skládkový plyn je jímán ze skládkové kazety K1. Její objem je zhruba 570 tisíc kubických metrů. Kogenerační jednotka si z ní bere 55 až 60 m³ bioplynu za hodinu, toto množství by mohla kazeta vydávat sedm až devět let. Po vyčerpání plynů z K1 se mobilní zařízení přemístí ke kazetě K2. Ta se měla uzavřít a začít rekultivovat v roce 2009 v současnosti se pracuje na jejím definitivním uzavření a dochází k plnění kazety K3.

7.2.1 Kogenerační jednotka

Kogenerační jednotka typ MAEN 120 SP s motorgenerátorem DAGGER SDG 120 a s motorem typ MAN E 2876 TE 302 se synchronním generátorem Stamford. Emise škodlivin

při 5% O₂: NO_x < 500 mg/m³, CO < 650 mg/m³. Kogenerační jednotka je vestavěna do kontejneru o vnějších rozměrech (š x d x v) – 2,4 x 12,2 x 2,8 m. Kontejner je rozdělen příčkou na prostor soustrojí, prostor rozváděčů vyvedení výkonu, měření, řízení soustrojí a protipožární příčkou na prostor čerpací stanice. Toto provedení umožňuje snadný transport zařízení, zajištění jeho provozu z hlediska vstupu nepovolaných osob a vytvoření podmínek pro zajištění ochrany proti

nebezpečím vznikajícím z přítomnosti bioplynu. Kogenerační soustrojí je usazeno na základovém rámu s pružícími bloky, který je fixován na podlahu krytu. Potrubí spalin motoru je vyvedeno stropem krytu. Na střeše krytu se nachází tlumič hluku výfuku, uchycený na konzolách. Výfuk je vytažen 2 m nad střešku krytu, aby spaliny nebyly nasávány chladiči z chladicího systému jednotky. Chladicí systém jednotky je řešen jako dva uzavřené okruhy chlazení motorové vody a chlazení motorové směsi, které jsou osazeny elektrickými oběhovými čerpadly. Chlazení obou medií zajišťují suché chladiče voda/vzduch od výrobce Guntner. Okruh chlazení motorové vody je osazen expanzní tlakovou nádobou o objemu 80 l, okruh chlazení motorové směsi je osazen expanzní tlakovou nádobou o objemu 40 l.

Oba chladiče umístěné na střeše protihlukového krytu jsou dimenzovány na 100% výkon kogenerační jednotky při teplotě venkovního vzduchu do 35 °C.

Vnitřní prostor kontejneru je větrán šestinásobnou výměnou vzduchu za hodinu. Větrání vnitřního prostoru krytu je dáno požadavkem na udržení teploty prostředí pro provoz soustrojí v rozmezí 10 °C až 55 °C (jmenovitá teplota prostředí soustrojí 25 °C). Soustrojí a příslušenství, zejména propojovací potrubí, vyzařuje tepelný příkon 80 kWt, který je nutné odvést z vnitřního prostoru kontejneru. Ve vnitřním průřezu krytu proto obtéká soustrojí vzduch, který je použit pro chlazení generátoru a odvod vysálaného tepla z motoru. Zároveň je nasáván motorem jako spalovací. Vstup spalovacího a větracího vzduchu v objemu přibližně 16 700 m³/h je bokem krytu a vystup stropním otvorem krytu.

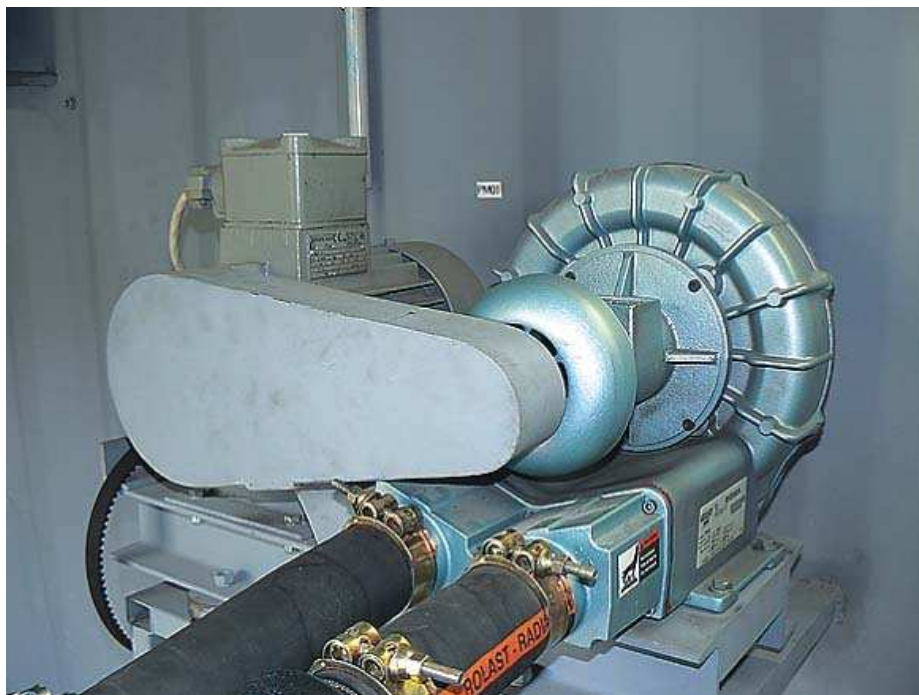
Čerpací stanice skládkového bioplynu typ MAEN 150 SP je určena pro transport a úpravu skládkového bioplynu vznikajícího na skladce komunálního odpadu. Bioplyn vznikající v tělese skládky je nutno pro jeho energetické využití ze skládky odsát a jeho parametry (tlak, čistotu, složení) upravit tak, aby jej bylo možno použít jako palivo pro plynový pístový motor pohánějící alternátor na výrobu elektrické energie. Čerpací stanice skládkového bioplynu typ MAEN 150 SP je vestavěna v kontejneru společně s kogenerační jednotkou. Výkon čerpací stanice je až 150 m³/h, přičemž regulovatelný je v rozmezí 30 až

150 m³/h. Plyn vstupu je do čerpací stanice jednou větví o dimenzi DN 160 odsávající různé oblasti skládky. Pod čerpací stanicí je v nezamrzajícím prostoru umístěn sifonový odlučovač vlhkosti. Kondenzát vznikající ve svodném plynovodu se tak shromažďuje a podle potřeby je přečerpáván zpět do skládkového tělesa.

Přes regulační klapku DN 160 vstupuje plyn do sběrače a dále do sacího potrubí objemového čerpadla – dmychadla, poháněného elektromotorem v provedení SNV. Výtlak čerpadla ústí do dalšího odlučovače vlhkosti z plynu (skládkový bioplyn má téměř 100% relativní vlhkost). Kondenzát z těchto odlučovačů je podle potřeby vypouštěn do nádoby hlavního sběrače no vstupu.

Čerpací stanice skládkového bioplynu typ MAEN 150 SP je vybavena jednou čerpací větví. Stanice má jeden společný výstup plynu ke kontejneru s kogenerační jednotkou přírubou DN 80. Součástí je rovněž ruční kulový ventil HUP DN 80. HUP je umístěn před vstupem plynu do motorového kontejneru a je volně přístupný. Hodnota výstupního tlaku bioplynu je maximálně 10 kPa.

Čerpací stanice je ve stěně kontejneru opatřena obtokem s uzavíratelným vývodem DN 50 pro případ bezpečného vyvedení plynu v době čerpaní bioplynu bez jeho zpracování v kogenerační jednotce. [11]



Obrázek 11.: Čerpací stanice [11]

7.2.2 Elektrické parametry

Jednotka se sestává ze synchronního generátoru Stamford a stálé vlastní spotřeby tvořené téměř výhradně motorem čerpací stanice MAEN 150 SP.

	Generátor	Čerpací motor
Výkon [kW]	120	2
Účinnost $\cos\phi$ [-]	0,95 (induk.)	0,88 (induk.)
Otáčky [min^{-1}]	1500	2865

Tabulka 12.: Elektrické parametry jednotky

7.2.3 Provedení připojení

Připojení výroby elektrické energie je z napěťové hladiny 22 kV. Před zahájením výroby bylo nutné provést následující úpravy zařízení distribuční soustavy:

Původní betonový sloup, na kterém byl umístěn ÚO č. 2688 pro vedení 22 kV Chotíkov-skládka byl demontován a nahrazen se novým odbočným betonovým sloupem, na který se osadil nový svislý odpojovač a demontovaný vrcholový odpojovač č. 2688.

Z tohoto svislého odpojovače DRIBO 6400 je vybudována přípojka 22 kV. Přípojka je provedena zemním kabelem $3 \times 1 \times \text{AXEKVCEY } 70\text{mm}^2$ a končí po 128m na novém betonovém sloupu trafostanice BTR – 1K/160 kVA, JB10,5/15 bez ÚO. Přípojka VN je vyvedena až na vrchol sloupu a odtud se vrací přes pojistkový spodek s omezovači k transformátoru.

Použit je třífázový transformátor 22/0,4 kV; 160 kVA, olejový a hermeticky uzavřený. Má redukovány ztráty naprázdno a je proveden měděným vinutím.

Přímo na sloupu TS je umístěn rozvaděč NN typové označení PV-SVS-P+PV 250, VtJ 200 s konzolou. K transformátoru je připojen kabelem CYKY $3 \times 185 + 95 \text{ mm}^2$. Hlavní jistič typ BH 630 – 250 A, vývodový jistič BH 630 – 200A. Také měřicí zařízení pro obchodní měření odběru el. energie je nepřímé na straně NN části, měřicí transformátory proudu (MTP) s převodem 300/5 A, třída přesnosti 0,5 S. výkon 10 VA. Dle vyhlášky 218/2001 se jedná o měření typu B.



Obrázek 12.: Vyvedení výkonu – transformátor 22/0,4 kV

K rozvaděči NN je vlastní výrobní (rozvaděč RG1 KJ) připojena dvěma zemními kabely AYKY $3 \times 240 + 120 \text{ mm}^2$ v délce $2 \times 25 \text{ m}$. Současně s oběma kabely NN i kabelem VN je položeno zemnění drátem FeZn $\text{Ø}10 \text{ mm}$, který je propojen se zemněním u UO i uzemněním kontejneru výroby.

7.3 Optimalizace provozu

V rámci optimalizace provozu skládkové kogenerační jednotky jsem se soustředil především na dva směry. Jednak na zvýšení celkové účinnosti výroby zajištěním lepšího využití tepla a za druhé na zlepšení spolupráce jednotek s el. sítí, zejména eliminaci výpadků a možnosti širšího zapojení do řízení sítě.

7.3.1 Optimalizace režimu výroby tepla

Nedílnou součástí přeměny chemické energie bioplynu na energii elektrickou je zatím spalování a tedy i vznik tepla. To se v několika následujících letech rozhodně nezmění. Určitou naději mohou na této nešetrné cestě „oklikou“ znamenat palivové články. Do doby realizace prakticky použitelných palivových článků na bioplyn nebo něčeho zcela jiného je ještě daleko. A tak každá taková jednotka stojí před otázkou jak zpracovat elektricky nevyužitelné teplo. Jak bylo podrobně popsáno v kapitole kogenerace, podaří se nám na

výrobu el. energie využít jen zhruba třetinu tepla. Další třetinu by bylo možné využít přímo. Je ovšem nutné najít vhodný odběr tepla. Bioplynové stanice s fermentorem toto teplo využívají k ohřevu samotné nádoby fermentoru. K odběru tepla dochází z chladiwa motoru, vzácněji ze spalin. Zvýšením teploty vsázky dochází k zrychlení a zefektivnění metanogeneze.

Skládkové jednotky tuto možnost nemají. Název kogenerační jednotka v jejich názvu je tedy velmi zavádějící, protože vyrábí pouze el. energii a teplo maří pomocí chladiče přímo do ovzduší. To je ekonomicky neefektivní a také ekologicky nežádoucí. Bohužel v České republice zatím neexistuje legislativní podpora využití tohoto „zeleného tepla“, například „zelené teplotní bonusy“ za vlastní vytápění apod. Pro jednotku v Chotíkově i ve Vysoké jsem našel pouze dvě řešení, jak teplo využít:

7.3.1.1 Vytápění administrativních budov

Pokud jsou v objektu skládky administrativní budovy, lze odpadní teplo jednotky využít pro jejich vytápění či ohřev TUV. V případě obou sledovaných skládek tomuto využití však brání několik okolností. Předně jsou jednotky z důvodů požární bezpečnosti, hlučnosti a dalších technologických příčin umístěny daleko od vytápěných budov. Teplovody by tedy musely být v případě Chotíkova asi 100 metrů dlouhé ve Vysoké ještě delší. Dalším negativem jsou vysoké investiční náklady na teplovody a výměník. Do návratnosti investice se také záporně promítne skutečnost, že vytápění administrativních budov je v letních měsících nežádoucí a tedy i využití této investice klesá.

7.3.1.2 Odpar skládkové vody

Z každé skládky unikají průsakové vody. Ty jsou (i pokud by to tak z hlediska složení nebylo) zákonem označeny jako nebezpečný odpad a provozovatel skládky je musí jímat do zachytných nádrží. Problém nastává, když se nádrže naplní. Potom je nutné nechat je vyvézt, nebo se průsakové vody jinak zbavit. Jednou z možností je také kropit touto vodou zpětně skládkou kazetu. To umožňuje udržovat lože přiměřeně a pokud možno i homogenně vlhké pro další příznivý průběh metanogeneze. Jenže pokud už je lože vlhké příliš, stává se tato voda velkým problémem. Je nutné ji jímat a odvážet k speciálnímu přečištění, přičemž nejbližší stanice pro tato speciální čištění je v Pardubicích. Na skládce ve Vysoké u Dobřan probíhal pokus s využitím odpadního tepla jednotky pro zrychlení odparu průsakové vody.

Jednoduché zařízení sestávalo z ocelového kontejneru a trubkového výměníku. Na tento výměník byla připojena vody ohřátá jednotkou a přes stěnu trubky ohřívala průsakovou vodu v kontejneru. Pokus dopadl celkem úspěšně a nabízí se tak cesta pro lepší využití tepelného výkonu jednotky.

7.3.2 Spolupráce se sítí

Jak již bylo výše popsáno, z hlediska distribuční sítě mohou jednotky takto malého výkonu závažně negativně účinkovat pouze prudkou změnou výkonu, resp. výpadkem z provozu. Původně jsem v souladu s informacemi z jiných (starších) jednotek očekával, že nejčastější příčina výpadku bude nedodržení kvality vstupního plynu. Samozřejmě se jedná obvykle o nedostatečný obsah metanu. Proto jsem navrhoval dvě následující řešení:

7.3.2.1 Optimalizace pomocí vyrovnávacího zásobníku

Jako první a nejjednodušší řešení jsem zvolil vyrovnávací zásobník. Tedy kovovou nádobu, nejlépe vybavenou plastovou duší kam by byl plyn čerpán do zásoby. To by umožnilo udržet palivo více homogenní v přijatelné a konstantní jakosti. Zásobník by byl situován v blízkosti stávajícího kontejneru na páteřním přívádčím potrubí. Nevýhodou je pochopitelně investiční náročnost a nutnost zvýšení zabezpečení.

7.3.2.2 Optimalizace pomocí pomocného zdroje metanu

Druhým řešením by bylo dodávat metan z jiného spolehlivějšího zdroje. Na Chotíkovské skládce se bude do několika let realizovat rozšíření o zpracovatelskou linku, obsahující i MBU stupeň. Tato mechanicko biologická část zahrnuje i fermentaci, jejíž produktem je v souladu s výše uvedeným principem metan. Protože zákon zakazuje vypouštění těchto plynů do ovzduší, bude nutné postavit zařízení na likvidaci – spalování metanu. Pokud by došlo k míchání se stávajícím skládkovým plynem, mohla by pak skládka působit jako jakýsi rezervoár plynu a palivo motoru by bylo dle potřeby „ředěno“ či „zahušťováno“ plynem z fermentoru MBU jednotky.

Teoretickou, ale neméně zajímavou možností by mohlo být míchání skládkového plynu se zemním plynem z plynofikační sítě. Toto opatření nemá v současnosti dostatečnou právní oporu, ale jeho zavedením by celkové využití bioplynu jistě zvýšilo. Došlo by nejen ke

zvýšení spolehlivosti jednotky, ale také by pak mohly vznikat malé kogenerační provozy v blízkosti menších zdrojů bioplynu, kde se v současnosti stavba jednotky nevyplatí.

7.3.2.3 Analýza skutečného stavu

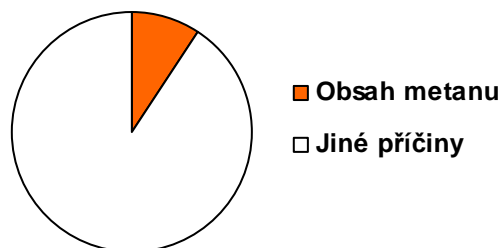
Řídící jednotka skládky Chotíkov je vybavena i systémem zaznamenávání výpadků. Po dobu téměř dvou let byly výpadky ukládány do paměti jednotky. Po jejich převedení do přehledných tabulek a analýze jednotlivých příčin jsem mohl provoz zhodnotit dlouhodobě. Znamenalo to především pečlivě dekodovat skutečnou příčinu poruchy. Řídící jednotka zaznamená adresu (slot, drátek) jejíž signál byl pokynem k zastavení provozu, bylo však nutné jednotlivým slotům přiřadit čidla a posléze i pravděpodobné konkrétní příčiny.

Jak je uvedeno výše, očekával jsem závady především v dodávkách plynu, případně jeho špatné kvalitě (nízké energetické hustotě = málo metanu). Všechna měření, záznam a diagnostika příčin výpadků za první dva roky provozu ukázaly, že nízká kvalita paliva ve skutečnosti působí jen velmi malé množství neplánovaných odstávek. To lze vysvětlit především vyspělou technologií použitou pro řídicí jednotku. Protože součástí řídicího členu je i kontinuální měření složení plynu, může systém včas zareagovat na klesající koncentraci metanu. Pokud se koncentrace dostává pod 30%, je výkon motoru plynule snížen, tím se zmenší odběr z tělesa skládky s následkem opětovného nárůstu metanogeneze. Po několika hodinách je koncentrace metanu v plynu dostatečná a řídicí člen začne zvyšovat výkon motoru. Do následující tabulky jsem zaznamenal seznam všech výpadků, z let 2008 a 2009.

Příčina poruchy	Počet poruch		
	2008	2009	S U M A
Zpětná wattová	54	11	65
Podpětí	1	0	1
Podfrekvence (SW signál)	1	0	1
Přetížení generátoru z JMO	15	0	15
Generátorový vypínač	3	0	3
Vnitřní ochrana gen. Vypínače	3	0	3
Sumární porucha sítě z JMS	45	39	84
Teplota spalin za turbodmychadlem	14	9	23
Nouzové vypnutí rozvaděče DT1	1	1	2
Obsah metanu ve skládkovém plynu	15	6	21
Únik skládkového plynu v prostoru ČS	0	1	1
Problémy s chladicí vodou	0	1	1
Problémy s čerpáním plynu	0	1	1
Zkrat generátoru	2	0	2
Zkrat generátoru z JMO	0	3	3
Činný elektrický výkon generátoru	3	0	3
S U M A	157	72	229

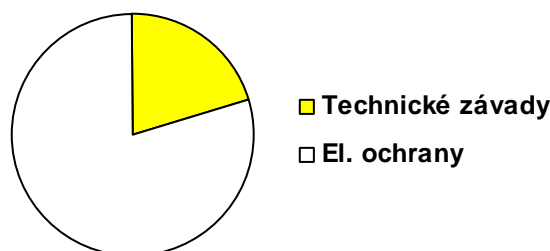
Tabulka 13.: Příčiny poruchy 2008 a 2009

Jak je také dobře vidět z prvního grafu je podíl výpadků způsobených obsahem metanu v palivu velmi malý. Po celou dobu měření se podíl těchto problémů drží kolem 10 %, nevyskytují se tedy období, kdy by byl s koncentrací dlouhodobý problém. Skutečný podíl na výpadcích je však ještě mnohem menší (zhruba 2–3×), protože dochází k znásobení těchto poruch. Analýza výpadků totiž ukázala, že v naprosté většině případů následuje po prvním výpadku z této příčiny výpadek další. A ten je zaznamenán jako samostatná porucha. Dojde-li k obnově provozu po relativně krátké době, už po několika málo minutách (hodina), nedojde k vytvoření dostatečných zásob metanu v tělese skládky a výpadek se opakuje. To je také důvod, proč po výpadku ke kterému došlo kvůli obsahu metanu v noci, obvykle nenásleduje výpadek další – k znovuspuštění došlo až ráno, při příchodu směny a skládka měla dost času k regeneraci.



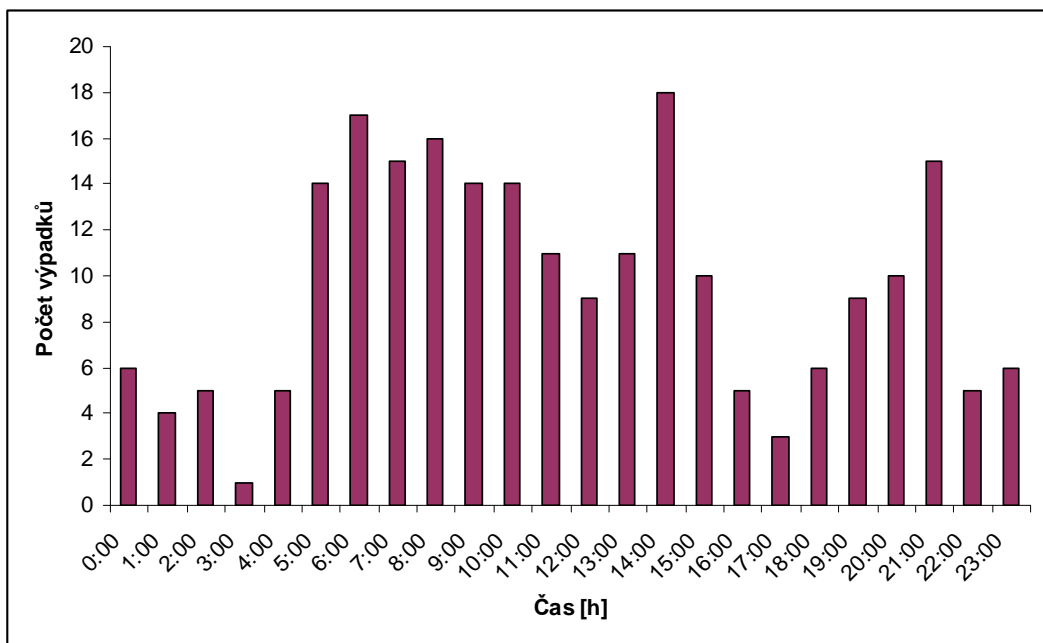
Obrázek 13.: Graf – Poměr obsahu metanu a jiných příčin na výpadku

Rozbor zaznamenaných hodnot naprosto jasně dokazuje, že hlavními příčinami nejsou ani žádné další provozně-technické problémy. Ze všech těchto problémů je právě nízký obsah metanu v palivu nejčastějším nedostatkem. Ve skutečnosti mají na výpadcích jednotky největší podíl „elektrické“ ochrany. Nejčastější výpadek vůbec je způsoben rušivým vlivem ze strany sítě, nikoliv ze strany skládky. Velmi jasně to ukazuje další graf, který zobrazuje podíl vnitřních, technických závad, vzhledem k „elektrickým“ příčinám.

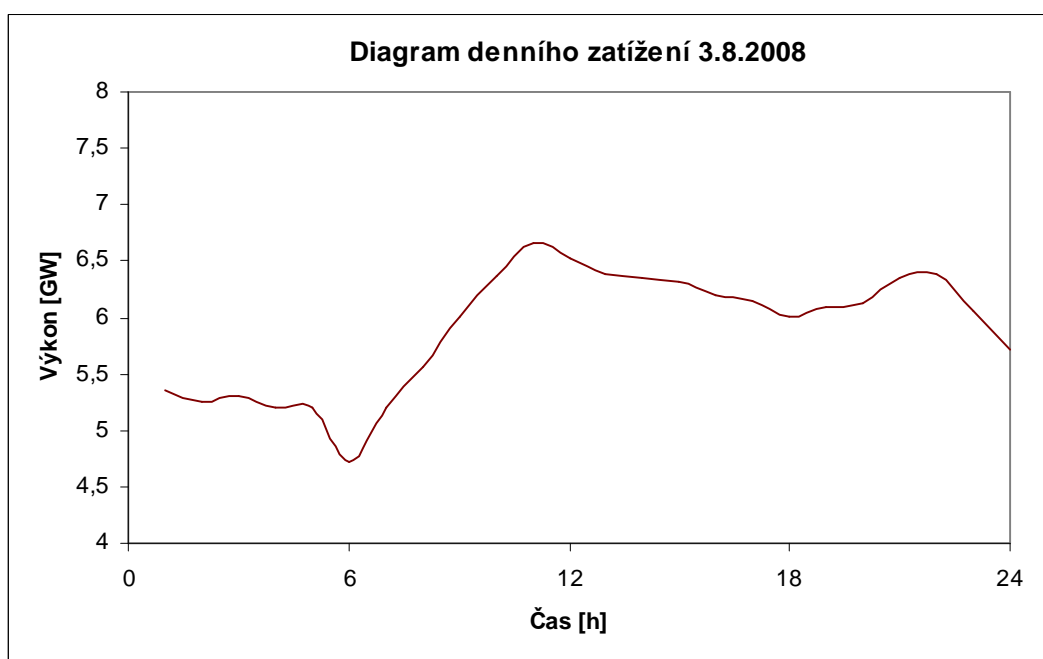


Obrázek 14.: Graf – Poměr technických a „elektrických“ příčin na výpadku

Velká část „elektrických“ výpadků odpovídá časově atmosférickým poruchám a podle výpovědi obsluhy skutečně za bouřky dochází k častějším výpadkům. Pokud celý den rozdělíme po hodinových úsecích a budeme zkoumat, ve které části dne dochází k poruše častěji, je to zejména v ranních hodinách, v intervalu mezi 6:00 a 10:00. Na tuto část dne připadá více než 20 % všech nehod s následkem výpadku. Další časový interval s větším počtem výpadků je mezi 19:00 a 22:00, tedy opět časová oblast odběrové špičky. V tuto dobu zřejmě dochází v síti k větším odchylkám vlivem zvýšeného odběru, na které reagují vstupní ochrany jednotky, a proto dochází k významnému počtu výpadků v této době. Pro srovnání jsem přiložil i denní diagram zatížení ze dne 3. 8. 2010.



Obrázek 15.: Graf – Počet výpadků v jednotlivých časových intervalech dne

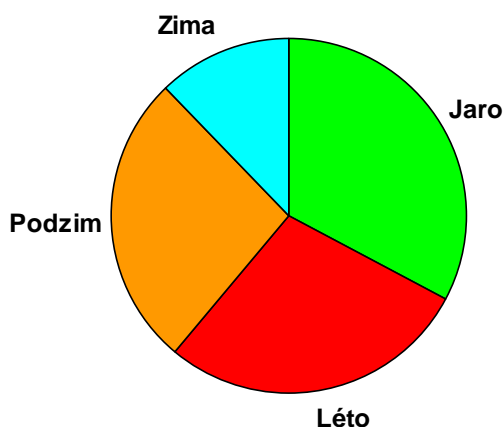


Obrázek 16.: Graf – Diagram denního zatížení 3. 8. 2008 [15]

Překvapivý výsledek vyplývá i z rozboru počtu výpadků vzhledem k ročnímu období, resp. měsíci. Metanogeneze probíhá lépe při vyšších teplotách. Proto se obvykle předpokládá,

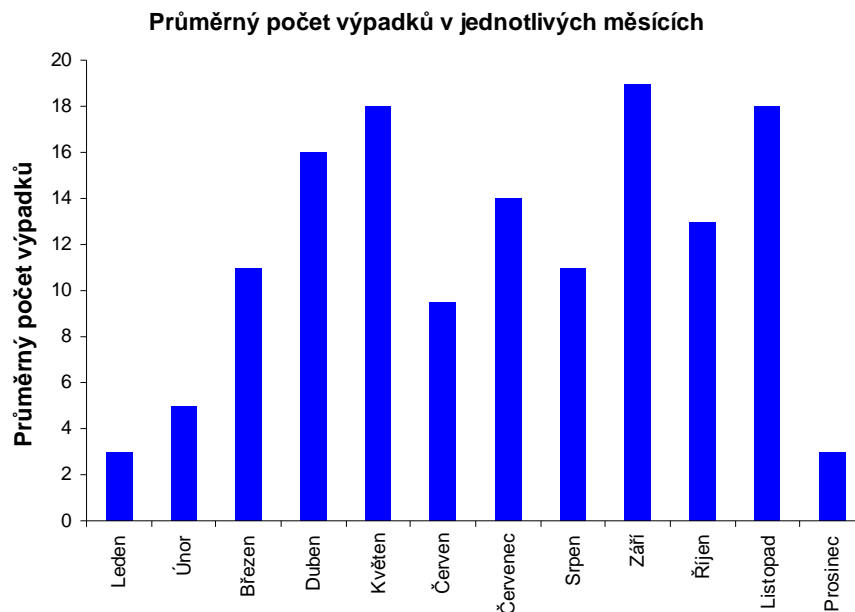
že skládka produkuje plyn lépe v létě a naopak v zimních měsících je produkce kvalitního bioplynu nízká. Záznamy o poruchách z obou mnou sledovaných skládkových jednotek tento předpoklad zcela vyvracejí. V zimních měsících dochází k velmi malému počtu výpadků (viz obr. 17 a obr. 18). Ze všech jednadvaceti výpadků způsobených na Chotíkově nekvalitním plynem ve sledovaném období jich sedmnáct bylo v létě, dva na podzim a dva na jaře. V zimě nejsou žádné problémy s produkcí metanu. Navíc se jednotky snáze chladí a zbavují nadbytečného tepla, což dále zvyšuje jejich stabilitu.

Průměrný počet výpadků v ročních obdobích



Obrázek 17.: Graf – Průměrný počet výpadků v ročních obdobích

Nízký výskyt výpadků v zimních měsících obecně, je plně v souladu s předchozím předpokladem, že za mnoha reakcemi ochran s následkem výpadku mohou být atmosférické poruchy. Průměrný počet měsíčních poruch v období duben až říjen, tedy v období bouřek, je nápadně větší než v ostatních měsících.



Obrázek 18.: *Graf – Průměrný počet poruch v jednotlivých měsících*

K velmi podobným výsledkům jsem dospěl i u obdobné jednotky na skládce ve Vysoké u Dobřan. Jak podíl ochran na výpadcích tak časové rozložení během dne jsou velmi podobné.

7.3.2.4 Změna nastavení ochran

V roce 2007 kdy byl zahájen provoz jednotky, ještě neplatila norma pro nastavování norem tak jak je uvedena výše, resp. malé zdroje byly vybaveny pouze jednostupňovou ochranou. V případě Chotíkova je použita zcela jednotná jednostupňová ochrana JMS – Univerzální síťová ochrana NPU FUV 230/24. Konkrétní nastavení parametrů ukazuje následující tabulka.

Číslo	Parametr	Nastavení	Rozměr
A7	Mez nadfrekvence	51	[Hz]
A8	Zpoždění nadfrekvence	0,1	[s]
A9	Mez podfrekvence	49	[Hz]
A10	Zpoždění podfrekvence	0,1	[s]
A11	Mez přepětí L1	253	[V]
A12	Mez přepětí L2	253	[V]
A13	Mez přepětí L3	253	[V]
A14	Zpoždění přepětí	0,1	[s]
A15	Mez podpětí L1	207	[V]
A16	Mez podpětí L2	207	[V]
A17	Mez podpětí L3	207	[V]
A18	Zpoždění podpětí	0,1	[s]
A19	Mez napěťové nesymetrie	30	[V]
A20	Zpoždění napěťové nesymetrie	0,5	[s]
A21	Mez vektorového skoku	8	[°]
A22	Zpoždění vyhodnocení vektorového skoku po připojení fázových napětí	0,2	[s]

Tabulka 14.: Nastavení ochran

Pokud by došlo k výměně ochran a přechodu k modernějšímu, dvoustupňovému nastavení (viz kap.5.3), mohl by počet výpadků značně poklesnout, neboť velká část výpadků je při takto „přísném“ nastavení zbytečná. Jedná se například o reakce na OZ a výše zmíněné atmosférické poruchy. Touto drobnou změnou se stane jednotka dostatečně stabilní a spolehlivá a bude možno uvažovat o jejím využití jako o zdroji pohotovému výkonu.

8 SPOLUPRÁCE S JINÝMI ZDROJI ELEKTRICKÉ ENERGIE

Pokud budou provedena zmíněná optimalizační opatření, zejména výměna elektrických ochran za modernější s dvoustupňovým nastavením, výrazně poklesne počet výpadků. Jednotku poté bude možné považovat za velmi spolehlivý zdroj energie. Výhoda je o to zajímavější, že celý systém najíždí do plného výkonu (i za „studeného“ startu) velmi rychle, cca do 1 minuty.

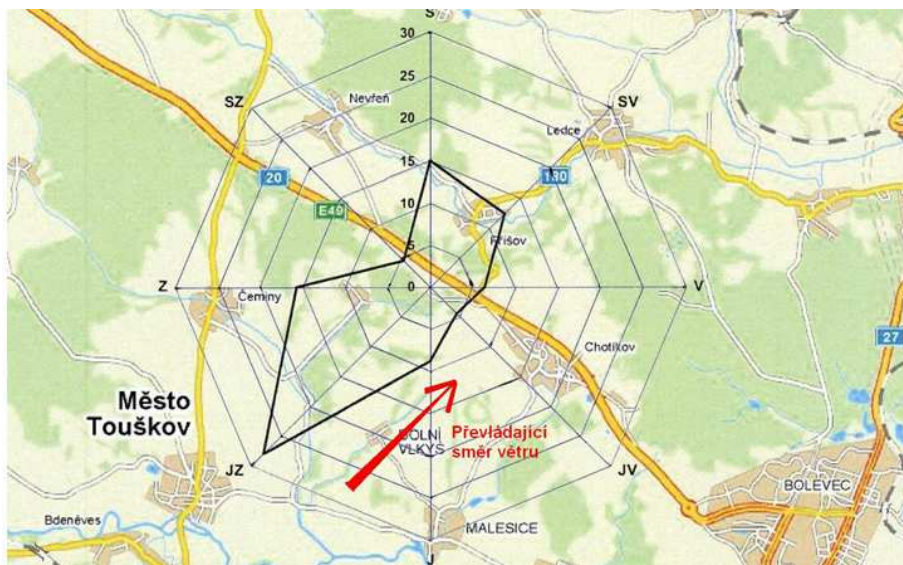
Provedení takovýchto jednotek ovšem neumožňuje jen rychlý start, ale také rychlou změnu (regulaci) výkonu. Malé rozměry zde zaručují malou mechanickou i tepelnou setrvačnost. Sama řídicí jednotka mění, resp. snižuje výkon motoru, pokud klesá dodávka množství plynu, nebo klesá obsah metanu. Podle dosavadních zkušeností obsluhy to však není příliš často zapotřebí a jednotka dodává téměř nepřetržitě 100% výkon. Protože provozovateli pokles výkonu nevadí (neklesá výrazně ani účinnost, ani se neztrácí plyn) bylo by možné jednotku řídit podle potřeb provozovatele distribuční sítě.

Těchto vlastností by se dalo například využít pro spolupráci jednotky s jinými zdroji obnovitelné el. energie. Výkon ostatních obnovitelných zdrojů není buď vůbec predikovatelný (fotovoltaické elektrárny, větrné elektrárny) a nebo není bezeztrátově říditelný (malé vodní elektrárny). Spolupráce s vodní elektrárnou nepřipadá z mnoha důvodů v úvahu u většiny bioplynových stanic, a proto se jí nebudu dále věnovat.

Právě skutečnost, že výkon BPS je dobře a bezeztrátově říditelný by mohla vést k vytvoření celků, resp. dvojic s jedním neříditelným zdrojem a bioplynovou jednotkou.

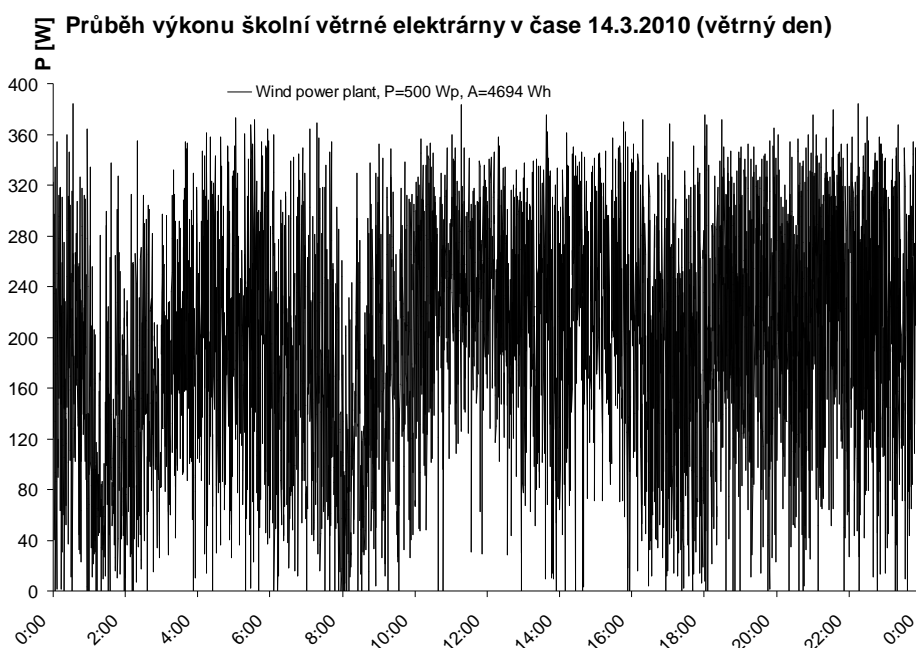
8.1 Spolupráce s větrnou elektrárnou

Protože na území skládky plánuje provozovatel výstavbu spalovny odpadu, byla provedena také studie převládajícího směru a síly větru.



Obrázek 19.: Větrná růžice – skládka Chotíkov [17]

Pro instalaci větrné elektrárny nejsou vhodné podmínky nejen na území skládky, ale ani nikde jinde v dosahu vedení PM Křimice – keramika.



Obrázek 20.: Graf - Výkon školní VE 14.3.2011

Výkon větrných elektráren se mění téměř okamžitě se změnou síly větru. Jak ukazuje obr. 20, mohou být změny skutečně velmi rychlé. Graf jsem sestavil z údajů naměřených na malé větrné elektrárně umístěné na střeše fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni vzdálené cca

10 km od skládky. Ani řídicí jednotka bioplynové stanice by pravděpodobně nestačila reagovat na tak rychlé změny výkonu. Z těchto dvou důvodů spolupráci s větrnou elektrárnou vylučuji.

8.2 Spolupráce s fotovoltaickou elektrárnou

Území rekultivovaných skládek je obvykle vhodné pro instalaci fotovoltaických panelů. Výhody spočívají především v absenci vegetačního krytu (tím odpadá i stín), existenci oplocení, noční hlídání, dostupnost el. linky. Nejinak je tomu i v případě Chotíkova. Rekultivovaná plocha staré skládky a uzavřené kazety K1 tvoří zhruba 48 tisíc metrů čtverečních. Plocha je pro instalaci FV panelů dostatečně pevná. Velkou výhodou je jihozápadní sklon plochy. I po odečtení okrajů a zastíněných prostor je zde dostatek místa pro instalaci fotovoltaické elektrárny s výkonem až několik MW.

Druhá lokalita vhodná pro umístění pole fotovoltaických panelů spolupracujících s bioplynovou stanicí Chotíkov je mezi městskými částmi Radčice a Malesice. Zemědělská společnost pěstující zelí zde opustila rozsáhlou rovinu, také nakloněnou jihozápadním směrem. Vedení 22kV prochází přímo nad tímto územím, vzdáleným necelé čtyři kilometry od skládky. V přílohách, na str. P4 je v mapě síť místo označeno modrou šipkou.

8.2.1 Průběh výkonu na FVE

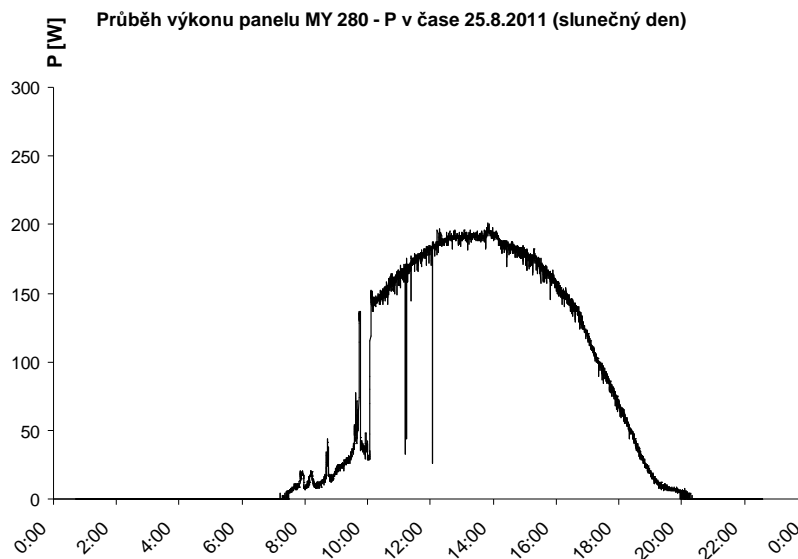
Obdobné grafy časového průběhu výkonu, jako pro větrnou elektrárnu jsem sestavil i pro elektrárnu fotovoltaickou. Pro teoretickou výstavbu elektrárny na skládce Chotíkov jsem se rozhodl pro použití moderních polykrystalických článků. Jako vhodný jsem vybral panel MY 280 – P. Velkou výhodou těchto panelů je jejich nízká cena při dobrém výkonu a dlouhé životnosti. Navíc polykrystalický panel je schopen vyrábět elektřinu i v tzv. částečně difuzním osvětlení.

Základní vlastnosti MY 280 – P[18]:

- Jmenovitý výkon (P_{max}) – 280 W
- Rozměry – 1956 x 992 x 50 mm
- Plocha na 1 kW výkonu – cca 7 m²
- Hmotnost – 27 kg
- Účinnost buněk – 15,98 %
- Účinnost modulu – 14,43 %

- Jmenovité napětí (V_{mp}) – 34,9
- Jmenovitý proud (I_{mp}) – 8,02 A
- Napětí naprázdno (V_{oc}) – 43,9 V
- Proud nakrátko (I_{sc}) – 8.82 A

Vybral jsem několik časových průběhů výkonu pro tyto fotovoltaické panely. Vycházel jsem z údajů naměřených na experimentálním školním panelu tohoto typu, umístěném na střeše fakulty elektrotechnické. Hodnoty v grafech jsou hodnoty výkonu za střídačem. Nejprve jsem vybral průběh pro 25.8.2011 (obr. 21). Z pohledu využitelného slunečního záření se jednalo o velmi slunečný, letní den s malými výkyvy. Z obrázku je jasně vidět, že se v průběhu dne výkon fotovoltaické elektrárny výrazně mění. Tyto změny mohou působit na distribuční síť rušivě. Ale narozdíl od elektrárny větrné, nedochází v tomto případě k žádným extrémně rychlým výkyvům výkonu. Navíc je možné rozložení výkonu alespoň přibližně odhadnout – je jisté, že výkon bude nulový v noci a maximální kolem poledne. Díky tomu také můžeme odhadnout množství roční vyrobené energie na jednotku instalovaného výkonu. Běžně se udává hodnota 760 kWh/rok/kWp.



Obrázek 21.: *Graf – Výkon školního panelu MY 280 – P 25.8.2011*

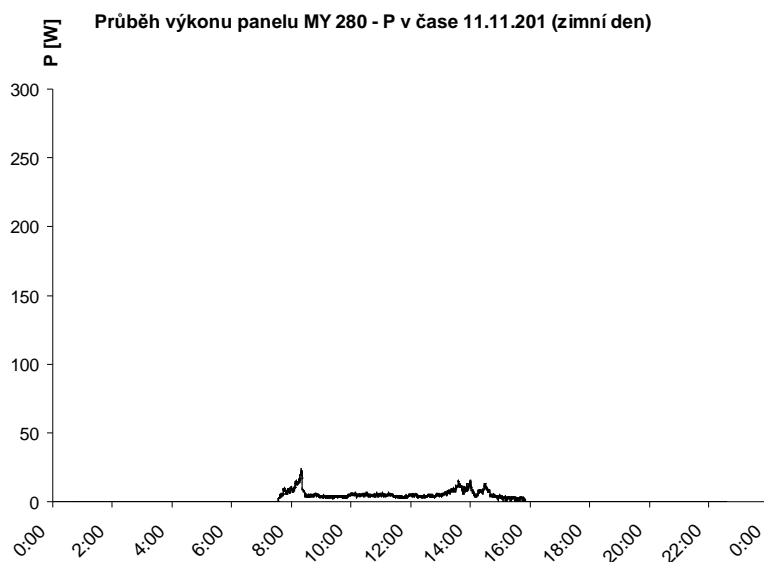
Jako den s většími výkyvy výkonu, tedy proměnlivý den, jsem zvolil podzimní den 19.10.2010. Na grafu (obr. 22) je dobře vidět dvě oblasti s výrazným kolísáním výkonu, způsobené oblačností.



Obrázek 22.: *Graf – Výkon školního panelu MY 280 – P 19.10.2010*

V zimních měsících se jednak zkracuje celková doba, kdy sluneční záření dopadá, zhoršuje se úhel dopadajícího záření vůči rovině panelů, a jednak také vlivem počasí klesá

množství přijaté energie. Tyto faktory mají vliv na celkový pokles výkonu fotovoltaické elektrárny. Typický zimní průběh můžete vidět na obr. 23.

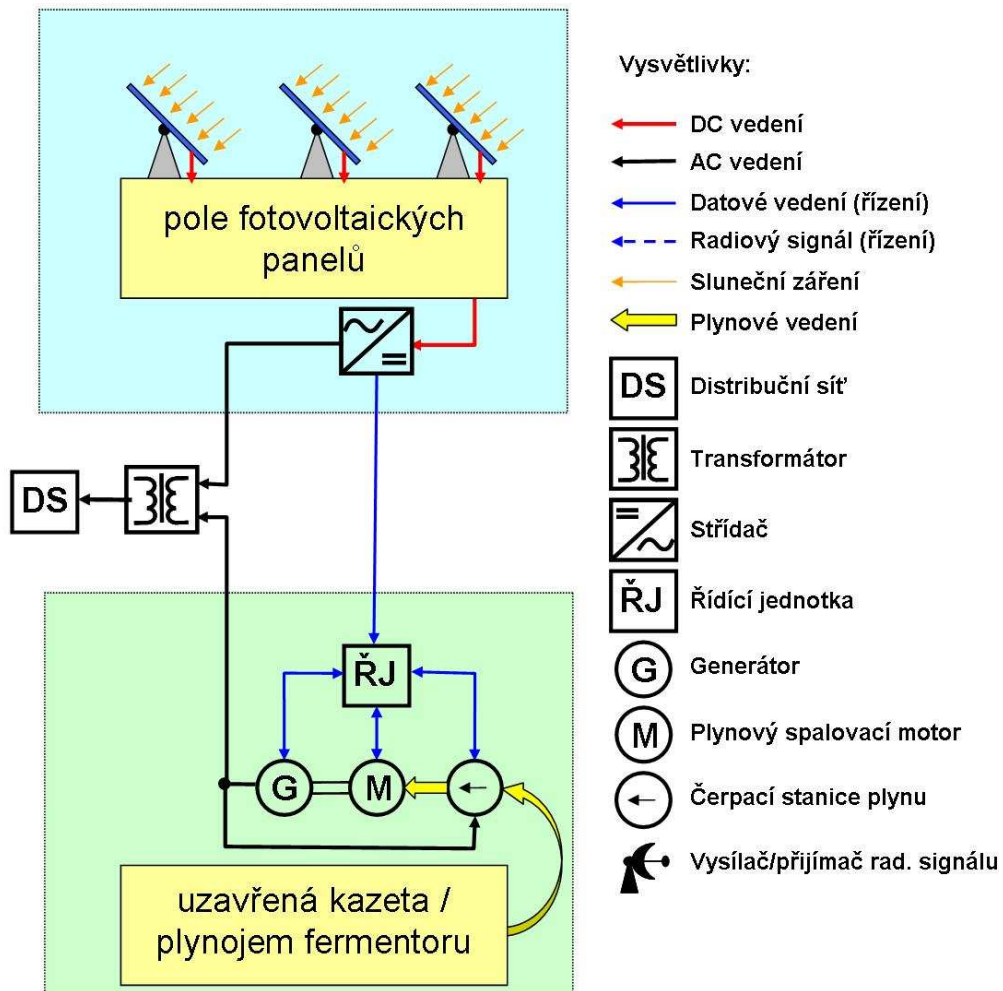


Obrázek 23.: Graf – Výkon školního panelu MY 280 – P 11.11.2011

Jak ukazuje obr. 24, pokud by na území skládky byla postavena fotovoltaická elektrárna (modré pozadí) se špičkovým výkonem na stejné úrovni jako je výkon skládkové jednotky (zelené pozadí), mohly by obě elektrárny spolupracovat. Oba dva zdroje by mohly být zapojeny přímo do společného předávacího místa a dokonce do stejné trafostanice. Při stejném výkonu obou jednotek by pak v předávacím místě mohl být ideálně trvale výkon zhruba 105–120% výkonu jedné jednotky. Tento výkon by byl ve slunečných hodinách hrazen v poměru 100% FVE a 10% Bioplyn, při zatažené obloze a v noci by bioplynová jednotka hradila veškerý výkon sama. Toto několika hodinové přetížení nad jmenovitý výkon (až do úrovně 130%) jednotku nemůže ohrozit. Je důležité zachovat pokud možno nepřetržitý provoz spalovacího motoru (alespoň na úrovni zhruba 10–20%). Jedním důvodem je stabilita synchronního stroje při nízkém výkonu spalovacího motoru a druhým důvodem je obtížnost automatického startování motoru. Oproti tomu relativně rychlá změna – zvýšení výkonu (mrak) ze zmiňovaných 10-ti % až na 120 % nepředstavuje technicky složitý problém.

Z obrázku je patrné, že ze střídače s kontinuálním měřením výkonu by bylo vedeno datové (signální) vedení do řídicí jednotky bioplynové elektrárny. Ani pro střídač ani pro řídicí jednotku to neznamená žádné rozsáhlé úpravy. V praxi by pak s minimálním zpožděním

(max. v horizontu minuty) na každý úbytek resp. nárůst výkonu fotovoltaické elektrárny reagovala řídicí jednotka bioplynové stanice nejprve zvýšením, resp. snížením výkonu čerpací stanice a posléze konfigurací motoru na novou výkonovou hladinu.

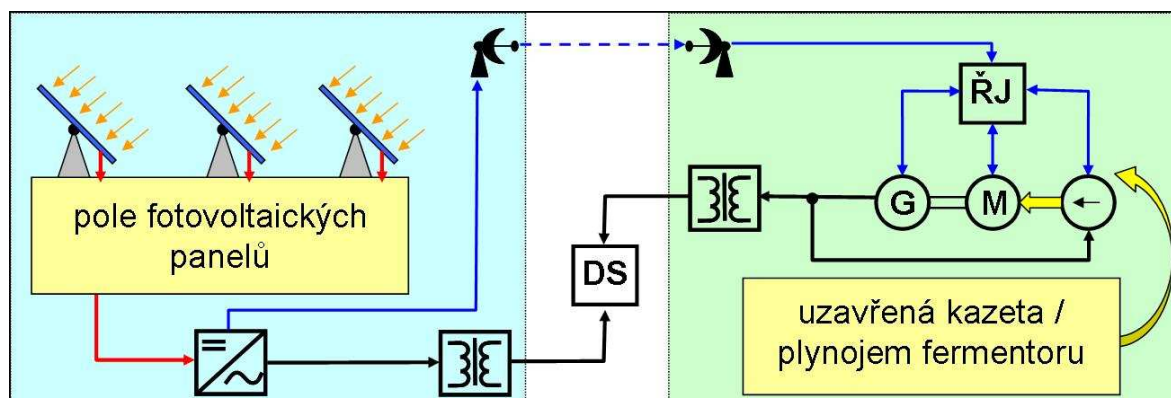


Obrázek 24.: *Spolupráce elektráren se společným předávacím místem*

Obrázek 25 představuje situaci, kdy oba zdroje spolupracují ve stejné distribuční soustavě ale buď nejsou v jedné lokalitě, nebo je jejich výkon vyveden samostatně. Princip funkce je zcela stejný, řídicí signál může být přenášen například vzduchem, pomocí radiových vln.

Zcela stejně by mohla skládková jednotka vyrovnávat poměry v síti, pokud by totožným způsobem (jako na obr. 25) byla bioplynová stanice spojena místo s FVE s nějakou zátěží. Tato zátěž by opět musela být vybavena kontinuálním měřením příkonu (inteligentní elektroměr) a s rostoucím příkonem by skládka tento výkon dodávala (princip Smart Grids).

Jediným rozdílem je, že výkon zátěže je nutné vnímat jako záporný. Toto zapojení má smysl pouze pokud jsou oba spojované celky blízko sebe, zejména v distribuční síti s nízkým zkratovým výkonem, například na koncích linek, nebo v místech, kde se neplánovaně rychle zvýší odběr a výstavba sítě zaostává.



Obrázek 25.: Spolupráce elektráren se samostatnými předávacími místy

8.2.2 Možnosti regulace spojených zdrojů

Pro výstavbu sluneční elektrárny s maximálním výkonem stejným jako bioplynová stanice skládky by bylo zapotřebí 430 panelů typu MY 280 – P. Rekultivovaná část skládky poskytuje dostatek místa. Panely by bylo nutné umístit na stojany (volil bych dřevěné konstrukce), spojit kabely a elektrárnu bych vybavil jedním centrálním střídačem.

Na základě dat získaných z těchto panelů instalovaných na střeše fakulty elektrotechnické ZČU v Plzni, jsem postupně navrhl a pomocí počítače simuloval pět základních systémů regulace a vyhodnotil jejich vlastnosti. Cílem bylo najít, jakým způsobem by stávající bioplynová jednotka STKO Chotíkov mohla svým výkonem reagovat na měnící se výkon sluneční elektrárny, tak aby byl jejich společný (součtový) výkon co nejstabilnější. Absolutní velikost tohoto výkonu je dána přetížitelností motoru. Bylo zapotřebí dodržet mnohá technologická a technická omezení, zejména:

- Udržení výkonu generátoru bioplynové jednotky nad 10% jmenovitého výkonu
- Udržení výkonu generátoru bioplynové jednotky pod 130% jmenovitého výkonu
- Výrazně nezměnit množství spáleného plynu za 24 hodin
- Respektovat omezení rychlosti změny výkonu v čase (skoková změna)

- Respektovat reakční dobu řídicí jednotky a motoru (minimum 30 s)
- Vytvořit regulaci co nejjednodušší na řídicí prvky
- Snížit objem dat v signálu na minimum
- Maximálně využít stroje (maximální zisk z prodeje elektřiny)

Pro jednotlivé systémy řízení jsem sledoval nejen graficky znázorněný průběh celkového výkonu, ale také jsem počítal několik zásadních ukazatelů, vyplývajících z předchozích omezení. Pro každou metodu řízení jsem sledoval maximální a minimální denní výkon motoru (vyjádřen v procentech), průměrný součtový výkon (BIO+FVE), a rozdíl mezi maximálním a minimálním součtovým výkonem a rozptyl součtového výkonu Var (P).

Aby bylo možné odezvu motoru optimalizovat, požadoval jsem od simulace možnost měnit některé veličiny. Jednalo se o:

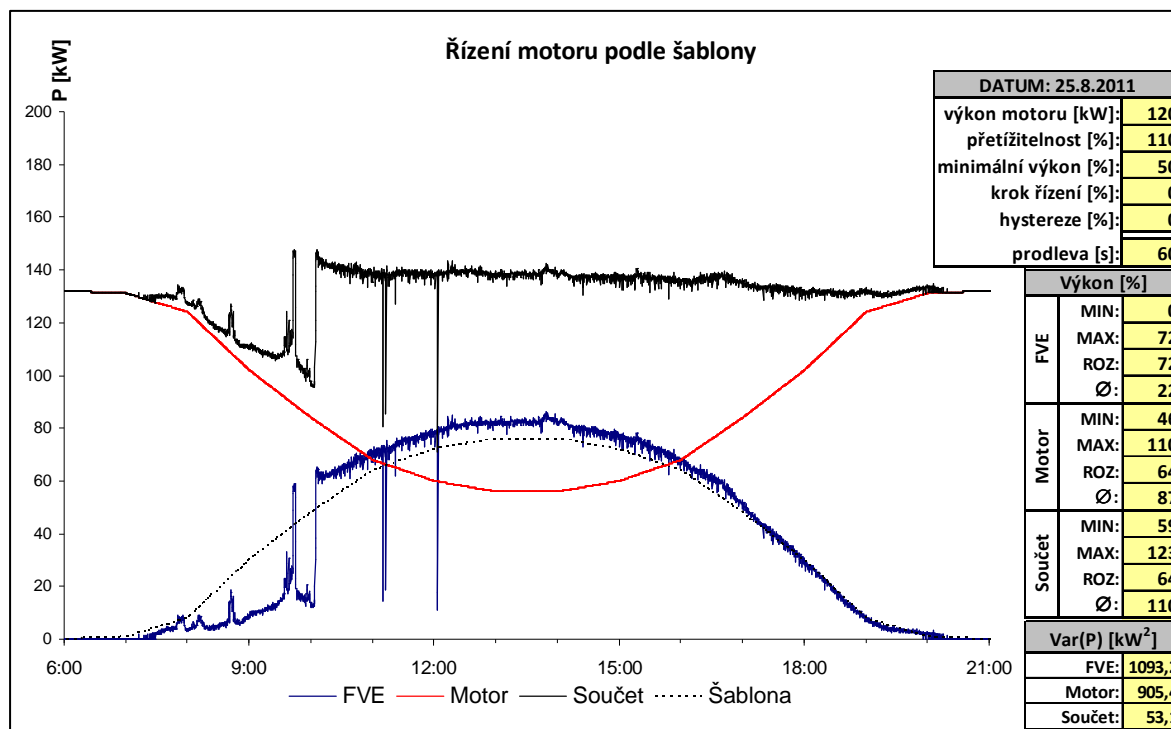
- Jmenovitý výkon motoru (v případě konkrétní skládky je tato hodnota neměnná – Chotíkov =120 kW),
- Přetížitelnost resp. maximální výkon, který může motor dlouhodobě dodávat (v procentech)
- Dobu odezvy motoru (prodlení mezi signálem a reakcí motoru)
- Regulační krok pro komparativní řízení (viz níže)
- Volně nastavitelný předpokládaný průběh pro řízení šablonou (viz níže)

8.2.2.1 Řízení motoru podle šablony

Podle předem známých charakteristik pro daný článek a lokalitu by bylo možné vytvořit teoretický, ideální časový průběh výkonu fotovoltaické elektrárny. Jednalo by se o jakousi tabulku, kde by pro každý okamžik během dne byl zapsán očekávaný výkon panelů. Těchto průběhů – šablon by bylo zapotřebí několik. Minimálně letní a zimní. Řídicí jednotka bioplynové stanice by poté řídila motor podle inverzní charakteristiky, tak aby součet obou výkonů zůstal konstantní.

Abych mohl účinnost a úspěšnost takového řízení vyhodnotit, sestavil jsem matematický model a vytvořil „letní“ šablonu podle charakteristik použitého typu článku. Nyní není nutné vůbec přenášet signál z FVE k řídicí jednotce, ani ho vyhodnocovat. To znamená, že zde nedochází ani k žádnému zpoždění reakce motoru. Motor plynule a zvolna

mění výkon. Aby byl maximálně využit potenciál plynu, je nutné nastavit přetížitelnost motoru až na 125 %. Minimální výkon je omezen přímo šablonou.



Obrázek 26.: Řízení podle šablony

Ve slunečných dnech je výsledný výkon velmi dobře stabilizován. S každou odchylkou od předpokládaného výkonu stabilita klesá. V případě dnů s proměnou sluneční aktivitou (obr. 22) je výsledný výkon velmi špatně stabilizován. Pokud by například došlo k poruše a úplnému odpojení FVE, nebo výpadku části článků, řídicí jednotky samozřejmě zcela zbytečně sníží výkon motoru podle předpokládané šablony.

Výhody:

- Nepřenáší se žádná data, opadá vyhodnocování
- Systém řízení nepotřebuje paměťovou jednotku
- Pomalé a plynulé změny výkonu motoru

Nevýhody:

- Schopnost reagovat jen na standardní typy průběhů
- Potřeba vytvořit sadu šablon

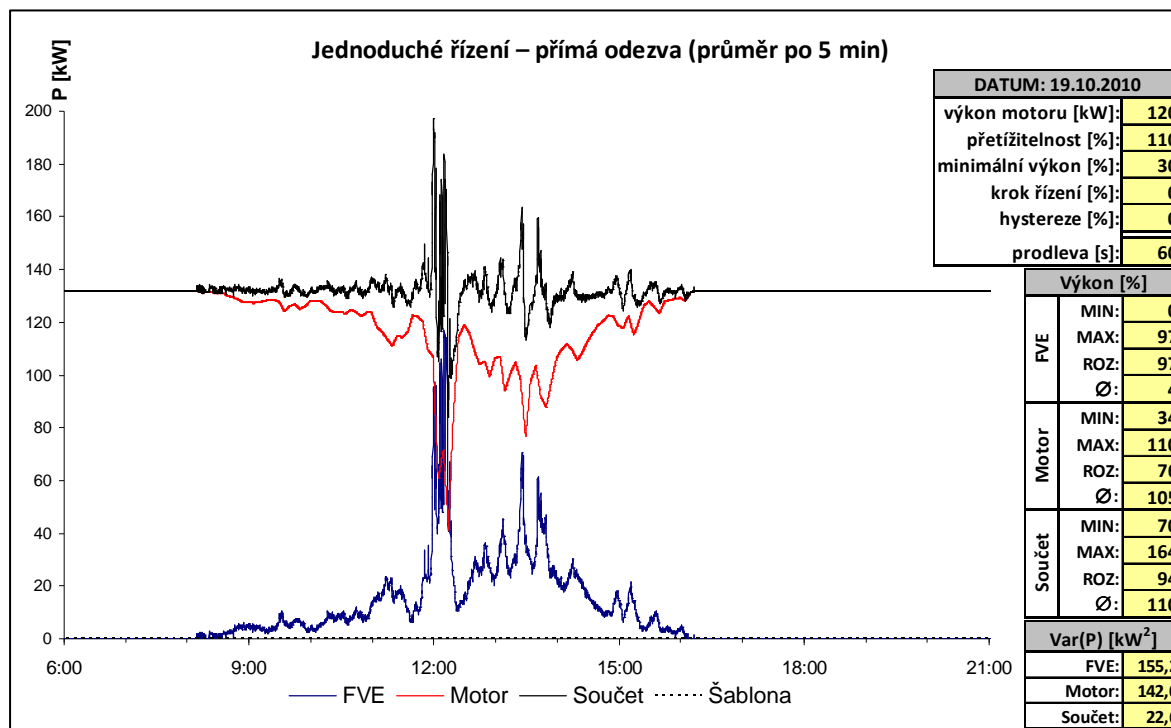
8.2.2.2

Jednoduché řízení – přímá odezva

Při tomto způsobu řízení odesílá střídač vždy po určité době průměrný výkon FVE. Řídící jednotka motoru signál zachytí. Jednotka musí být vybavena modulem schopným dopočítat požadovaný výkon motoru do celkového součtu. Vyšle ihned motoru signál k provedení inverzní změny výkonu. Motor na tento signál zareaguje (s určitou prodlevou). Postupně jsem se zabýval variantami, kdy je hodnota průměrného výkonu vypočtena a odeslána vždy po 1 minutě, 5 minutách a 10 minutách. Ukázalo se, že vzhledem k rychlosti s jakou se může výkon FVE změnit, nemá už zkrácení prodlevy reakce motoru výrazný vliv. Proto jsem se držel reálného prodlení 60s. Množství vyrobené energie při zachování dobrých parametrů celkového výkonu je pro všechny varianty regulace nejvyšší při přetížitelnosti motoru 110 %.

Při použití údajů jak z dnů s proměnlivým, tak i stabilním osluněním se potvrdilo, že je pro stabilitu součtového výkonu nejvýhodnější varianta s průměrováním po minutě. Při velmi dobré výsledné stabilitě je možné nastavit minimální výkon motoru až na 70%, optimálních výsledků jsem dosáhl při nastavení na 50%. Tato varianta ale vyžaduje velké množství přenesených dat, častou změnu výkonu motoru a možnost velkých skoků ve výkonu motoru.

Velmi dobrých výsledků se také podařilo dosáhnout při průměrování po pěti minutách a dokonce i po deseti minutách. V obou případech je dosaženo nejlepších výsledků, když je spodní hranice výkonu motoru nastavena na 50 %. Prodloužením intervalu vyhodnocování průměru se výrazně sníží nároky na přenos informací a změny výkonu motoru. Z těchto důvodů bych doporučil průměrování s delším krokem.



Obrázek 27.: Jednoduché řízení – přímá odezva

Výhody:

- Dobrá stabilizace celkového výkonu
- Schopnost reagovat na všechny typy průběhů
- Systém řízení nepotřebuje paměťovou jednotku

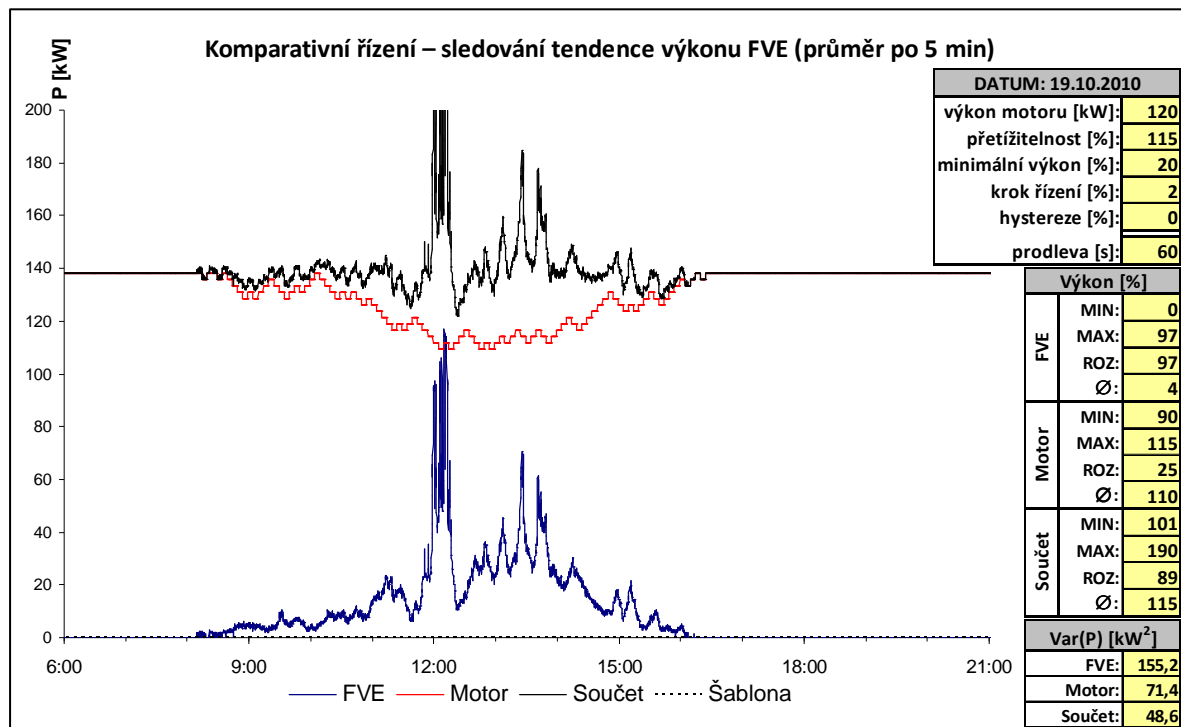
Nevýhody:

- Velké množství přenášených dat
- Rychlé a velké změny výkonu motoru

8.2.2.3 Komparativní řízení – sledování tendence výkonu FVE

Práce střídače a charakter ani četnost odeslaných dat se nemění. Řídící jednotka data opět zachycuje, ale porovnává s předchozí přijatou informací. Pokud je předchozí průměrný výkon nižší, tedy výkon FVE se zvyšuje, dojde ke snížení výkonu motoru o předem nastavený krok. Obráceně pokud se výkon FVE snížil, motor o stejný krok jako v předchozím případě svůj výkon zvýší. Pokud se výkon FVE nezměnil, nebo pokud bylo dosaženo spodní či horní hranice výkonu ke změně nedojde. Opět jsem zkusil variantu s průměrováním a odesíláním výkonu FVE po jedné, pěti a deseti minutách. Zpoždění reakce motoru opět 60 s.

Tímto způsobem řízení není možno docílit takové stability jako způsobem předchozím. Nejvhodnější vyšla varianta s průměrováním po pěti minutách. Minimální výkon není nutné nastavit, maximální jsem nastavil opět na 110 %. Pro různé průběhy (dny s různou sluneční aktivitou) se nejvíce osvědčil krok 1 % jmenovitého výkonu.



Obrázek 28.: Komparativní řízení – sledování tendence výkonu

Výhody:

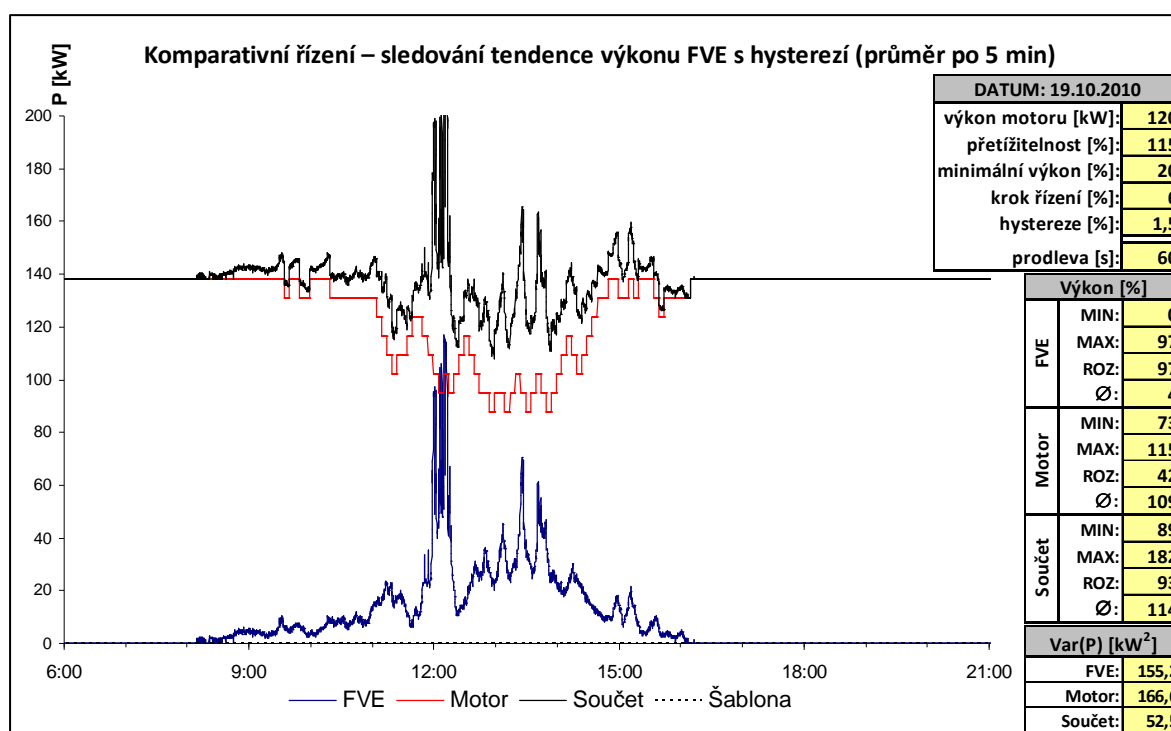
- Schopnost reagovat na všechny typy průběhů
- Pomalé změny výkonu
- Výkon motoru neklesá pod 50 %
- Bez velkých skoků ve výkonu motoru

Nevýhody:

- Menší stabilizace celkového výkonu
- Systém řízení potřebuje paměťovou jednotku
- Velké množství přenášených dat

8.2.2.4 Komparativní řízení – sledování tendence výkonu FVE s hysterezí

Tento systém řízení je v principu shodný jako předchozí. Rozdíl spočívá v tom, že jednotka zareaguje na rozdíl v předchozím a právě přijatém výkonu FVE až když tento rozdíl dosáhne určité velikosti. Tuto hysterezi je opět možno libovolně nastavit. Zabýval jsem se pouze variantou s průměrováním po pěti minutách. Systém má obdobné vlastnosti jako předchozí ale je šetrnější k motoru (ještě pomalejší změny) a bohužel dosahuje horší stability součtového výkonu.

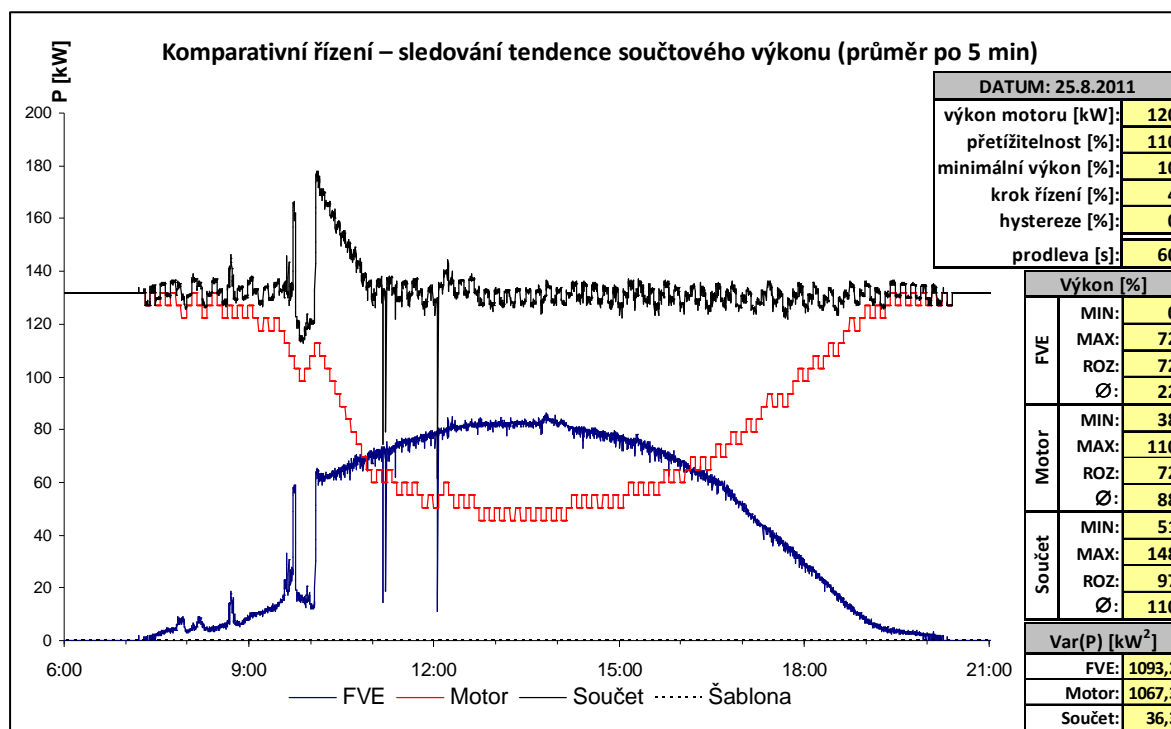


Obrázek 29.: Komparativní řízení – sledování tendence výkonu s hysterezí

8.2.2.5 Komparativní řízení – sledování tendence součtového výkonu

Při tomto způsobu řízení opět dochází k přenosu signálu obsahujícího informaci o průměrném výkonu FVE za posledních 5 minut. Řídící jednotka provede součet hodnoty z příchozího signálu se stávajícím výkonem motoru a tuto hodnotu porovná s požadovaným součtovým výkonem (udán jmenovitým výkonem motoru a přetížitelností). A adekvátně zvýší nebo sníží výkon motoru o nastavený krok, aby se požadovanému součtu přiblížila.

Přetížitelnost motoru jsem opět nechal na 110-ti procentech a zpoždění reakce motoru opět 60 s. Při tomto řízení se jako ideální krok ukázala hodnota 1 % z jmenovitého výkonu, výkon motoru nemusí klesat pod 50 %.



Obrázek 30.: Komparativní řízení – sledování tendence součtu

Tímto řešením se dá docílit velmi stabilního součtového výkonu. Navíc motor není vystaven velkým skokům a výkon se mění jen pomalu.

Výhody:

- Dobrá stabilizace celkového výkonu
- Schopnost reagovat na všechny typy průběhů
- Pomalé změny výkonu
- Výkon motoru neklesá pod 50 %
- Bez velkých skoků ve výkonu motoru

Nevýhody:

- Systém řízení potřebuje paměťovou jednotku
- Složitější zpracování signálu
- Velké množství přenášených dat

8.2.3 Model spolupráce jednotky s fotovoltaickou elektrárnou

Abych ověřil reálné vlastnosti těchto spojených zdrojů na energetickou distribuční soustavu, vytvořil jsem opět model v programu E-vlivy. Na základě údajů získaných z provozní dokumentace provozovatele distribuční soustavy, do které je jednotka připojena (ČEZ) a technické dokumentace provozovatele jednotky (Plzeňská teplárenská), byl nejprve namodelován současný stav a nastaveny parametry všech vedení, zátěží a napájecího uzlu. K modelové soustavě byla posléze připojena i bioplynová jednotka spolu s vlastní spotřebou – motorem vývěvy, se všemi skutečnými parametry podle dokumentace provozovatele.

Do stejného uzlu jsem připojil také výše navrženou fotovoltaickou elektrárnu. Postupně jsem měnil výkony obou zdrojů a sledoval vliv na síť. V příloze P3 je vyobrazena konfigurace celého modelu sítě. Pokusil jsem se vyhodnotit následující ukazatele vlivu spojených zdrojů na síť:

- Flickr
- Zvýšení napětí vlivem připojení/odpojení obou zdrojů i celku ve všech uzlech
- Útlum signálu HDO
- Průběhy napětí, proudů a výkonů v celé síti

Ve všech těchto ukazatelích je spojení obou zdrojů v souladu s podmínkami připojitelnosti. Nedochozí k žádnému negativnímu ovlivnění sítě a spojení neklade žádné zvláštní nároky na přípojně místo. Do sítě je dodávána kvalitní, ekologicky šetrná energie.

9 ZÁVĚR

Přínosem práce je rozbor provozu skutečných bioplynových stanic a analýza příčin výpadku provozu. Díky tomu jsem mohl provést optimalizaci spolupráce jednotky se sítí a navrhnout spolupráci s dalšími zdroji. Vytvořil jsem model umožňující ověření různých konfigurací sítě a zdrojů. Tento model dokazuje připojitelnost a účelnost spolupráce bioplynové jednotky a fotovoltaické elektrárny.

Hlavním problémem při provozu bioplynových jednotek není nedostatek, nebo nízká kvalita plynu, jak se často domníváme. Rozbor skutečných příčin poruchy ukázal, že naprostou většinu odstavení z provozu způsobí elektrické ochrany. Výměnou za ochrany dvoustupňové a vhodnějším nastavením bychom z bioplynových stanic získali spolehlivý a ekologicky čistý zdroj.

Jednotky by poté mohly nejen dodávat kvalitní ekologickou energii, ale také se zapojit do řízení sítě. Vhodná spolupráce se nabízí zejména s fotovoltaickými elektrárnami, které nemohou dodávat výkon vyrovnaný v čase. Spoluprací těchto dvou celků lze získat celkový výkon mnohem stabilnější, s menším rozptylem. Tato spolupráce je plně realizovatelná i při přihlédnutí ke všem skutečným vlastnostem obou zdrojů. Spojením nedochází k žádným ztrátám ve výrobě, ani nedochází k poškození bioplynové jednotky. Jako nejvhodnější způsob řízení navrhuji (s přihlédnutím ke všem okolnostem) komparativní řízení se sledováním tendence součtového výkonu, jako vhodný kompromis.

Model tohoto spojení dvou malých zdrojů elektrické energie, který jsem vytvořil v programu E-vlivy, dokazuje, že nedochází žádným způsobem k rušení sítě a spojení je ve všech stavech plně v souladu s podmínkami připojitelnosti. Neklade žádné zvýšené požadavky na předávací místo.

V budoucnu bude třeba vytvořit legislativní podmínky motivující nejen provozovatele malých zdrojů, ale i provozovatele distribučních soustav k většímu zapojení těchto zdrojů do regulace. Jednoduchým nástrojem by mohla být například výkupní cena odvozená od spolehlivosti dodávky.

10 LITERATURA

- [1] Murtinger, K., Beranovský, J.: Energie z Biomasy. Era, Brno, 2006
ISBN: 80-7366-071-7
- [2] Sedlák, J., Vaněk, F.: Využívání OZE pro výrobu elektřiny ve Skupině ČEZ.
In: Energetika 2/2006. ČSZE, Brno, 2006, s. 54-56. ISSN: 0375-8842
- [3] Ptáček, J., Modlitba, P.: Rizika provozu energetických sítí a soustav s velkým
podílem větrných elektráren. In: Energetika 10/2005. ČSZE, Brno, 2006,
s. 312-315. ISSN: 0375-8842
- [4] Provozní dokumentace společnosti ČEZ [cit 2011-10-20]
- [5] Procházka, K., Dušek, R., Kysnar, F.: Parametry kvality elektřiny v NN
sítích s vysokým zastoupením rozptýlené výroby, Konference ČK CIRED
2011, ISBN 978-80-905014-0-9
- [6] Kysnar, F., Procházka, K.: Negativní dopad připojovaných OZE na DS,
nápravná opatření, Konference ČK CIRED 2010, ISBN 978-80-254-8519-4
- [7] Schulz, H., Eder, B.: Bioplyn v praxi. HEL, Ostrava, 2004
ISBN: 80-86167-21-6
- [8] www.mze.cz [cit. 2010-03-02]
- [9] www.plzensky.denik.cz [cit. 2010-03-02]
- [10] www.cezdistribuce.cz [cit. 2010-01-23]
- [11] www.plzenskateplarenska.cz [cit. 2010-03-02]
- [12] www.bioplyn.cz [cit. 2010-01-23]
- [13] www.motorgas.cz [cit. 2010-03-02]
- [14] www.mpo-efekt.cz/ [cit. 2010-05-15]
- [15] www.eru.cz [cit. 2010-03-02]
- [16] www.env.cz [cit. 2010-01-07]
- [17] www.spalovnachotikov.cz [cit. 2010-05-15]
- [18] www.rdk-solar.cz [cit.2011-12-20]
- [19] www.biom.cz [cit.2009-7-20]

11 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P1 – Parametry motoru jednotky STKO Chotíkov

Příloha P2 – Mapa sítě Křimice – Chotíkov

Příloha P3 – Vzhled modelu sítě

Plynové motory MAN Nutzfahrzeuge AG

hlavní technické parametry

specifikace pro kogeneraci, trvalý provoz, $n = 1500 \text{ min}^{-1}$

Typ motoru MAN E2876 TE302 BIO-plyn	
Způsob spalování:	Chudá směs
Počet válců a uspořádání:	6 v řadě
Vrtání x zdvih mm:	128 x 166
Zdvihový objem dm^3 :	12,820
Kompresní poměr:	12 : 1
Způsob plnění válců:	přeplňovaný
Chlazení stlačené směsi:	není
Čistý kont. výkon motoru na hřídeli podle ISO 3046/1	
(stabilita otáček v ustáleném stavu při konst. výkonu $\pm 0,25\%$) kWm:	130
Výkon přetížitelný o 10% po dobu 1 hod. / 12 hod. provozu kWm: ne	
Střední efektivní tlak na píst MPa:	0,812
Střední pístová rychlost m.s^{-1} :	8,30
Moment setrvačnosti setrvačníku kgm^2 :	2,412
Směr otáčení (pohled od setrvačníku):	levotočivý
Skříň setrvačníku – příruba generátoru:	SAE 1
Setrvačník podle SAE pro dimenzování spojky palců:	14 (nebo 11,5)
Počet zubů věnce setrvačníku:	160
SYSTEM PŘÍVODU VZDUCHU	
Průtok spalovacího vzduchu hmotnostní kg.h^{-1} :	576
Objemový průtok spalovacího vzduchu, 25°C, 100 kPa, $\text{m}^3.\text{h}^{-1}$:	490
Max.odpor vzduchu do motoru, zanesená filtr.vložka kPa :	1,5

