



MOŽNOSTI ROZVOJE VÝROBY TEPLA A ELEKTŘINY VYUŽITÍM BIOMASY V REGIONECH A MĚSTECH ČR

autoři: Prof. Ing. Zbyněk Ibler DrSc.
Ing. Zbyněk Ibler

1	Úvod	3
2	Biomasa.....	7
3	Využití biomasy.....	10
4	Vlastnosti biomasy jako paliva	11
	4.1 Obsah vody	11
	4.2 Obsah popela v biomase	12
	4.3 Výhřevnost a hustota biomasy	12
	4.4 Prvkový rozbor biomasy	15
	4.5 Prchavá hořlavina	16
	4.6 Zdroje energetické biomasy v ČR	16
5	Spalování biomasy.....	21
	5.1 Kombinované spalování paliv	25
	5.2 Výpočty produkce emisí	26
	5.2.1 Emise tuhých částic	26
	5.2.2 Emise SO₂	27
	5.2.3 Emise CO₂	27
	5.2.4 Emise NO_x a CO	27
6	Výtopny a teplárny (kogenerace).....	29
	6.1 Připojování malých zdrojů do sítí distribučních energet. společností	32
7	Zplyňování biomasy.....	32
	7.1 Zpracování odpadu zplyňováním (pyrolýzou)	33
8	Biochemická přeměna biomasy	34
9	Hospodárnost a technickohospodářské ukazatele při využití biomasy pro výrobu tepla a elektřiny	36
	9.1 Ukazatele pro kotle a turbíny	37
	9.2 Hospodárné rozdělení výkonů paralelně pracujících energetických jednotek v soustavě	40
10	Spolehlivost výroby tepla a elektřiny	42
11	Technickoekonomická efektivnost.....	43
	11.1 Kritéria technickoekonomické efektivnosti	45
12	Energetický potenciál biomasy v ČR.....	47
13	Některé poznatky s provozem výroben, využívajících biomasu.....	50

13.1	Hartmanice.....	50
13.2	Bystřice nad Pernštejnem.....	51
13.3	Žlutice	52
13.4	Třebívlice	53
13.5	Teplárna na skládkový plyn.....	53
13.6	Přídavné spalování biomasy	54
14	Využití biomasy ve středně velkých teplárnách	54
14.1	Teplárna Altenstadt – Horní Bavorsko, Německo	54
14.2	Závodní elektrárna Gütersloh, Německo	57
14.3	Největší elektrárna na spalování biomasy, 25 [MW] BEC Cuijk-j jižní Holandsko.....	58
15	Závěr a doporučení.....	60
16	Literatura.....	64

Předkládaná studie byla zadána Českou energetickou agenturou, s cílem přispět k podpoře využití biomasy v ČR pro výrobu elektřiny a tepla. Realizace využití biomasy k tomuto účelu zasahuje do několika oborů (lesnictví, zemědělství, elektroenergetika, strojírenství, chemie, automatizace a řízení technologických procesů, ekologie, ekonomie a další). I když využití biomasy se může pohybovat v energetice státu jen v několika procentech, jsou zřejmě v rozsahu kvalifikačních nároků řešitelů a realizátorů požadavky větší než u tradiční uhelné energetiky. Při aplikaci uplatnění biomasy musí být využity základní disciplíny zemědělství, lesnictví, plynárenství, matematice, fyziky, chemie, ekonomie a využití praktických zkušeností v těchto oborech. Cílem studie je umožnit uživatelům komplexní základní informace o důležitých parametrech paliva a jeho získávání, primárních médií, oběhů, charakteristikách zařízení, doporučených metodách a hodnotách vybraných veličin, potřebných pro optimální řízení provozu zařízení s biomasou včetně rozhodování o údržbě.

Třeba si uvědomit, že biomasa ať odpadová či cíleně pěstovaná je stejně jako uhlí nebo plyn důležitým primárním zdrojem energie, se kterým musí být velmi racionálně nakládáno, jak při jeho zajišťování a pěstování, tak i jeho hospodárném využitím.

Autoři: Prof. Ing. Zbyněk Ibler, DrSc
Ing. Zbyněk Ibler

Recenzenti: Doc. Ing. Karel Brož, CSc
Ing. M. Kloz, CSc

Děkujeme pracovníkům výzkumných ústavů, provozovatelům a dalším odborníkům zabývajícím se využitím biomasy, České energetické agentuře, recenzentům za jejich pomoc při zpracování této studie a za jejich cenné připomínky.

1 Úvod

Jedním ze základních činitelů v ekonomickém a sociálním vývoji lidstva je vytváření a využití zdrojů energie. Do poloviny 19. století používalo lidstvo pouze energii lidské síly, tažné síly zvířat, energii vody nebo energii vyvinutou pálením dřeva apod. Zdroje pro tuto energii vznikly v historicky krátkém období bezprostředně před jejich použitím. Později, když se začala energie získávat z uhlí, ropy a zemního plynu, jaderného paliva, nastoupilo lidstvo cestu uvolňování energie ze zdrojů vzniklých před desítkami a stovkami milionů let.

Se zvyšujícím se počtem obyvatelstva v posledních tisíciletích se zvyšovala spotřeba energie, rozvojem nových technologií a užitím fosilních paliv došlo v minulém století k nejvyššímu nárůstu. Lze předvídat, že nárůst spotřeby energie bude perspektivně dále pokračovat nejen v průmyslově vyspělých zemích, ale dojde i ke zvyšování spotřeby energie v rozvojových zemích (v současné době je asi 80 [%] světové spotřeby energie využíváno 30 [%] obyvatel ve vyspělých zemích).

Energetika v současné době prochází obdobím velkých změn. Zaváděním trhu s energií ve většině průmyslových států vyžaduje zajištění dostatku energie pro udržení požadovaného růstu a pokroku. Technická a ekonomická kritéria jsou prvořadá, uplatňují se ve volbě technologie zdroje, ekonomická kritéria se stávají prvořadými. Zvyšují se nároky na ochranu životního prostředí. Řada problémů se znečištěním životního prostředí toxickými látkami z energetických výroben byla z části vyřešena, do popředí se dostává hrozba skleníkového efektu, k čemuž významnou měrou přispívá CO₂ a další plyny (metan, oxidy dusíku, freony, ozón, termoemise).

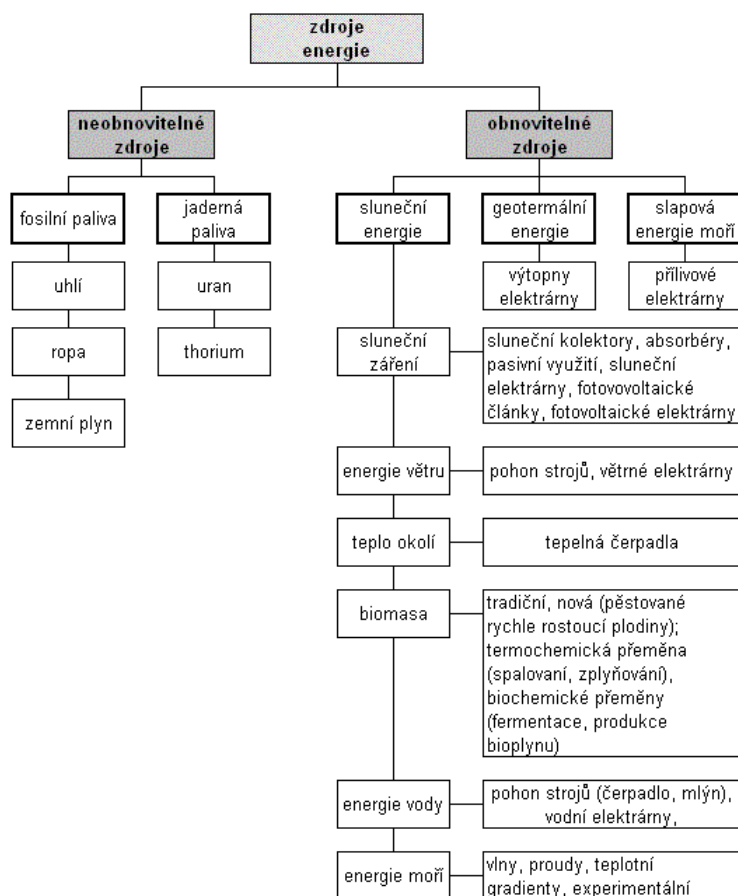
Lidstvo si začíná stále více uvědomovat, že tradiční zdroje primární energie již nepostačují a často z hlediska životního prostředí nevyhovují rychlému rozvoji spotřeby energie (jejich zásoby klesají). Situace vyžaduje rasantněji rozvíjet a využívat obnovitelné zdroje.

Jedním z vážných ekonomických problémů je vysoká energetická náročnost v ČR, která způsobuje vyšší spotřebu energie, zvyšuje náklady na dodávky elektřiny, tepla a nadměrně zatěžuje životní prostředí. V podmínkách volného trhu musí být u nových technologií (včetně obnovitelných zdrojů energie (OZE) a alternativních zdrojů) splněny zpřísněné požadavky na ochranu životního prostředí.

V obr. 1.1 je uveden přehled členění zdrojů energie neobnovitelné, obnovitelné a energie hmoty.

Dosáhnout v ČR úrovně energetické náročnosti zemí EU není možné bez dalšího rozvoje kombinované výroby elektřiny a tepla, která je významným prostředkem pro snížení energetické náročnosti české ekonomiky i snižování dopadů energetiky na životní prostředí.

Z ostatních primárních energetických zdrojů je třeba zintenzívnit využití OZE, které je možné v ČR reálně aplikovat a zvýšit podíl těchto zdrojů v celkové bilanci. Většina alternativních zdrojů jsou zdroje (malého výkonu) poměrně nízké hustoty a v některých případech vyžadují koncentrování a uchování energie. Je potřebné urychlit vývoj obnovitelných zdrojů a jejich nasazení jako nové výrobní kapacity při dodržení energetické politiky podporující udržitelný rozvoj. Při posuzování OZE je třeba rozlišovat, jak se které zdroje do bilance zahrnují. Vyhláška MPO č. 214/2001 Sb. vymezuje zdroje, které budou hodnoceny jako obnovitelné ve vztahu na poskytování dotací.



Obr. 1.1 Neobnovitelné a obnovitelné zdroje energie

Pro výrobu elektřiny

- Ø vodní energie v zařízeních do 10 [MW_e]
- Ø sluneční energie
- Ø větrná energie
- Ø biomasa v zařízeních do 5 [MW_e]

Pro výrobu tepla

- Ø sluneční energie
- Ø geotermální energie
- Ø biomasa v zařízeních do 20 [MW_t]
- Ø bioplyn
- Ø (palivové články)

ČR, která leží v oblasti pramenů a horního povodí řek nemá zvláště příznivé podmínky pro využití vodní energie. Vodní elektrárny vybudované na řekách s velmi kolísavými průtoky vody a malými spády, vykazují nízké roční využití. Podle statistických údajů vyplývá, že dosud je využíváno zhruba 75 [%] vodní energie. To představuje do budoucna potenciální rezervu pro doplňkovou výrobu elektrické energie. Značný počet míst pro stavbu malých vodních elektráren leží v chráněných krajinných oblastech. Nejčtenějším typem jsou i pro budoucnost malé vodní elektrárny průtočné, derivační. Oblast návrhových parametrů je pokryta základními typy turbín, obvykle používaných v malých vodních elektrárnách (Pelton, Francis, Kaplan, Bánki, aplikace čerpadel ve funkci vodních turbín) v různých modifikacích. Odhaduje se, že je možné ještě vybudovat několik set malých vodních elektráren.

V ČR jsou méně příznivé podmínky pro využívání energie větru. Na většině území je průměrná rychlost větru nižší než 4 [m/s], což je nejnižší hranice pro hospodárné užití pro větrné elektrárny. Uvádí se, že ekonomicky využívat větrnou energii lze tam, kde bude roční produkce alespoň 800 [kWh/m²], což znamená, že střední rychlost větru ve výšce 10 [m] nad zemí musí být vyšší než 4,5 [m/s], ve výšce 30 [m] přibližně 5,7 [m/s]. Odhaduje se, že do roku 2010 by mělo být v ČR postaveno cca 600 [MW] instalovaného výkonu ve větrných elektrárnách.

Do obnovitelných zdrojů se zařazuje biomasa, kterou lze použít přímo jako palivo pro výrobu tepla, pro výrobu bioplynu a dřevoplynu, pro výrobu kapalných paliv. Odpady jsou ukládány na skládky, část recyklována, část spalovaná. Skládkový plyn ze skládek odpadu lze využívat pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Stále více se rozšiřuje pěstování rostlin pro energetické účely, včetně rychle rostoucích dřevin (osazování bývalých složišť popela a důlních výsypek, využívání nadbytečné zemědělské půdy).

Zdrojem většiny obnovitelných energií je sluneční záření, které je využíváno buď okamžitě v primární podobě elektromagnetického záření, nebo později, vyzářené již dříve a určitým způsobem po jeho přeměně uložené v jiný druh energie. Střední teplota povrchu Slunce je 5712 [K]. Země je vzdálena od Slunce 150 milionů km. Při této vzdálenosti je intenzita ozáření 1,353 [kW/m²] (solární konstanta).

Energii vyzařovanou sluncem lze využívat pasivně i aktivně. Použití fotovoltaických článků patří k aktivnímu využití slunce a patří k velmi perspektivním zdrojům energie. Využití solární energie se v současné době zajišťuje dvěma směry

- Ø výroba autonomních elektrických spotřebičů využívajících jak přímou solární energii, tak i energii akumulovanou v lokálních akumulátorech (není třeba připojení na elektrickou síť),
- Ø spojení solárního systému jako doplněk k současné distribuční elektrické síti.

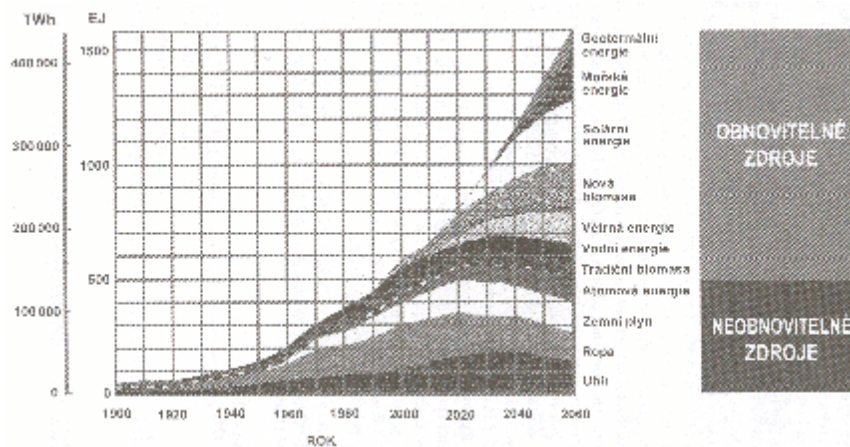
Do této oblasti OZE patří sluneční kolektory, které mohou mít různou formu (teplovzdušné, kapalinové, kolektory s Fresnelovými čočkami, vakuové kolektory). Tyto zdroje mají významné regionální a lokální uplatnění.

Využití geotermální energie je omezeno na příznivé lokality země, kde horký tok magma vystupuje blíže k povrchu země, zvyšuje se teplota, což umožňuje využití geotermální energie hlubinnými vrty. Takovéto lokality se ve světě vyskytují vzácně, při dosahování vyšších teplot je možné v některých případech zajistit výrobu elektřiny přímo parou z podzemních zásobníků nebo použít systém s uvolňovací páry (z horké vody).

Izočáry tepelného toku z nitra země v ČR jsou v mezích 30 až 110 [mW/m²], což jsou hodnoty nedostatečné pro výrobu elektřiny z geotermální energie., umožňují však ve vhodných lokalitách využít teplou vodu k vytápění.

K oblasti systémů OZE se někdy zařazují z alternativních zdrojů i mikrokogenerace (plynové mikroturbíny) a palivové články, tedy technologie, které nepatří mezi obnovitelné zdroje. Patří pouze k technologiím, které mohou využívat obnovitelné zdroje, ale pouze v případě, že zdrojem energie je bioplyn.

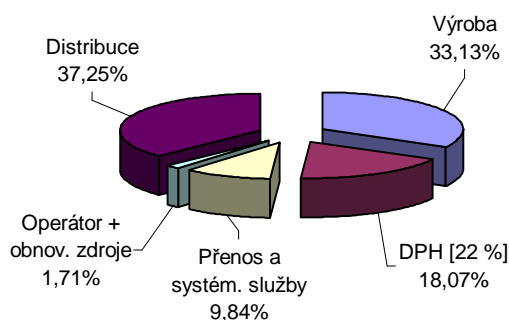
Je třeba zintenzívnit využití obnovitelných a alternativních zdrojů a zvýšit podíl těchto zdrojů v celkové bilanci energie státu. Lze předpokládat, že ČR bude v této problematice dodržovat světový trend, který lze odvozovat z následujícího grafu na obr. 1.2, kde jsou uvedeny orientační hodnoty celosvětové spotřeby a podíly jednotlivých druhů primární energie. Podíl velkých elektrárenských bloků na výrobě elektřiny bude klesat ve prospěch kogeneračních jednotek a obnovitelných zdrojů s menšími výkony.



Obr. 1.2 Odhad růstu celosvětové spotřeby energie

Při nasazení těchto zdrojů musí být pečlivě řešena konstrukce i z hlediska minimalizace vlivu provozu těchto zařízení na životní prostředí (např. emise při spalování a zplyňování biomasy a další). Nasazování těchto zdrojů bude z hlediska vztahů mezi podnebím a uvolňováním energie civilizační činností přispívat k lepšímu rozmístování zdrojů tak, aby okolní prostředí umožňovalo lépe absorbovat uvolněné teplo menšího výkonu. Vhodné geografické rozmístování zdrojů menšího výkonu může přispět k zajištění rovnoměrnější koncentrace uvolňované energie. Jako ekologický přínos OZE se udává [1], že 1 [kWh] získaná přeměnou sluneční energie umožní omezit nejméně 5 [g] prachu, 27 [g] SO₂, 4,2 [g] NO_x a 2 [kWh] termoemisí.

K podpoře těchto opatření směřují perspektivní tendence decentralizace zdrojů, které umožní redukovat současnou vysokou centralizaci výroby, přenosu a rozvodu elektrické energie (tepla) výstavbou menších obnovitelných zdrojů (včetně kogenerace). Liberalizace trhu s elektřinou přinesla průhledné účtování nákladů na elektřinu, ze kterého jsou u dnešních centralizovaných systémů odděleně vyčísleny náklady na výrobu elektřiny, přenos, distribuci včetně ztrát a další služby, potřebné pro dodávku elektřiny konečnému spotřebiteli. Na ceně elektřiny [Kč/MWh] se výroba podílí jen cca jednou třetinou, 2/3 nákladů tvoří přenos, distribuce a DPH, viz. obr. 1.3.



Obr. 1.3 Podíly cen elektřiny pro jednotlivé složky vazeb mezi elektrárnou a částí ES

Lze očekávat, že takováto řešení kombinace centrálního systému s decentralizovanými místními zdroji (umístěnými co nejbližší místu spotřeby) umožní přispět k řešení problematiky vyšších výrobních nákladů OZE.

Řešení kombinace centrálního systému s decentralizovanými místními zdroji budou významným opatřením

- Ø pro snížení rizika destabilizujících útoků ze strany globálního terorismu,
- Ø zvýšení využití obnovitelných zdrojů,

- Ø snížení závislosti na dovozu ušlechtilých paliv,
- Ø zajištění lepšího geografického rozmístování zdrojů pro rovnoměrnější místní koncentrace,
- Ø vytváření nových pracovních míst,
- Ø rozvoj regionů vedoucí k větší sociální a ekonomické soudržnosti.

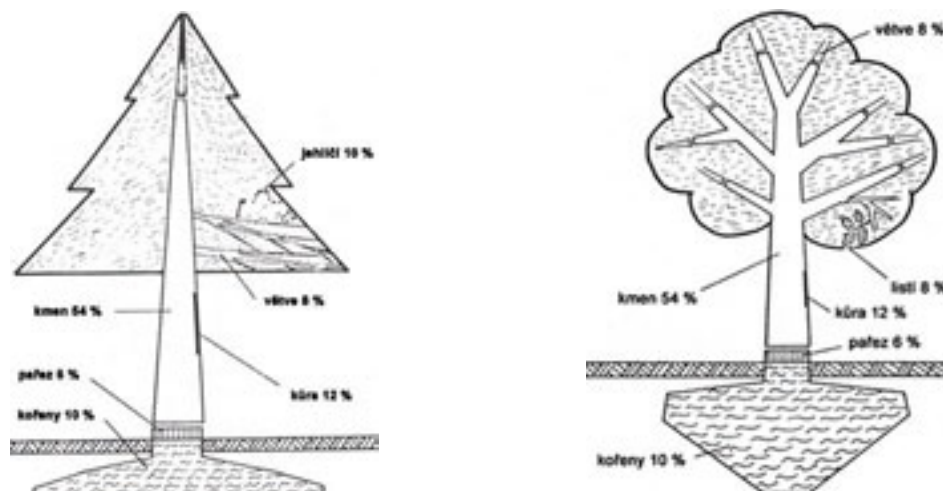
2 Biomasa

Skutečným zdrojem většiny obnovitelných energetických zdrojů je sluneční záření. Asi 0,1 [%] slunečního záření, dopadajícího na zem je přeměněno v chemickou energii rostlin.

Biomasa je substance biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu pěstovanou v půdě a ve vodě, živočišnou biomasu, produkci organického původu a organické odpady (biomasa se tedy člení na fytomasu, což je hmota pouze rostlinného původu a biomasu, která v sobě zahrnuje i hmotu živočišného původu, např. kejda hospodářských zvířat apod.). Při výběru rostlin pro pěstování pro energetické účely rozhodují kromě agrotechnických hledisek i jejich vlastnosti, které ovlivní hospodárnost využití biomasy. Je to výnos a výhřevnost rostliny (tzv. energetický výnos v [GJ/ha] a výsledné náklady na biomasu [Kč/t], případně teplo v biomase obsažené [Kč/GJ]).

V podmínkách ČR jde především o využití biomasy z těchto zdrojů:

- Ø dřevní odpady (dřevní štěpky, piliny, hobliny, kůra, větve, pařezy) (viz obr. 2.1),
- Ø nedřevní fytomasa (zelená biomasa, sláma obilní, řepková, rychle rostoucí energetické plodiny – nová biomasa),
- Ø průmyslové a komunální odpady rostlinného původu (papírenské odpady aj.),
- Ø kejda a chleviská mrva pro produkci a využití bioplynu, kapalná biopaliva, kaly z čistíren odpadních vod, bioplyn ze skládek odpadů,
- Ø průmyslové a komunální odpady rostlinného původu,
- Ø tříděné komunální odpady.



Obr. 2.1 Podíl složek biomasy stromů - a) jehličnaté stromy, b) listnaté stromy

Biomasa se tedy získává využitím odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby (včetně údržby a péče o krajinu), z komunálního hospodářství nebo může být záměrně vyráběná pěstováním energetických dřevin a rostlin.

Informace o průměrném složení některých látek biomasy a tříděného komunálního odpadu (TKO) udává tabulka 1 (orientační hodnoty).

Tab. 2.1 Průměrné složení biomasy a TKO

<i>Složení látek</i>	<i>dřevní štěpky</i>	<i>sláma</i>	<i>nedřevní biomasa</i>	<i>TKO</i>
voda	50	12	12	27,92
popel	0,4	4	4	10,56
uhlík	26	44	43,7	30,70
vodík	3	4	4,8	4,00
kyslík	20,3	34,7	34,3	25,81
dusík	0,05	0,9	0,32	0,72
síra	0,25	0,2	0,25	0,24
chlór	0	0,2	0,13	0,05
výhřevnost [MJ/kg]	8,04	14	18	9,40
hustota [kg/m ³]	110	130	150	150,00

Pod pojmem nedřevní biomasa se rozumí zelená biomasa, sláma řepková, různé druhy rostlin.

Pro záměrné získávání biomasy výrobní činností se prosazuje pěstování energetických a rychle rostoucích rostlin. U těchto pěstovaných rostlin se požaduje vysoká produkce nadzemní hmoty. Podle mnohaletých výzkumných prací [2] u nás bylo prokázáno, že je možné úspěšně pěstovat energetické rostliny i na devastované půdě z důlních činností a složišť popele elektráren a tak přispět intenzivní zelení ke zlepšení bilance CO₂ v ovzduší. Příkladem jsou výsledky uvedené v části 4.6.

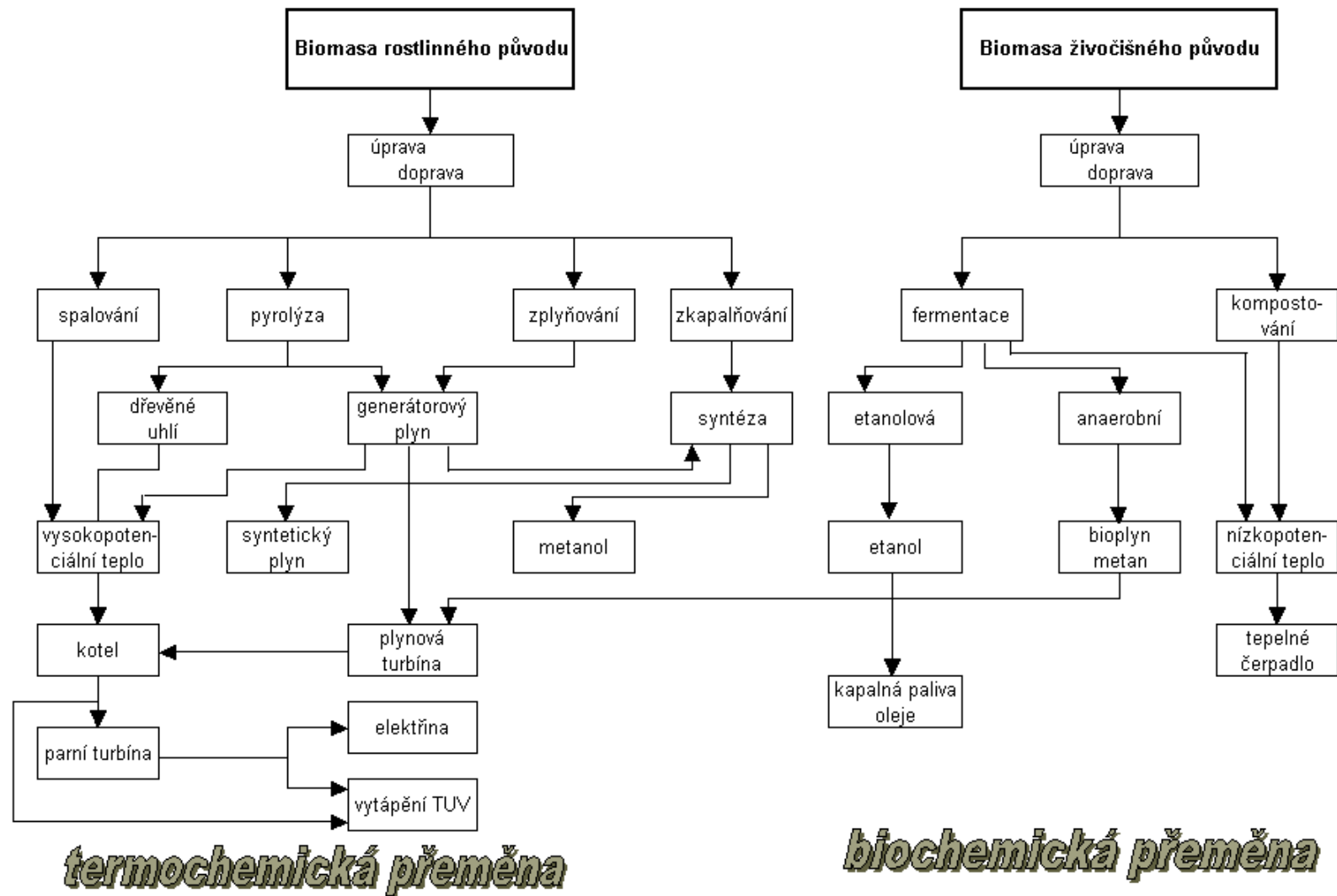
V podmínkách ČR lze rovněž zakládat plantáže rychle rostoucích dřevin např. topolů, vrb, olší, akátů a další stromové a keřovité dřeviny.

Pro výrobu bionafty lze cíleně pěstovat olejnaté plodiny (řepka olejka, slunečnice a další) a pro výrobu bioetanolu škrobnaté plodiny (obilí, brambory, cukrová řepa aj.).

Využití biomasy se člení do několika skupin. Energii z biomasy lze získat termochemickou nebo biochemickou přeměnou. Podle tohoto rozdělení se uplatňují dvě základní technologie zpracování biomasy: suché procesy (termochemická přeměna), kam patří spalování, zplyňování a mokré procesy (biochemická přeměna), kde fermentace zajišťuje produkci etanolu a anaerobní vyhnívání produkci bioplynu.

Zvláštní skupinu tvoří lisování olejů a jejich následná úprava.

V obr. 2.2 jsou zjednodušeně znázorněny nejdůležitější možné technologie využití biomasy (biomasa může být zpracováním přeměněna na zdroje energie v pevné, plynné i kapalné formě).



Obr. 2.2 Technologie pro využití biomasy

3 Využití biomasy

Hlavní výhodou využití biomasy v energetice je její nevyčerpatelnost (obnovitelnost) jako zdroje energie (na rozdíl od fosilních paliv). Očekává se, že v budoucnu nahradí významnou část neobnovitelných klasických zdrojů energie. Odhaduje se, že roční celosvětová produkce energeticky využitelné biomasy by převyšovala svým energetickým potenciálem roční objem světové produkce ropy a zemního plynu.

Dosud existují i určité nedostatky, které neumožňují rychlejší rozšíření využití biomasy v energetice, kam lze zařadit problémy se zajištěním dlouhodobé spolehlivé dodávky biomasy (včetně zpracování, sezónnost, skladování), dosud poměrně nízká účinnost a malý výkon zařízení pro energetické využití biomasy, neukončený vývoj některých zařízení pro dopravu a zpracování biomasy, cena biomasy aj.). Podíl uplatnění biomasy na celkové spotřebě energie je dosud velmi malý.

K otázce obnovitelnosti třeba poznamenat, že biomasa je obnovitelným zdrojem, ale pro praktické aplikace tohoto zdroje třeba počítat i s dalšími podmínkami (rozmístění zdrojů, sezónnost aj.).

Z celosvětového hlediska je max. využití zdrojů biomasy k energetickým účelům problematické z důvodů rozmístování zdrojů biomasy a energetických spotřebičů (i obtíže s transportem a distribucí získané energie). Avšak i v podmínkách ČR může být využití a použití biomasy k energetickým účelům limitováno při produkci a použití biomasy. Produkce nové biomasy na orné půdě pro energetické účely konkuruje dalším způsobům využití biomasy (potravinářskému průmyslu, zemědělství, surovin pro průmyslové účely). Zajištění dostatečného množství energetické biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy a zvyšovat intenzitu výroby. ČR je v rozvoji využití biomasy dosud na nízké úrovni v energetice, pro další rasantní rozvoj výroby elektřiny a tepla z biomasy je třeba vycházet z perspektivních plánů, které analyzují potenciál pro optimální výrobu a využití biomasy pro nejbližší a perspektivní časové úseky. Tento program by měl být začleněn do státní energetické politiky.

Z hlediska ochrany životního prostředí je použití biomasy příznivé. Obsah škodlivin ve spalínách je dán specifickým obsahem chemických prvků v hořlavině. Biomasa se považuje za neutrální palivo, CO_2 (skleníkový plyn) se sice při spalování uvolňuje, ale přibližně stejné množství CO_2 je fotosyntézou při růstu biomasy z atmosféry spotřebováno. Prakticky zanedbatelný nebo jen malý je obsah síry, stopy jsou ve slámě asi 0,1 [%] a minimum popela. Obsah dusíku je 0,1 až 0,5 [%], tvorbu NO_x lze řídit při spalování. Při spalování a zplyňování biomasy musí být věnována pozornost i složení emisí z hlediska polychlorovaných dibenzodioxinů a dibenzofuranů a v konstrukci spalovacích zařízení a úpravou spalovacích režimů předcházet případným možnostem jejich výskytu.

Využití biomasy (jako obnovitelného zdroje) podporuje současné a perspektivní tendence decentralizace zdrojů, které umožní redukovat současnou vysokou centralizaci výroby, přenosu a rozvodu elektrické energie (tepla) výstavbou menších obnovitelných zdrojů (včetně kogenerace). Snižování vysokých nákladů za přenos, distribuci elektřiny a omezení ztrát může do určité míry pokrývat obvykle vyšší náklady obnovitelných zdrojů. Takováto řešení kombinace centrálního systému s decentralizovanými místními zdroji (umístěnými co nejbližší místu spotřeby) budou i významným opatřením pro snížení rizika destabilizujících útoků ze strany globálního terorismu. Využitím biomasy pro výrobu tepla a elektřiny se vytvářejí další příznivé faktory, které jak již uvedeno snižují dovoz ušlechtilých paliv, zlepšují bilanci CO_2 v ovzduší, využívají devastované půdy a přebytek zemědělské půdy, vytváření nových pracovních míst a přispívají ke zlepšení ekologie a ekonomie regionů.

4 Vlastnosti biomasy jako paliva

Využití biomasy jako paliva, která patří mezi tuhá paliva, je určeno fyzikálními a chemickými vlastnostmi použité biomasy. Konstrukce a provedení spalovacích zařízení i dalších zařízení pro energetické využití musí vycházet z těchto vlastností. Podobně jako u běžných druhů paliv jsou i u paliv z biomasy ukazateli kvality paliva zejména obsah vody, chemické složení hořlaviny paliva, obsah popela, obsah prchavé hořlaviny a výhřevnost paliva.

4.1 Obsah vody

V dřevozpracujícím průmyslu se používá jiné vyjadřování obsahu vody proti běžné energetické praxi. V dřevozpracujícím průmyslu se obsah vody v dřevní hmotě určuje podle vztahu

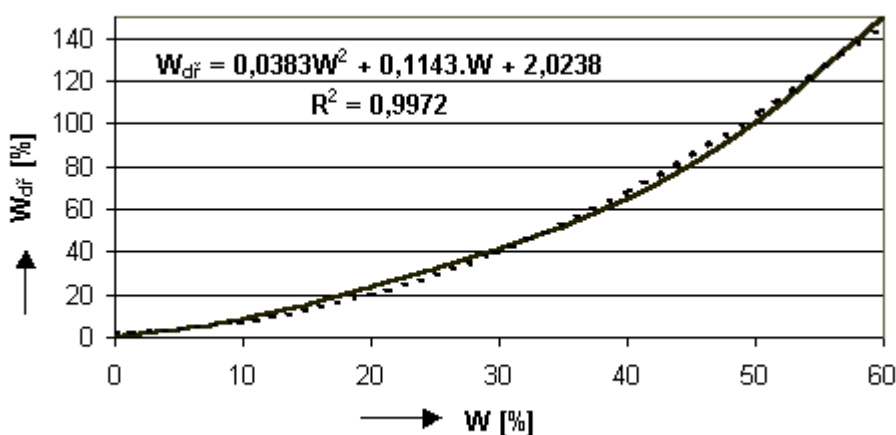
$$W_{\text{dř}} = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100 = \frac{\Delta W}{m_2} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde m_1 [kg] je hmotnost vzorku surové dřevní hmoty, m_2 [kg] hmotnost vzorku pro vysušení, ΔW [kg] úbytek hmotnosti vzorku vlivem vysušení [kg].

V energetice se vyjadřuje obsah vody vztahem

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100 = \frac{\Delta W}{m_1} \cdot 100 \quad [\%]$$

Z výše uvedených vztahů vyplývá, že dle energetických zvyklostí pro $W = 50$ [%] odpovídá v dřevařské praxi obsah vody $W_{\text{dř}} = 100$ [%]. Pro vzájemné porovnání obsahu vody mezi oběma metodami lze orientačně použít obr. 4.1.



Obr. 4.1 Porovnání vyjadřování obsahu vody energetického a dřevařského

V další části bude obsah vody biomasy W [%] vyjadřován dle energetické praxe.

$$\frac{Q_{n1} + r \cdot W_1^r}{1 - W_1^r} = \frac{Q_{n2} + r \cdot W_2^r}{1 - W_2^r}$$

Vychází ze vztahu

kde je výparné teplo $r = 583 \cdot 4,1868 = 2441$ [kJ/kg_{H₂O}] (pro vztažnou teplotu 25 [°C]), Q_n [kJ/kg] výhřevnost, W^r [%] obsah vody původního stavu, index 1 původní vlhkost, 2 po vysušení.

Biomasa má obvykle vysoký a proměnný obsah vody. Voda v biomase snižuje využitelné teplo. Vlhkost paliva snižuje účinnost spalovacího zařízení (zvýšené množství spalin s vlivem na komínovou ztrátu). Ke spalování je většinou potřebné sušení biomasy.

Pro značné kolísání vody v biomase (obsah vlhkosti v palivovém dřevu se pohybuje v rozsahu 20 až 60 [%]) je výhodné uvádět některé ukazatele biomasy vztahované na suchou hmotu (sušinu) a podle potřeby je přepočítat na skutečný vlhký vztah. Pro tento přepočet lze použít vztahu

$$Q_n = Q_n^d \cdot (1 - W) - 2,453 \cdot W \quad [\text{MJ/kg}]$$

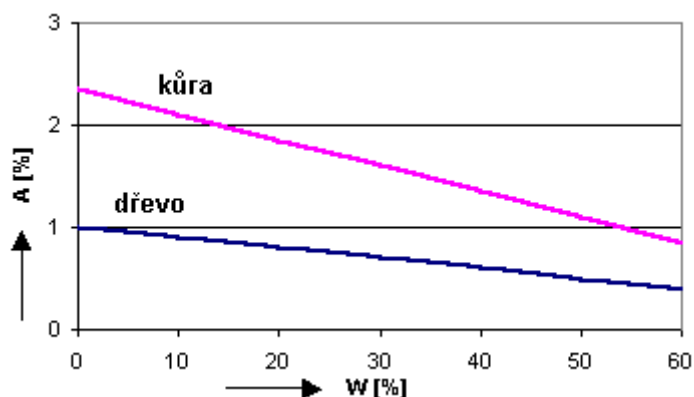
pro přepočet množství $m_v = m_s / (1 - W) \quad [\text{kg}]$

pro přepočet hustoty $\rho_v = \rho_s / (1 - W) \quad [\text{kg/m}^3]$

kde je Q_n [MJ/kg] výhřevnost ve spalovaném stavu; Q_n^d [MJ/kg] výhřevnost pro sušinu; W [kg/kg] obsah vody; m_v , m_s [kg] hmotnost vlhké, suché hmoty; ρ_v , ρ_s [kg/m³] hustota vlhké, suché biomasy.

4.2 Obsah popela v biomase

Obsah popela v biomase je velmi nízký, viz. tab.2.1 a tab.2.2. Obsah popela v kůře je vyšší než u dřeva (kůra zachycuje z ovzduší mechanické nečistoty a další se do kůry dostávají při přibližování kmenů během těžby). Nižší obsah popela snižuje emise pevných částic popílku. V obrázku 4.2 je vyjádřena závislost obsahu popela ve dřevě a kůře na vlhkosti paliva.



Obr. 4.2 Závislost obsahu popela na vlhkosti

4.3 Výhřevnost a hustota biomasy

Z hlediska energetického využití jsou nejdůležitějšími vlastnostmi biomasy výhřevnost a spalné teplo.

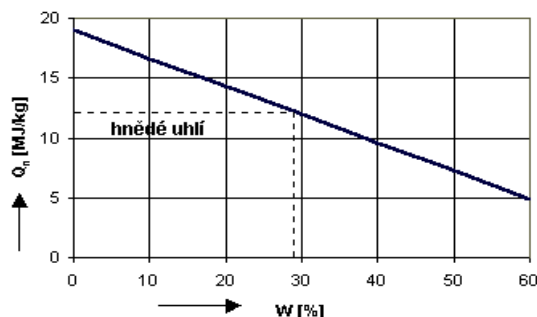
Spalné teplo Q_v [MJ/kg] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva na CO_2 , SO_2 , N_2 a kapalnou vodu H_2O .

Výhřevnost Q_n [MJ/kg] je teplo uvolněné za stejných podmínek jen s tím rozdílem, že místo kapalně vody se uvolňuje pára. Výhřevnost se vypočte ze spalného tepla Q_v odečtením výparného tepla vody. Voda uvolňující se spalováním je součtem vody obsažené v palivu jako jeho vlhkost a vody vzniklé spálením paliva (odpovídá obsahu vodíku v palivu).

Výhřevnost se určí ze vztahu $Q_n = Q_v - 2,453 \cdot (W + 8,94 \cdot H) \quad [\text{MJ/kg; kg/kg}]$

Výhřevnost biomasy je závislá na obsahu vody. Protože obsah vody v biomase značně kolísá, hodnota výhřevnosti se rovněž pohybuje v širokém rozmezí.

Různé druhy dřevin mají pro daný obsah vody prakticky shodnou výhřevnost (chemické složení hořlaviny různých druhů dřevin je téměř shodné, viz. tab. 4.1). Pro praktické informativní výpočty lze použít výhřevností, které jsou uvedeny v obr. 4.3 v závislosti na obsahu vody.



Obr. 4.3 Výhřevnost dřevních odpadů v závislosti na obsahu vody

Poznámka: pro možnost porovnání je vynesena i výhřevnost energetického hnědého uhlí

Pro informaci jsou podle různých pramenů uvedeny hodnoty výhřevnosti a dalších parametrů biomasy.

Tab. 4.1 Výhřevnost biomasy v závislosti na obsahu vody¹

Druh	Výhřevnost [MJ/kg]	Při vlhkosti [% hm]
Dřevo kusové	15,30	14,40
Dřevo-brikety	17,54	7,42
Dřevo-pelety	17,54	7,42
Dřevo-štěpka	9,84	41,74
Dřevěná kůra, mix	15,92	4,82
Dřevo+kůra, pelety	15,80	10,26
Dřevo+kůra, brikety	15,80	10,26
Papír, brikety	11,98	4,61
Sláma obilní	15,46	10,00
Sláma řepková	15,90	5,56
Sláma pšeničná	14,58	13,01
Sláma lisovaná, role, kvádry	15,46	10,00
Pelety	15,46	10,00
Sláma řepková, brikety	15,42	11,16
Řepkové šrotky granulované	16,70	9,21
Slunečnicové slupky	24,05	5,22
Městské odpadky	8,14	33,00

Tab. 4.2 Výhřevnost a hustota dřeva (při W = 15 [%])

Druh dřeva	Výhřevnost [MJ/kg]	Hustota [kg/m ³]	
		p l m	p r m
buk	14,4	700	525
javor, olše, topol, jilm, vrba	14,8	630	460
dub, jasan	15,1	690	500
bříza	15,5	630	440
borovice, modřín	15,8	520	390
smrk, jedle	16,2	440	310
kůra	15,6	550	400

¹ Pramen: City Plán

Tab. 4.3 Vlastnosti palivového dřeva podle IEA

Dřevo	Vlhkost [%]	Výhřevnost [kWh/kg]
dřevo po těžbě z lesa	50	2,32
po několika měsíčním skladování	30	3,49
po dlouhodobějším skladování	20	4,13

Hustota biomasy [kg/m³] je závislá na obsahu vody. Třeba rozlišovat hustotu volně sypané, lisované nebo kompaktní hmoty biomasy. Znalost hustoty biomasy je potřebná při bilančních výpočtech, navrhování dopravních zařízení a skládek.

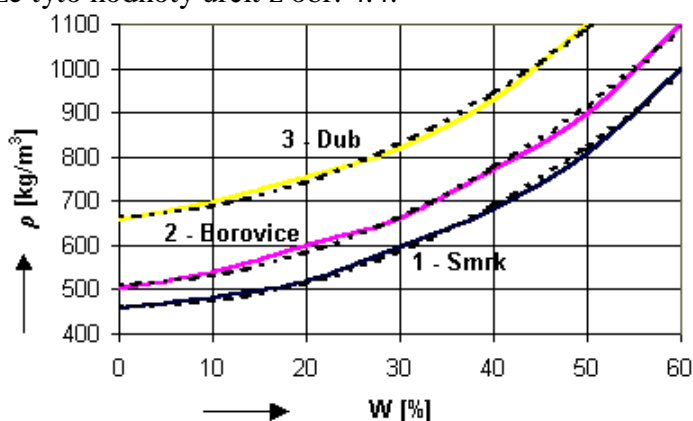
Orientační hodnoty hustoty dřeva lze určit ze vztahů

pro smrk $\rho_{sm} = 0,15 \cdot W^2 - 0,52 \cdot W + 462,98$ [kg/m³; %]

pro borovici $\rho_{bo} = 0,15 \cdot W^2 + 0,65 \cdot W + 510,55$ [kg/m³; %]

pro dub $\rho_{du} = 0,15 \cdot W^2 + 0,97 \cdot W + 663,79$ [kg/m³; %]

Přibližně lze tyto hodnoty určit z obr. 4.4.



Obr. 4.4 Hustota dřeva v závislosti na obsahu vody

Při objemových bilančních a projekčních výpočtech spotřeby paliva se v praxi dřevozpracujícího průmyslu používají tyto objemové jednotky:

plm plnometr dřeva (1 [m³] skutečné dřevní hmoty)

prm prostorový metr dřeva (1 [m³] složeného dřeva štípaného nebo neštípaného)

prm_s prostorový metr sypaného dřeva (1 [m³] volně sypaného, nezhutňovaného drobného nebo drceného dřeva)

V tabulce 4.4 jsou uvedeny vzájemné orientační přepočty. V praxi lze uvažovat pro dřevo s orientačními hodnotami hustoty dle tab. 4.5.

Tab. 4.4 Orientační přepočty

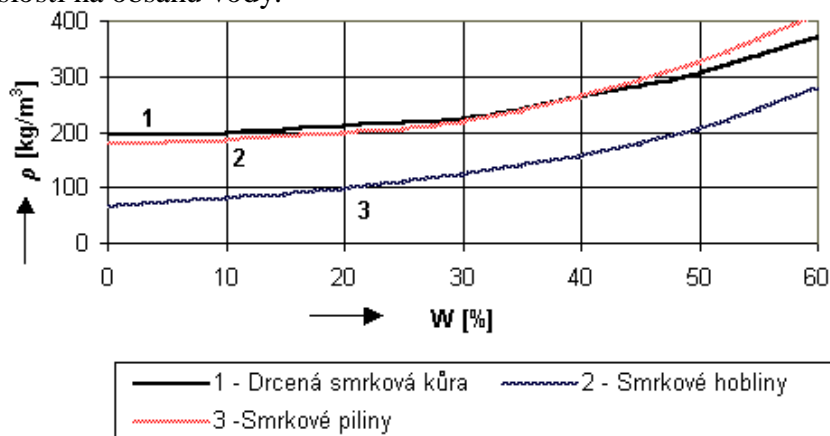
dřevo	plm	prm	prm _s
plm	1,00	1,54	2,50 – 2,86
prm	0,65	1,00	1,61 – 1,86
prm _s	0,35 – 0,40	0,54 – 0,62	1,00

Tab. 4.5 Orientační hodnoty hustoty

Druh paliva	Obsah vody [%]	Hustota [kg/prm]
smrk	25	340
	40	420
dub a buk	25	500
	40	621
piliny – smrkové	40	250
kůra drcená smrková	40	270
brikety ze smrkové kůry	10	1000

Z uvedených hustot vyplývá, že použitím briket z kůry se (oproti spalování drcené vlhké kůry) sníží objemové nároky na palivo asi 3,7krát.

V obr. 4.5 jsou orientační hodnoty měrné sypné hmotnosti odpadů zpracování dřeva v závislosti na obsahu vody.



Obr. 4.5 Měrná sypná hmotnost odpadů zpracování dřeva v závislosti na obsahu vody

Další informační údaje o hustotě a výhřevnosti, v závislosti na obsahu vody lze získat z tabulky 4.6.

Tab. 4.6 Vliv vlhkosti paliva na výhřevnost a hustotu ²

Druh paliva [%]	Obsah vody [%]	Výhřevnost [MJ/kg]	Objemová hmotnost volně ložená [kg/m ³]
polena (měkké dřevo)	10	16,40	375
	20	14,28	400
	30	12,18	425
	40	10,10	450
	50	8,10	530
dřevní štěpka	10	16,40	170
	20	14,28	190
	30	12,18	210
	40	10,10	225
sláma obilovin	10	15,50	120 (balíky)
sláma kukuřice	10	14,40	100 (balíky)
lněné stonky	10	16,90	140 (balíky)
sláma řepky	10	16,00	100 (balíky)

Zvýšený obsah vody v surové hmotě klade zvýšené nároky na vhodnou konstrukci spalovacích a dalších zařízení. Se zvyšujícím se obsahem vody klesá výhřevnost paliva a tím i teoreticky dosažitelná teplota nechlazeného plamene ve spalovací komoře.

4.4 Prvkový rozbor biomasy

Rozborem se zjišťuje hmotnostní obsah prvků: C, H₂, S, O₂, N₂ v [%]. Hořlavé složky v 1 kg paliva ve stavu spalovaném jsou určeny prvkovým složením hořlaviny

$C^{daf} + H^{daf} + S^{daf} + O^{daf} + N^{daf} = 1$ [kg/kg] a v surovém stavu s obsahem přítěže, tj. obsahem vody W^r [kg/kg] a popela A^r [kg/kg]

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r + W^r + A^r = 1 \quad [\text{kg/kg}]$$

Poznámka: index **daf** pro hořlavinu, **r** pro surový, spalovaný stav

² Zdroj VÚZT Praha (Ing. Sladký)

Při znalosti prvkového složení hořlaviny paliva, přepočtou se obsahy jednotlivých prvků na surový stav (v původním palivu) podle vztahu

$$C^r = C^{daf} \cdot (1 - W^r - A^r) \text{ [kg/kg] atd. pro další prvky}$$

Obsah popela v surovém stavu

$$A^r = A^d \cdot (1 - W^r) \quad A^d - \text{popel v sušině, suchý stav}$$

V tabulce 4.7 jsou uvedeny orientační hodnoty chemického složení hořlaviny pro dřevo a v tabulce 4.8 prvkový rozbor biomasy v původním stavu [% hm].

Tab. 4.7 Chemické složení hořlaviny

Složka	dřevo [%]			kůra
	jehličnaté	listnaté	smíšené	
C	51,0	50,0	50,5	51,4
H ₂	6,2	6,15	6,2	6,1
O ₂	42,2	43,25	42,7	42,2
S	0,02	0,02	0,02	0,02
N ₂	0,6	0,6	0,6	0,3
A ^d	1,0	1,0	1,0	2,3

Tab. 4.8 Prvkový rozbor biomasy v původním stavu [% hm]

	Dřevo kusové	Dřevěné brikety	Sláma pšeničná	Slaměné pelety	TKO ³
W (vlhkost)	14,4	7,42	13,01	10,00	33,00
A (popel)	0,5	0,6	5,08	5,47	25,00
H ₂	5,0	5,63	4,89	4,81	3,00
C	42,98	47,05	40,67	43,13	23,00
S	0,02	0,02	0,09	0,1	0,40
O ₂	37,00	39,15	35,75	35,56	15,00
N ₂	0,1	0,13	0,51	0,64	0,30

4.5 Prchavá hořlavina

Biomasa obsahuje poměrně hodně prchavého podílu, který se při spalování uvolňuje. V tabulce 4.9 je uveden obsah prchavé hořlaviny pro dřeviny (pro možnost porovnání i u hnědého uhlí).

Tab. 4.9 Obsah prchavé hořlaviny

Složka	dřevo			kůra	hnědé uhlí
	jehličnaté	listnaté	smíšené		
obsah prchavé hořlaviny	74	76	75	75	53

Počátek uvolňování prchavé hořlaviny závisí na chemickém stáří pevného paliva, čím starší je palivo, tím vyšší je teplota počátku uvolňování prchavé hořlaviny, tabulka 4.10.

Tab. 4.10 Teplota počátku uvolňování prchavé hořlaviny

Palivo	Teplota [°C]	Palivo	Teplota [°C]
rašelina	100	hnědé uhlí	170
dřevo	160	černé uhlí	260
kůra	160	antracit	400

4.6 Zdroje energetické biomasy v ČR

V současné době se u nás zatím převážně používají jako energetické zdroje odpadní hmoty a dřevo (sláma obilní, řepková, odpad dřevní hmoty po těžbě dřeva v lese apod.).

³ TKO – tříděný komunální odpad

Cílené pěstování rostlin je u nás pro průmyslové využití známé v případě řepky → pro bionaftu a nebo obilniny, brambory pro výrobu technického bioetanolu.

Energetické zdroje rostlinného původu lze kromě využití odpadních hmot rozšířit o rostliny cíleně pěstované pro tento účel. Podobně jako v zahraničí lze i u nás zakládat plantáže rychle rostoucích dřevin (např. topolů a vrb). Velkoplošné zakládání těchto plantáží je dosud omezeno legislativními problémy při poskytování podpory (pro pěstování těchto dřevin se požaduje vyjímání půdy ze ZPF (zemědělský půdní fond), podpora je však poskytována pouze na zemědělskou půdu). V důsledku přebytku zemědělské půdy v ČR a rozsáhlým plochám po devastaci půdy průmyslovou činností jsou vyhledávány pro širší pěstování nejvhodnější energetické rostliny. Několikaleté výzkumy našich výzkumníků, výzkumných ústavů významně přispívají k perspektivnímu hospodárnému pěstování energetických rostlin. Příkladem jsou orientační výsledky v tabulce [4.11, 4.12, 4.13].

Tab. 4.11 Průměrné výnosy suché hmoty vytrvalých rostlin v [t/ha]

Rostliny netradiční, krmné	[t/ha]	Rostliny planě rostoucí	[t/ha]
Šťovík krmný	10 až 12	Křídlatka	35 až 40
Mužák prorostlý	11 až 14	Topolovka	13 až 15
Boryt barvířský	10 až 12	Komonice bílá	18 až 20
Sléz krmný	10 až 11	Bělotrn	14 až 17
Jestřabina východní	6 až 8	Vratič	15 až 18

Tab. 4.12 Výnosy suché hmoty jednoletých plodin v [t/ha] ⁴

Druh rostlin	Pěstební lokalita		
	zemědělská půda	složité popelé	důlní výsypky
Čirok zrnový	8,9	8,2	10,9
Čirok cukrový	10,5	12,5	18,9
Sudánská tráva	8,7	9,1	12,3
Hyso	10,3	10,6	12,3
Konopí seté	8,0	16,6	7,8

Tab. 4.13 Energetická výtěžnost fytomasy (v průměru let 1992-1998) ⁵

Rostlina	spalné teplo (s popelovinami) [MJ/kg] sušiny	výnosy suché [t/ha]	energetická výtěžnost [GJ/ha]
Kulturní málo rozšířené plodiny			
Čirok zrnový	17,6	9,83	173
Čirok cukrový	17,8	10,2	182
Lnička setá	18,8	3,16	59
Čirok Hyso	17,7	16,6	294
Konopí seté	18,1	11,5	208
Netradiční plodiny			
Křídlatka	19,4	48,6	943

⁴ Pramen: Petříková, V., CZ Biom

⁵ Pramen: Ušák S., Výzkumný ústav rostlinné výroby

Šťovík krmný	17,8	12,0	214
Sléz Meljuka	17,5	8,54	149
Sléz kadeřavý	17,6	8,85	156
Topolovka růžová	17,6	14,2	250
Mužák prorostlý	18,9	17,3	327
Bělotrn	19,6	14,8	290
Boryt	18,5	10,8	200
Komonice bílá	19,9	14,6	291
Rákos	17,7	13,2	234
Plevelné rostliny na ladem ležících půdách			
Lebeda rozkladitá	17,5	16,4	287
Vratič obecný	18,1	12,9	233
Pelyněk černobýl	17,6	16,8	296

Z výzkumu a praktických ověřování se prokazuje, že pro přímé spalování jsou efektivní rostliny, které dosahují výnosu kolem 10 [t] suché hmoty na 1 [ha] (dotace pro pěstování ve výši 5 500 [Kč/ha]). Z důvodů snížení nákladů na pěstování jsou nejdůležitější rostliny víceleté a vytrvalé. Dobrých výsledků se dosahuje s pěstováním šťovíku, tab. 4.14 [4].

Tab. 4.14 Energetické vlastnosti šťovíkové slámy

vzorek	voda [%]	popel [%]	spalné teplo [MJ/kg]	výhřevnost [MJ/kg]
původní	12,51	1,85	16,77	15,35
bezvodý	0	2,11	19,17	17,89

Tavitelnost popele $t_A = 1\,306$ [°C], tání $t_B > 1\,500$ [°C], tečení $T_C > 1\,500$ [°C].

Šťovík nazeleno se sklízí 3 až 5 krát do roka, předpokládá se, že vydrží 15 až 20 let. V Rakousku se již uplatňuje v praxi výroba bioplynu ze zelených rostlin.

Další řada výzkumných prací byla realizována pro pěstování rychle rostoucích dřevin pro využití v energetice. Tyto produkční porosty jsou v češtině označovány jako (výmlatkové) plantáže rychle rostoucích dřevin (r.r.d.). Součástí produkčního systému jsou i reprodukční porosty určené k zajištění produkce sadebního materiálu označované jako matečnice r.r.d. Produktem plantáží r.r.d. je dřevní biomasa, obvykle ve formě štěpky. V současné době připadají u nás pro zakládání porostů vybrané klony topolů a vrb.

Mezi jednotlivými pracemi z této oblasti je u výsledků větší rozptyl ukazatelů a je třeba, aby řešení a výpočty byly vždy prováděny pro konkrétní lokality a ceny.

Cena biomasy je pro různé regiony velmi proměnlivým parametrem a záleží především na tom, zda se jedná o odpadní surovinu nebo výrobky. Pochopitelně nejlacinější jsou odpady (např. piliny), nejdražší pelety a brikety.

Při údaji o ceně musí být uvedeno, k jakému stavu biomasy cena náleží, zda je v surovém stavu nebo již ve stavu upraveném ke spalování (s náklady na slisování, sběr a odvoz, skladování). Byly navrženy linky pro lisování biomasy do obřích balíků, linky pro sběr a odvoz balíků a skladování. Pro dřevní odpad jsou používány drtiče (např. drtiče na kůru, na drobné kusové dřevní odpady, kmeny stromů) pro přípravu štěpků různé štěpkovače, transportéry, zařízení pro skladování na skládce nebo v silu, aj.

Topné pelety jsou druhem tuhého paliva vyráběného z biomasy, s vysokou výhřevností, nízkým obsahem popelovin a vody. Biomasa se nejdříve podrtí, vysuší a slisuje vysokým tlakem a teplotou do biobriket nebo drobných válcových biopellet o vysoké hustotě. Po

výstupu z peletizátoru musí být peletky chlazeny pro získání potřebné pevnosti a trvanlivosti. V tabulce 4.15 je uveden přehled o normách dřevních peletek v Evropě.

Tab. 4.15 Evropské normy dřevních peletek – rozsah hodnot

Údaj	Hodnota	Rozsah
Rozměry: průměr	mm	4, 6, 8, 10, 20, 25
délka	mm	do 50, 100 nebo 4 – 6 x Ø
Hustota	kg/l [dm ³]	1 – 1,4
Obsah vody	%	10, 12 (u kůry 18)
Sypná hmotnost	kg/m ³	500 – 600
Obsah popele	%	0,7 – 1,5 (u kůry až 8)
Výhřevnost	MJ/kg	15,1 – 19,5
Obsah síry	%	0,04 – 0,08
Obsah dusíku	%	0,3 – 0,6
Obsah chlóru	%	0,02 – 0,04
Obsah arsenu	mg/kg	0,8
Obsah kadmia	mg/kg	0,5
Obsah chrómu	mg/kg	8,0
Obsah mědi	mg/kg	5,0
Obsah rtuti	mg/kg	0,05
Obsah olova	mg/kg	10,0
Obsah zinku	mg/kg	100,0
Obsah EOX	mg/kg	3,0
Pojivo		jen ekologické nebo žádné

Norma stanovuje i povolený otěr. Byla vytvořena pracovní skupina, která připravuje české normy pro biopaliva.

V tabulce 4.16 je uvedeno chemické složení pelet.

Tab. 4.16 Chemické složení pelet

Organické složení pelet		Chemické složení pelet	
celulóza	40 – 55 [%]	uhlík	51 [%]
lignin	20 – 35 [%]	kyslík	42 [%]
glycidy	18 – 25 [%]	vodík	6 [%]
popel	0,3 – 0,8 [%]	dusík	1 [%]

Pro dokonalé spalování je teoretický potřebný suchý vzduch $V_{vz\ st} = 4,22 \text{ [m}_n^3/\text{kg]}$ a vzniklé suché spaliny teoreticky jsou $V_{sn\ st} = 4,19 \text{ [m}_n^3/\text{kg}]$. Ceny biomasy jsou u nás v současné době zatím poměrně nízké, ale je třeba počítat s tím, že se vzrůstem poptávky bude docházet k jejich postupnému růstu (porostou však i ceny fosilních paliv, zvláště zemního plynu). Orientační ceny jsou uvedeny v tabulce 4.17.

Tab. 4.17 Průměrné ceny ⁶

Energetická sláma	Cena ve vlastním podniku	200 – 500 [Kč/t]
	Cena na trhu	1 000 – 1 200 [Kč/t]
Dřevní štěpka a piliny		Nad 1 000 [Kč/t]
Stébelniny (obilniny, miscantus, čirok)		1 200 – 2 500 [Kč/t]
Štěpka z rychle rostoucích topolů		Do 3 000 [Kč/t]
Tvarované biopaliva, brikety a pelety		2 500 – 4 500 [Kč/t]
Polínkové palivové dřevo lesních správ		500 – 600 [Kč/t]
Polínkové dříví u čerpacích stanic		4 000 [Kč/t]
Hnědé uhlí energetické		400 – 1 500 [Kč/t]

⁶ Pramen: Sladký, V., www.biom.cz

Biomasa pro biochemickou přeměnu

Patří sem odpady ze živočišné výroby, exkrementy hospodářských zvířat, zbytky krmiv, kaly z odpadních vod, organický komunální odpad, organické odpady z potravinářské výroby.

Biochemické zpracování organických látek (biomasy) může probíhat jako metanové kvašení (fermentace) nebo jako etanolové kvašení, popř. jako výroba nafty.

Bioplyn lze tedy získat z kejdy, chlévské mrvy, biologicky odbouratelných domovních odpadů, odpadů z čistíren odpadních vod a potravinářského průmyslu, i z energetické fytomasy.

Významným zdrojem bioplynu může být mokrá tráva (např. z kosení luk).

V tabulce 4.18 je orientačně uvedena produkce exkrementů a množství bioplynu od jednotlivých kategorií zvířat.

Tab. 4.18 Produkce exkrementů a orientační množství bioplynu od jednotlivých kategorií zvířat⁷

Kategorie	Sušina výkalů včetně moče [kg/den]	Výkaly celkem průměrně [kg/den]	Množství bioplynu [m ³ /den]
hovězí dobytek (průměr)			
dojnice (550 kg)	6	60	1,7
hovězí žír (350 kg)	3	30	1,2
odchov jalovic (330 kg)	3,5	35	0,9
telata (100 kg)	1,25	12 až 15	0,3
prasata (průměr)			
výkrm (70 kg)	0,5	8,5	0,2
prasnice (170 kg)	1,0	14	0,3
prasnice se selaty (90 kg)	0,55	9	0,2
selata menší (10 kg)	0,15	3	0,1
selata větší (23 kg)	0,25	4	0,15
kanci (250 kg)	1,3	18,5	0,3
drůbež (průměr)			
nosnice (2,2 kg)	0,036	0,15 až 0,30	0,016
brojleři (0,8 kg)	0,020	0,009	
kuřice (1,1 kg)	0,020	0,009	

V tabulce 4.19 je uvedeno chemické složení a vlastnosti bioplynu.

Tab. 4.19 Složení a vlastnosti bioplynu (anaerobní fermentace exkrementů hospodářských zvířat)

Složka	Objemový podíl [%]	Výhřevnost [MJ/m ³ _n]	Hustota [kg/m ³ _n]
CH ₄	55 – 70	35,84	0,714
CO ₂	27 – 44	-	1,977
H ₂	1 – 3	10,8	0,090
H ₂ S	0,1 – 1	22,8	1,536
NH ₃	stopy	-	0,771
N ₂	1 – 3	-	1,25

Výhřevnost bioplynu se pohybuje mezi 19,6 až 25,1 [MJ/m³_n] podle obsahu metanu.
(n) – normální stav, tj. 0 [°C], 101,325 [kPa]

⁷ Pramen: Pastorek, Z., Wolff, I.: Agrospoj, 1993, č. 44

Z olejnatých plodin lze k energetickým účelům využívat řepku olejnou, slunečnici, len, dýni na semeno a ze škrobno-cukernatých plodin brambory, cukrovou řepu, obilí (zrno), topinambury, cukrovou třtinu, kukuřici.

V rámci výzkumných prací v ČR byly realizovány experimenty s výrobou metylesteru kyselin řepkového oleje jako biologicky odbouratelné náhrady motorových paliv. Přes značné ekologické výhody tohoto zdroje, jsou pro širší rozšíření limitující vysoké náklady výroby. V tabulce 4.20 je orientačně uveden energetický obsah upravených produktů řepky olejné z 1 [ha] při výnosu zrna 3 [t/ha].

Tab. 4.20 Energetický obsah upravených produktů řepky z 1 ha při výnosu semena 3 [t/ha] ⁸

Produkt	Produkce z 1 ha [t]	Jednotkový energetický obsah [GJ/t]	Produkce energie celkem [GJ/ha]
bionafta	1,0	38,9	38,9
tukové pokrutiny	1,9	17,3	32,9
sláma	4,7	13,8	64,9
celkem	7,6	18,0	136,7

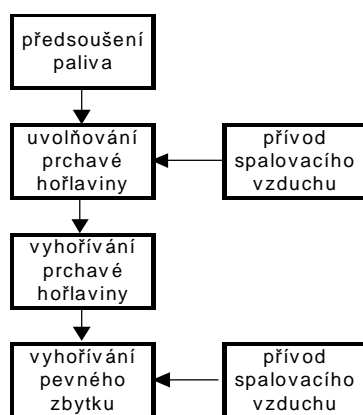
5 Spalování biomasy

Při spalování biomasy s vysokým obsahem prchavé hořlaviny probíhá proces spalování odlišně oproti spalování paliva s malým obsahem prchavé hořlaviny. Spalovací proces má čtyři fáze.

V první fázi po přívodu biomasy do spalovací komory se postupně snižuje obsah vody a zajišťuje ohřátí paliva. Druhá fáze – po dosažení zápalné teploty při dostatečné dodávce kyslíku se uvolňuje spalné teplo a palivo se rozkládá na hořlavé plyny, destilační produkty a zuhelnatělý zbytek. Ve třetí fázi uvolněná prchavá hořlavina vytváří po smísení se spalovacím vzduchem hořlavou směs, která se stává iniciátorem spalovacího procesu. Ve čtvrté fázi dochází ke spalování pevných látek (uhlík s malým obsahem popela).

Schéma průběhu spalování pro dřevní odpady je znázorněno v obr. 5.1

Při znalosti prvkového složení paliva a použití stechiometrických spalovacích rovnic pro tuhá paliva lze vypočítat teoretickou potřebu vzduchu pro spalování a spalováním teoreticky vzniklé spaliny, skutečnou potřebu vzduchu a vzniklé spaliny (v závislosti na obsahu vody) pro různý součinitel přebytku vzduchu.



Obr. 5.1 Schéma spalování biomasy

⁸ Pramen: Jevič, P. a kol.: Agrospoj, prosinec 1993

Pro dokonalé spalování teoretická potřeba suchého vzduchu se vypočítá dle vztahu ⁹

$$V_{\text{vzst}} = \frac{22,39}{0,2095} \cdot \left[\frac{C^r}{12,011} + \frac{H^r}{4,032} + \frac{S^r}{32,066} - \frac{O^r}{32,000} \right] \quad \left[\text{m}_n^3/\text{kg} \right]$$

Suché spaliny teoreticky

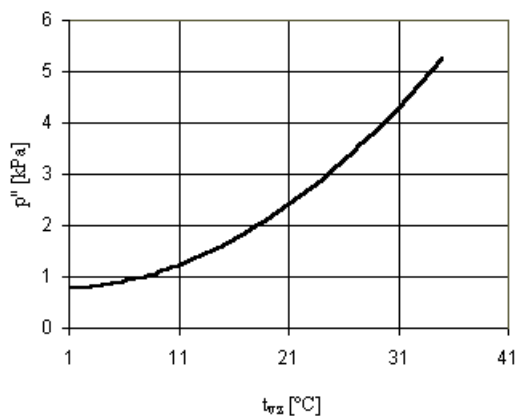
$$V_{\text{snst}} = \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r + \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r + \frac{22,40}{28,016} \cdot N^r + 0,7905 \cdot V_{\text{vzst}} \quad \left[\text{m}_n^3/\text{kg} \right]$$

Při uvažování vlhkosti atmosférického vzduchu, použitého pro spalování, vyjádří se poměrný objem vodní páry připadající na 1 [m³] suchého vzduchu při dané teplotě t_{vz} [°C] a relativní vlhkosti φ [1] vztahem

$$\omega_p = \varphi \cdot \frac{p''}{p_c - \varphi \cdot p''} \quad \left[\text{m}^3/\text{m}^3 \right]$$

$$v = 1 + \frac{\varphi \cdot p''}{p_c - \varphi \cdot p''} \quad [1]$$

kde je p'' [Pa] tlak syté páry při teplotě t_{vz} (obr. 5.2), p_c [Pa] tlak vlhkého vzduchu (obvykle $p_c \cong p_{\text{bar}}$)



Obr. 5.2 Tlak syté páry v závislosti na teplotě

$$p'' = 0,77 + 0,0092 \cdot t_{\text{vz}} + 0,0036 \cdot t_{\text{vz}}^2$$

Objem vlhkého vzduchu

$$V_{\text{vzvt}} = V_{\text{vzst}} \cdot v = V_{\text{vzst}} \cdot \left(1 + \frac{\varphi \cdot p''}{p_c - \varphi \cdot p''} \right) \quad \left[\text{m}_n^3/\text{kg} \right]$$

Vodní pára ve spalínách teoreticky

$$V_{\text{snH}_2\text{Ot}} = 11,1111 \cdot H^r + 1,2433 \cdot W^r + (v - 1) \cdot V_{\text{vzst}} \quad \left[\text{m}_n^3/\text{kg} \right]$$

Vlhké spaliny teoreticky

$$V_{\text{snvt}} = V_{\text{snst}} + V_{\text{snH}_2\text{Ot}} \quad \left[\text{m}_n^3/\text{kg} \right]$$

⁹ index _{vz} vzduch, _{sn} spaliny, _s suché, _v vlhké, _t teoreticky ($\lambda=1$)

Složky (suché) stechiometrických objemů pro dokonalé spalování lze vyjádřit vztahy

$$V_{vz CO_2} = 0,0003 \cdot V_{vz st} \quad [m_n^3/kg]$$

$$V_{vz N_2} = 0,7809 \cdot V_{vz st} \quad [m_n^3/kg]$$

$$V_{vz Ar} = 0,0093 \cdot V_{vz st} \quad [m_n^3/kg]$$

$$V_{sn CO_2} = \frac{22,26}{12,011} \cdot C^r \quad [m_n^3/kg]$$

$$V_{sn SO_2} = \frac{21,89}{32,066} \cdot S^r \quad [m_n^3/kg]$$

$$V_{sn N_2} = \frac{22,40}{28,016} \cdot N^r \quad [m_n^3/kg]$$

Maximální objem CO₂ v suchých spalinách

$$\omega_{CO_2 max} = (1,8533 \cdot C^r + 0,0003 \cdot V_{vz st}) / V_{sn st} \quad m_n^3/kg$$

Součinitel přebytku vzduchu

(z naměřených objemových podílů plynů v suchých spalinách)

$$\lambda = 1 + \frac{V_{sn st}}{V_{vz st}} \cdot \frac{\omega_{O_2}}{0,2095 - \omega_{O_2}} \quad [1]$$

případně

$$\lambda = 1 + \frac{\omega_{RO_2 max} - \omega_{RO_2}}{\omega_{RO_2} - 0,0003} \cdot \frac{V_{sn st}}{V_{vz st}} \quad [1]$$

a po úpravě

$$\lambda = 1 + \left[\frac{\omega_{RO_2 max}}{\omega_{RO_2}} - 1 \right] \cdot \frac{V_{sn st}}{V_{vz st}} \quad [1]$$

kde

$$\omega_{RO_2 max} = \frac{V_{sn CO_2} + V_{vz CO_2} + V_{sn SO_2}}{V_{sn st}} \quad [1]$$

Použitím výše uvedených vztahů určíme skutečnou spotřebu spalovacího vzduchu a skutečný objem suchých a vlhkých spalin na výstupu z kotle.

Skutečná spotřeba suchého spalovacího vzduchu

$$V_{vzs} = V_{vz st} \cdot \lambda_k \quad [m_n^3/kg]$$

Skutečný objem suchých spalin

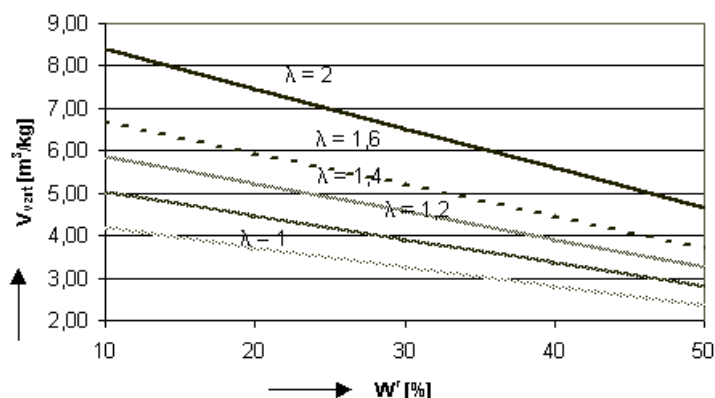
$$V_{sn s} = V_{sn st} + (\lambda_k - 1) \cdot V_{vz st} \quad [m_n^3/kg]$$

Skutečný objem vlhkých spalin

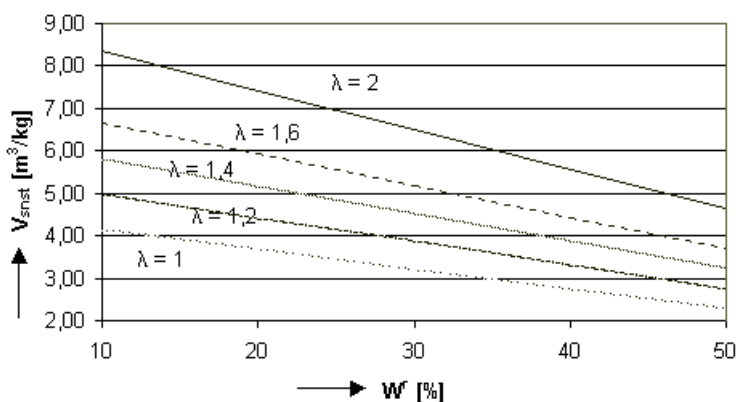
$$V_{sn v} = V_{sn s} + V_{sn H_2O} + \lambda_k \cdot (v - 1) \cdot V_{vz st} \quad [m_n^3/kg]$$

kde $\lambda_k [1]$ je součinitel přebytku vzduchu za poslední teplosměnnou plochou kotle (pro bilanci).

V obr. 5.3 a obr. 5.4 jsou orientačně uvedeny výsledky výpočtů pro průměrné chemické složení hořlaviny dřevních odpadů [%] ($C = 50,75$; $H_2 = 6,1$; $O_2 = 42,6$; $S = 0,02$; $N_2 = 0,53$; $A^d = 1,32$; $W^r = 14$).

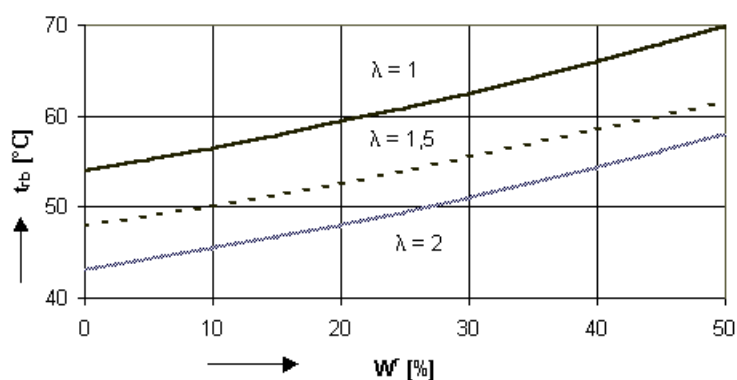


Obr. 5.3 Teoretická spotřeba spalovacího vzduchu pro spalování dřevních odpadů



Obr. 5.4 Teoretický objem suchých spalin při spalování dřevních odpadů

Vzhledem k tomu, že dřevní odpad neobsahuje (nebo jen minimálně) síru, je teplota rosného bodu spalin pouze funkcí parciálního tlaku vodní páry. Na základě výpočtu parciálního tlaku vodní páry ve spalinách je na obr. 5.5 uvedena teplota rosného bodu spalin při spalování dřevního odpadu.



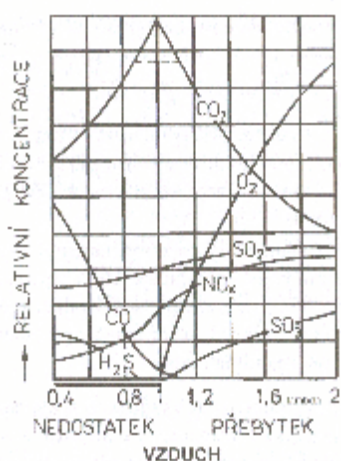
Obr. 5.5 Teplota rosného bodu spalin při spalování dřevního odpadu

Protože teplota rosného bodu při spalování biomasy (většinou neobsahuje síru) je poměrně nízká, lze vhodnou konstrukcí teplosměnných ploch kotle docílit nižší teploty výstupních spalin do komína a tak zvýšit tepelnou účinnost kotle.

Kritéria spalovacího režimu biomasy jsou určena komplexem požadavků s cílem zajistit požadovaný výkon spalovacího zařízení a kotle, bezpečnost provozu spalovacího zařízení, minimální znečištění životního prostředí a ekonomicky optimální provoz spalovacího zařízení.

K technologickým kritériím patří požadavek stabilního vzněcování paliva, vyloučení struskování ohniště a minimální znečištění teplosměnných ploch. K ekonomickým kritériím patří účinnost spalovacího zařízení a minimalizace výrobních nákladů.

Hospodárné spalování v kotlích se kontroluje určením objemových koncentrací důležitých složek spalin (nejčastěji O_2 , CO_2 , CO), dále určením sazového čísla, stanovením tuhé hořlaviny v pevných zbytcích (při spalování biomasy minimální). Závislost obsahu CO_2 , CO , O_2 a dalších složek ve spalinách na součiniteli přebytku vzduchu λ při dokonalém i nedokonalém spalování je znázorněna v obr. 5.6. Ve spalovacích zařízeních nelze zajistit dokonalé vyhoření paliva pouze s teoretickým množstvím spalovacího vzduchu a spalování musí probíhat s určitým přebytkem vzduchu.



Součinitel přebytku vzduchu λ se vypočítá z měřeného obsahu O_2 případně CO_2 ve spalinách. Při spalování s velkým přebytkem vzduchu zvětšuje se ztráta citelným teplem spalin (komínová), zvyšuje se výkon potřebný pro vzduchové a sací ventilátory (u větších kotlů), u malých kotlů se zhoršuje tah a v ohništi může docházet k přetlaku spalin. Při nedostatku vzduchu pro spalování probíhá nedokonalé spalování a značná část tepla uniká do komína jako nespálené plyny (CO) a znečišťuje životní prostředí. Je tedy zásadou hospodárného řízení spalování udržovat minimální součinitel přebytku vzduchu, aby nedošlo k nedokonalému spalování pro nedostatek vzduchu.

Obr. 5.6 Relativní koncentrace složek hoření a vedlejších produktů

Na výši součinitele přebytku vzduchu závisí i produkce oxidu dusíku. Koncentrace CO ve spalinách stoupá s klesajícím součinitelem přebytku vzduchu, kdežto koncentrace NO_x stoupá se stoupajícím součinitelem přebytku vzduchu.

Při spalování biomasy (obecně hoří dlouhým plamenem) je velmi důležité dokonalé promísení prchavé hořlaviny, spalin se vzduchem, aby bylo zajištěno dokonalé vyhoření. Je proto velmi důležité v konstrukci věnovat zvýšenou pozornost vhodnému rozmístění přívodu spalovacího vzduchu (v návaznosti na dostatečný prostor a čas k dokonalému spalování). Při návrhu spalovacího zařízení lze obvykle použít primárního přívodu spalovacího vzduchu přivedeného pod roštovou plochu, sekundárního spalovacího vzduchu zavedeného nad vrstvu paliva a terciárního spalovacího vzduchu přivedeného do dohořivacího prostoru ohniště.

5.1 Kombinované spalování paliv

Jako perspektivní lze pokládat i kombinované spalování fosilních paliv a biomasy. V podmínkách ČR je kombinované spalování vhodné při spalování hnědého uhlí a biomasy. Zejména je vhodné využití dřevní hmoty pro její obsah hořlaviny, pro nízký obsah popela a prakticky absenci síry, čímž je hodnotným ekologickým palivem. V energetickém hospodářství jsou možné různé kombinace paliv a zařízení, prioritní by však mělo být využití těchto paliv pro kogeneraci a trigeneraci. Ve srovnání s hnědým uhlím není výhřevnost biomasy ve spalovaném stavu tak odlišná, což je dáno rozdílným obsahem popela v hnědém uhlí a dřevním odpadu. Převážná část dřevního odpadu musí být před spalováním předem

upravena. U menších kotlů může v některých případech přispět kombinované spalování dvou paliv (ojedinele i více paliv) k dodržení zákonného limitu koncentrace SO₂ ve spalínách bez stavby nákladného odsířovacího zařízení.

Kombinované spalování fosilních paliv a biomasy se řeší pro nové jednotky, další možnost je využití kombinovaného spalování u stávajících kotlů. Pro posouzení vhodnosti kombinovaného spalování je v první řadě potřebné zjistit druh a požadované množství spalované biomasy, podmínky kotelního zařízení (spalování u roštových kotlů, fluidních kotlů), charakteru a fyzikálně-chemických vlastností obou paliv a směsi, pořizovací náklady kotlů nebo náklady na rekonstrukci spalovacích zařízení stávajících kotlů, ekologické a ekonomické hodnocení. Pro kombinované spalování dřevní hmoty je zejména potřebné řešit: druh a dopravu dřevní hmoty, její uložení na skládce, úprava hmoty před spalováním, doprava do kotelny, sklad a doprava z mezizásobníku do kotle, výběr vhodného typu spalovacího zařízení, emise a likvidace popelovin.

Při spalování dvou druhů paliv (základní palivo, alternativní palivo) se při znalosti prvkových rozborů [%], výhřevnosti [MJ/kg] a hmotnosti obou paliv m_{pv1} , m_{pv2} [t] určí složení směsi, které je potřebné ke stechiometrickým výpočtům spalování a dalších údajů potřebných pro projekci, konstrukci a provoz kotlů.

Pro řešení můžeme sestavit vztahy (index spodní $_{sm}$ → směs, index horní r → původní stav, x_1 hmotnost jednoho paliva ve směsi [1]).

$$W_{sm}^r = x_1 \cdot W_1^r + (1 - x_1) \cdot W_2^r \quad [\%] \text{ atd. pro } A^r, H^r, C^r, N^r, O^r, S^r \quad [\%]$$

$$x_1 [1] = \frac{m_{pv1}}{m_{pv1} + m_{pv2}} \quad [1] \quad Q_{nsm} = x_1 \cdot Q_{n1} + (1 - x_1) \cdot Q_{n2} \quad [MJ/kg]$$

5.2 Výpočty produkce emisí

Emise tuhých částic je určena obsahem popela v palivu a výhřevností. Emise oxidů síry jsou určeny obsahem spalitelné síry v palivu, výhřevností paliva a retencí síry v ohništi na tuhých zbytcích po spalování. Emise CO₂ jsou určeny obsahem uhlíku v palivu a výhřevností paliva. Emise CO závisí na seřízení spalovacího zařízení a způsobu provozu. Emise NO_x je ovlivněna složením paliva, konstrukcí spalovacího zařízení a řízením spalovacího procesu.

$$\text{Pro emisní limity platí vztah} \quad k_{ex} = k_{sn} \cdot C_{ex} \quad [g/GJ]$$

kde C_{ex} [mg/m_n^3] je limit emisí (koncentrace škodlivin) v suchých spalínách.

$$k_{sn} = \frac{V_{sn s}}{Q_n} \quad [m_n^3/MJ]$$

je objem suchých spalín (při podmínkách určených zákonem) vztažený na teplo v palivu, Q_n [MJ/kg, MJ/m_n^3] výhřevnost paliva ve spalovaném stavu.

5.2.1 Emise tuhých částic

$$k_{pop} = 10^4 \frac{A^r}{Q_n} (1 - \eta_{pop}) \cdot k_{kt} \quad [g/MJ]$$

kde A^r [%] je hmotnostní obsah popela ve spalovaném palivu, η_{pop} [1] účinnost odlučovacího zařízení, k_{kt} [1] poměrný úlet popílku ve spalínách ($k_{kt} = 1 - k_z$), k_z [1] poměrné zachycení škváry, strusky, popílku v kotli (při spalování na roštích je $k_z = 0,6$ až $0,7$; u fluidních kotlů (FK) ~ $0,35$ až $0,5$; práškové ohniště, ventilátorové mlýny ~ $0,15$ až $0,18$).

Koncentrace popílku ve spalinách

$$c_{\text{pop}} = \frac{A^r}{100 \cdot V_{\text{sn s}}} \cdot (1 - \eta_{\text{pop}}) \cdot k_{\text{kt}} \quad [\text{kg/m}_n^3]$$

kde $V_{\text{sn s}}$ [m_n^3/kg] je objem suchých spalin z 1 kg spalovaného paliva za normálního stavu.

5.2.2 Emise SO₂

$$k_{\text{SO}_2} = 1,9979 \cdot 10^4 \cdot \frac{S_{\text{pch}}^r}{Q_n} \cdot (1 - r) \cdot (1 - \eta_s) \cdot k_{\text{kt}} \quad [\text{g/GJ}]$$

kde S_{pch}^r [%] je hmotnostní obsah spalitelné síry v palivu, r [1] součinitel retence síry v ohništi, η_s [1] účinnost odsíření.

Pro určení koncentrace SO₂ v neodsířených spalinách s uvažováním retence síry

$$C_{\text{SO}_2}^{\text{nr}} = 1,9979 \cdot 10^6 \cdot S_{\text{pch}}^r \cdot (1 - r) \cdot \frac{1}{V_{\text{sn s}}} \quad [\text{mg SO}_2 / \text{m}_n^3]$$

Koncentrace SO₂ odsířených spalin s uvažováním retence síry

$$C_{\text{SO}_2}^r = 1,9979 \cdot 10^6 \cdot S_{\text{pch}}^r \cdot (1 - r) \cdot (1 - \eta_s) \cdot \frac{1}{V_{\text{sn s}}} \quad [\text{mg SO}_2 / \text{m}_n^3]$$

kde r [1] retence síry, S_{pch}^r [kg/kg] spalitelná síra v palivu, $V_{\text{sn s}}$ [m_n^3/kg] objem suchých spalin přepočítaný ze skutečného provozního stavu (podle měření O₂ za poslední teplosměnnou plochou kotle) na $\omega_{\text{O}_2 \text{ ref}}$, definované zákonem č.309

$$[C_i]_{\text{ref}} = [C_i]_{\text{měř}} \cdot \frac{21 - (\text{O}_2)_{\text{ref}}}{21 - (\text{O}_2)_{\text{měř}}} \quad [\text{mg/m}_n^3]$$

5.2.3 Emise CO₂

$$k_{\text{CO}_2} = 3,7 \cdot 10^4 \frac{C^r}{Q_n} \quad [\text{g/GJ}]$$

kde C^r [%] je hmotnostní obsah uhlíku v palivu, Q_n [MJ/kg, MJ/ m_n^3] výhřevnost paliva.

5.2.4 Emise NO_x a CO

Závisí na typu, seřízení spalovacího zařízení a způsobu provozu, mohou se měnit v širokých mezích

Zákon o ochraně ovzduší vztahuje emisní limity na koncentrace přepočtené na suchý plyn při normálních podmínkách 101,32 [kPa], 0 [°C] a pro obsah kyslíku ve spalinách pro

tuhá paliva	6 [%] O ₂	$\lambda \neq 1,4$
dřevní odpad	11 [%] O ₂	$\lambda \neq 2,1$
kapalná paliva	3 [%] O ₂	$\lambda \neq 1,17$
plynná paliva	3 [%] O ₂	$\lambda \neq 1,17$

Při kombinovaném spalování, např. při spalování dřevní hmoty a uhlí je velký rozdíl referenčního obsahu kyslíku dle poměru spalovaných paliv, což může při výpočtech vést ke komplikacím a nepřesnostem.

$$O_{2sm} = \frac{x_1 - x_2}{100} + x_2$$

Podle [12] se navrhuje tento přepočít

kde x_1, x_2 , [%] referenční hodnota kyslíku pro biomasu, pro uhlí; A_1, A_2 [%] procentuální podíl biomasy.

Přepočít na jiný součinitel přebytku vzduchu se provede podle vztahu

$$[\mu]_{ref} = [\mu]_{m\check{e}r.} \cdot \frac{21 - [O_{2sm}]_{ref}}{21 - [O_2]_{m\check{e}r.}} = [\mu]_{m\check{e}r.} \cdot \frac{\lambda_{m\check{e}r.}}{\lambda_{smref}} \quad [kg/m_n^3]$$

kde μ je hmotnostní koncentrace škodlivin [kg/m_n^3], O_2 [%] objemová koncentrace kyslíku ve spalinách, λ [1] součinitel přebytku vzduchu, index $smref$ odpovídá požadované hodnotě porovnání, index $m\check{e}r$ je skutečná naměřená nebo napozorovaná hodnota.

Pro uvedený příklad výpočtu spalování dřevních odpadů jsou v tabulce 5.1 uvedeny orientační údaje součinitele přebytku vzduchu λ [1] z měření objemové koncentrace

ω_{O_2} [%] resp. ω_{CO_2} [%].

Tab. 5.1 Orientační údaje závislosti O_2 [%], CO_2 [%], λ [1] ve spalinách

λ	O_2	CO_2	λ	O_2	CO_2
1,3	4,8	15,5	1,7	8,7	11,9
1,4	6,0	14,4	1,8	9,4	11,2
1,5	7,0	13,5	1,9	10,0	10,6
1,6	7,9	12,6	2,0	10,5	10,1

Vzhledem k tomu, že se koncentrace škodlivin ve spalinách uvádějí v různých jednotkách, jsou uvedeny vztahy pro v praxi nejobvyklejší přepočty.

Je-li měřením zjištěna koncentrace SO_2 ve spalinách X [%], přepočte se objemová koncentrace na koncentraci hmotnostní: $[X/100] \cdot 2,926 = \mu_{(SO_2)} \quad [kg_{(SO_2)}/m_n^3]$

Přepočít CO [mg/m_n^3] na CO [% obj.] $X_{CO} [mg/m_n^3] \cdot 8 \cdot 10^{-5} = Y_{CO} \quad [%]$

Při měření škodlivin ve spalinách moderními přístroji jsou výsledky měření obvykle uváděny v ppm objemových

$$NO [ppm \text{ obj.}] \cdot 1,339 = NO [mg/m_n^3]$$

$$NO [mg/m_n^3] \cdot 1,5332 = NO_2 [mg/m_n^3]$$

Pro přepočít na různý součinitel přebytku vzduchu pro určení NO_2 [mg/m_n^3] platí vztah

$$NO_2 [mg/m_n^3] = \frac{21 - [O_2]_{ref}}{21 - [O_2]_{m\check{e}r.}} \cdot 2,05 \quad [NO (ppm) + NO_2 (ppm)]$$

Důležitější přepočtové faktory jsou uvedeny v tabulce 5.2.

Tab. 5.2 Přepočtové faktory (ppm obj; mg/m^3)

	ppm	mg/m^3
CO	1	1,249
CO ₂	1	1,963
SO ₂	1	2,859
NO	1	1,339
NO ₂	1	2,053
O ₂	1	1,427

Obecně platí vztah

$$1 [ppm] = \frac{cm^3}{m^3} = \frac{\text{molová hmotnost plynu}}{\text{molárníobjem}} = \frac{M}{22,4} [mg/m_n^3]$$

6 Výtopny a teplárny (kogenerace)

Jak již dříve bylo uvedeno, lze zásobování teplem nejjednodušeji zajistit spálením vhodného paliva v kotli a dopravou vyrobeného tepla ke spotřebiteli. Pro takováto řešení vycházejí nižší pořizovací náklady, účinnost této transformace je obvykle vysoká, avšak ztrácí se při ní exergie paliva (tj. schopnost vykonat prostřednictvím uvolněného tepla práci). V tomto případě je celková účinnost vyjádřena vztahem

$$\eta_c = \frac{\text{energie získaná}}{\text{energie spotřebovaná}} = \frac{Q_{\text{dod}}}{Q_{\text{pal}}} = \frac{Q_{\text{dod}}}{M_{\text{pv}} \cdot Q_n}$$

Výše uvedený vztah je velmi jednoduchý, problém je však v přesnosti určení jednotlivých ukazatelů, zvláště přivedeného tepla v palivu do výrobního procesu. Nevýhodou takto zjištěné účinnosti (převrácená hodnota je měrnou spotřebou) je okolnost, že nelze provést rozbor jednotlivých bilancí s cílem sledování absolutní velikosti dílčích ztrát a jejich vliv na případné zhoršení měrné spotřeby tepla. Proto je potřebné vycházet z metod, které používají i určování ztrát jednotlivých částí a umožňují zjištění původu a příčin vzniku odchylek od optimálních hodnot. Např. účinnost kotle se stanoví i nepřímou metodou měřením jednotlivých ztrát, zjišťují se ztráty teplovodů aj.

Pro určení měrné spotřeby energie v palivu na dodávku tepla lze použít vztah

$$S_{\text{pal}}^{\text{td}} = \frac{M_{\text{pal}}}{Q_{\text{dod}}} = m_{\text{pal}} \cdot k_q \quad [1; \text{GJ} / \text{GJ}]$$

kde m_{pal} je měrná spotřeba energie v palivu na vyrobené teplo

$$m_{\text{pal}} = \frac{1}{\eta_{\text{kt}}} \quad [\text{G} / \text{GJ}]$$

$$k_q = \frac{Q_{\text{vyr}}}{Q_{\text{dod}}} \quad [1]$$

koeficient vlastní spotřeby a ztrát tepla

Mnohem dokonalejší využití energie se docílí kombinovanou výrobou elektřiny E a tepla Q (KVET) z téhož primárního zdroje. Ve srovnání s oddělenou výrobou elektřiny a tepla přináší KVET úspory energie ve výši 20 až 40 [%] a snížení emisí tuhých látek SO_2 , NO_x i CO_2 . Teplárna je energetickou výrobnou, jejíž podstatou je KVET; k základním typům patří parní teplárna, plynová teplárna a paroplynová teplárna. V poslední době se častěji používá výraz kogenerace, který je ekvivalentní pojmu KVET.

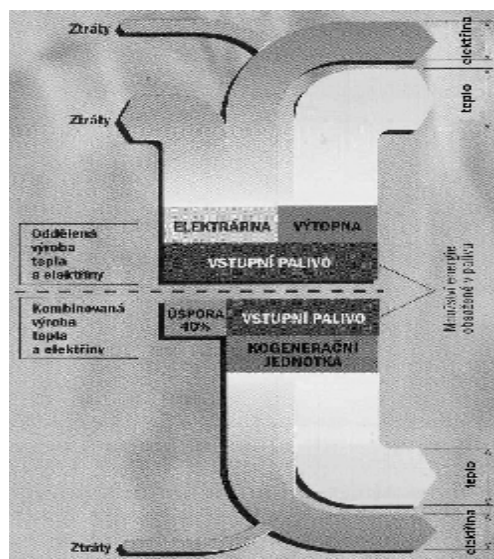
Podíl finálních produktů teplárny se označuje jako modul teplárenské výroby e , resp. modul teplárenských výkonů p

$$e = \frac{E}{Q}; \quad p = \frac{P}{Q}$$

V obr. 6.1 je zjednodušeně uvedeno porovnání toků energií při oddělené výrobě elektřiny a tepla a při KVET.

Pro vyjádření snížení spotřeby tepla z primárních zdrojů vyjdeme ze vztahu pro účinnost parní teplárny

$$\eta_{\text{tep}} = \frac{E_{\text{tep}} + Q_{\text{dod}}}{Q_{\text{pv}}} \rightarrow \text{spotřeba tepla } Q_{\text{pv}} = \frac{E_{\text{ep}} + Q_{\text{dod}}}{\eta_{\text{tep}}}$$



Obr. 6.1 Porovnání oddělené výroby elektřiny v kondenzační elektrárně, výroby tepla ve výtopně s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla.

Na dodávku stejných energií se spotřebuje ve výtopně teplo

$$Q_{\text{výť}} = \frac{Q_{\text{dod}}}{\eta_{\text{výť}}} \quad \text{a v kondenzační elektrárně} \quad Q_{\text{el}} = \frac{E_{\text{tep}}}{\eta_{\text{el}} \cdot \eta_{\text{rozv}}}$$

Úspora tepla z primárních zdrojů se určí vztahem

$$Q_{\text{ús}} = Q_{\text{el}} + Q_{\text{výť}} - Q_{\text{pv}} = Q_{\text{dod}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{výť}}} - \frac{1}{\eta_{\text{tep}}} \right) + E_{\text{tep}} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{el}} \cdot \eta_{\text{rozv}}} - \frac{1}{\eta_{\text{tep}}} \right)$$

Dosadíme-li do vztahu modul teplárenské výroby

$$Q_{\text{ús}} = Q_{\text{dod}} \cdot \left[\left(\frac{1}{\eta_{\text{výť}}} - \frac{1}{\eta_{\text{tep}}} \right) + e \cdot \left(\frac{1}{\eta_{\text{el}} \cdot \eta_{\text{rozv}}} - \frac{1}{\eta_{\text{tep}}} \right) \right]$$

Ve vztazích je index $_{\text{dod}}$ pro dodané množství tepla, $_{\text{výť}}$ výtopna, $_{\text{el}}$ elektrárna, $_{\text{rozv}}$ rozvod elektřiny z elektrárny k místu spotřeby.

Modul teplárenské výroby má dominantní vliv na všechny parametry kombinované výroby elektřiny a tepla. Druhý člen posledního vztahu kvantitativně vyjadřuje teplárenský princip (pro orientační výpočty se uvažuje $\eta_{\text{el}} = 0,35; \eta_{\text{rozv}} = 0,95; \eta_{\text{výť}} = 0,85 \div 0,90$).

Velikost teplárenského modulu a zčásti i účinnost teplárny závisí na použitém technologickém zařízení.

Tab. 6.1 Modul teplárenské výroby elektřiny v různých kogeneračních zařízeních. ¹⁰

Teplárny	e
s parními turbínami	0,1 ÷ 0,4
se spalovacími turbínami	0,3 ÷ 0,6
se spalovacími motory	0,65 ÷ 0,75
paroplynové	0,7 ÷ 1,2

¹⁰ Pramen: Krbek, J., Polesný, M. []

V tabulce 6.2 je uveden pro orientaci příklad možného snížení spotřeby tepla primárních zdrojů při kogeneraci oproti rozdělené výrobě.

Tab. 6.2 Snížení spotřeby tepla při kogeneraci

Modul teplotní výroby elektřiny e [1]	Snížení spotřeby tepla D Q [%]
0,2	16
0,4	30
0,6	37
0,8	40
1,0	43
1,2	45

Při studiích, projektech musí být každá možná alternativa jednotlivě počítána s cílem dosažení maximální efektivity. Čím vyšší je modul teplotní výroby elektřiny, tím méně je třeba vyrábět elektřinu s nízkou účinností v kondenzačních elektrárnách a proto je úspora paliva kombinovanou výrobou elektřiny a tepla tak významná. Dodržování této zásady se často označuje jako první teplotní zásada. Modul teplotní výroby elektřiny kromě typu teplotní, technických parametrů aj. závisí výrazně na teplotní úrovni dodávaného tepla. Se vzrůstající teplotou teplotní vody (zejména u parních teplotních s nízkými parametry páry) klesá a značně nižší je při dodávce tepla v páře.

Při transformaci biomasy zplyněním a výrobě pohonných látek z biopaliv je možné využít moderních kogeneračních jednotek. Kombinovanou výrobu elektřiny a tepla z biopaliv je možné zajišťovat pomocí parních strojů (např. vývoj parního stroje s využitím základních komponent vznětového motoru), parních turbín protitlakých a odběrových, plynových turbín, spalovacích motorů, paroplynových bloků, nejnověji z mikroturbín (turbínová biologická kogenerace). Možné jsou i kombinace biopaliv s uhlím, zemním plynem i topnými oleji.

V tabulce 6.3 jsou informativní hodnoty možných dosažitelných modulů teplotní výroby elektřiny a předpokládaná celková účinnost zhodnocení primárního paliva.

Tab. 6.3 Modul teplotní výroby elektřiny (e) a celková účinnost (η) při použití biopaliv.

Kogenerační zařízení	e	h
parní turbína (kotel na biopalivo)	0,10 ÷ 0,25	0,80 ÷ 0,85
parní turbína (zplyňování biopaliva)	0,08 ÷ 0,22	0,75 ÷ 0,80
plynová turbína	0,42 ÷ 0,75	0,72 ÷ 0,88
spalovací motory	0,54 ÷ 0,75	0,75 ÷ 0,85
paroplynové bloky	0,60 ÷ 1,20	0,70 ÷ 0,82
mikrotubíny	0,50 ÷ 0,65	0,72 ÷ 0,86

Vývoj plynových mikroturbín v poslední době značně pokročil v důsledku využití raketové technologie. Mají jen jednu pohyblivou část – společný hřídel s jednostupňovou radiální turbínou, kompresorem a alternátorem, uložený ve vzduchových ložiskách. Otáčky 70 000 až 100 000 za minutu umožňují zmenšit rozměry a snížit spotřebu materiálu. Střídavý proud vyráběný s vysokou frekvencí se polovodičovým měničem přeměňuje na stejnosměrný a potom na střídavý proud s frekvencí 50 [Hz]. Tepelný regenerační výměník zvyšuje exergetickou účinnost. Jsou spolehlivé, mají nízké náklady na údržbu, nízké emise NO_x a pracují prakticky bez spotřeby oleje.

Pro dosažení nejpříznivějších ekonomických (při dodržení ekologických limitů) výsledků je potřebné, aby kogenerační jednotky byly vyloženy tak, aby mohly být provozovány s jmenovitým tepelným i elektrickým výkonem (kogenerační jednotky jsou obvykle nejhospodárnější při provozu s P_{jm}).

V řadě případů je značným problémem pro kogenerační jednotku zajistit plynulý odběr tepla s vysokým časovým využitím, v teplárenství jde zejména o zajištění dodávek tepla v přechodném a letním období (přebytek elektřiny se snadno dodá do sítě). Pro řešení této situace se stále více používá trigenerace – teplo, elektřina a chlazení. Trigenerace je v podstatě kogenerace, kogenerační jednotka (s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla), která je vybavena chladicím zařízením, takže může disponovat přiměřeným chladicím výkonem pro technologické nebo klimatizační účely. Chlazení může být kompresorové nebo absorpční. V prvním případě se kompresor chladicího zařízení pohání elektromotorem napájeným elektřinou z kogenerační jednotky (náklady na elektřinu nižší než při jejím nákupu ze sítě). Toto řešení však neřeší přebytek dodávek tepla, využití tepla z kogenerační jednotky je možné v případě absorpčního chlazení. Ekonomická výhodnost použití trigenerace je podmíněna dostatečně velkým odběrem chladu. V případě absorpčního chlazení se z paliva potřebného k získávání tepla vyrobí navíc dražší forma energie – elektřina, takže celkové náklady se snižují.

6.1 Připojování malých zdrojů do sítí distribučních energetických společností

Výrobní elektřiny používající jako paliva biomasy patří většinou k malým výrobnám s výkonem v rozmezí od 10 [kW] do jednotek [MW]. Nejčastěji se elektřina využívá pro vlastní spotřebu objektu, v němž je výrobní jednotka umístěna. Přebytky elektřiny je možné dodávat do distribučních sítí nízkého a vysokého napětí distribučních společností. Velikostí svého výkonu a množstvím vyrobené elektřiny ovlivňují chod elektrizační soustavy pouze lokálně v místech vyvedení elektrického výkonu. Přesto při připojování malých zdrojů do distribučních sítí třeba věnovat značnou pozornost protože může dojít k rušivému ovlivňování odběratelů, kteří jsou z těchto sítí napájeni. Ke snížení zpětných vlivů malých zdrojů na přijatelnou míru je nutno při rozhodování o způsobu připojení a provozování dodržet přijaté mezní hodnoty zpětných vlivů na distribuční síť. Podle mezinárodních a našich doporučení je nutno kontrolovat tyto vlivy:

- změny a kolísání napětí,
- nesymetrie,
- harmonické a meziharmonické,
- vlivy na hromadné dálkové ovládání,
- provoz a odpojení v nežádoucích stavech (např. při ztrátě napětí, při ostrovním provozu).

7 Zplyňování biomasy

Zplyňování je proces, při kterém se hořlavá hmota paliva mění na palivo plyné při určité teplotě za omezeného přístupu vzduchu. Na plyné palivo se rozkládají i produkty suché destilace. Umožňuje variabilnější a účinnější využití biomasy, zejména možnost uplatnění kogeneračních jednotek.

Pro zplyňování biomasy se používá → zplyňování v generátorech s pevným ložem,
→ zplyňování ve fluidních generátorech.

Uspořádání může být protiproudé, souproudé nebo fluidní. U druhé metody probíhá zplyňovací proces při teplotách 850 až 1000 [°C]. Při těchto vysokých teplotách se vzniklé dehty, fenoly, mastné kyseliny, aromaty a jiné látky rozkládají na jednodušší snadno spalitelné plyny, takže výstupní plyn lze použít v turbínách nebo motorech bez nebezpečí jejich zadehtování (jinak musí být zajištěno zařízení pro úpravu plynu).

Zplyňovací zařízení je vhodné pro využití místních zdrojů dřevních odpadů, má však nižší účinnost výroby elektřiny (~ 17 až 20 [%]), výhřevnost plynu je asi 5 až 6 [MJ/m³].

Výhřevnost vyrobeného dřevního plynu se určí dle vztahu

$$Q_{\text{ndp}} = 127,7 \text{ CO} + 107,6 \text{ H}_2 + 354,4 \text{ CH}_4 \quad [\text{kJ} / \text{m}_n^3] \quad \rightarrow \quad \text{CO, H}_2, \text{CH}_4 [\%]$$

Účinnost zplyňování

$$\eta_{\text{spl}} = \frac{Q_{\text{ndp}} \cdot V}{Q_n \cdot M_{\text{pv}}} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde Q_n [kJ/kg] je výhřevnost zplyňovaného dřevního odpadu, M_{pv} [kg] hmotnost zplyňovaného paliva, V [m³] objem vyrobeného dřevního plynu.

Při použití motoru je celková účinnost zařízení (elektrocentrála)

$$\eta_c = \frac{3600 \cdot P}{Q_n \cdot M_p} \cdot 100 \quad [\%]$$

kde je P [kWh] vyrobená elektřina, η_{mot} [1] účinnost spalovacího motoru, η_a [1] účinnost alternátoru

$$\eta_c = \eta_{\text{spl}} \cdot \eta_{\text{mot}} \cdot \eta_a$$

Výhodou zplyňování je, že výroba plynu umožňuje použití kogeneračních jednotek a tak zlepšení celkové hospodárnosti bude při kombinované výrobě elektřiny a tepla větší (P bude součtem výroby elektřiny a tepla).

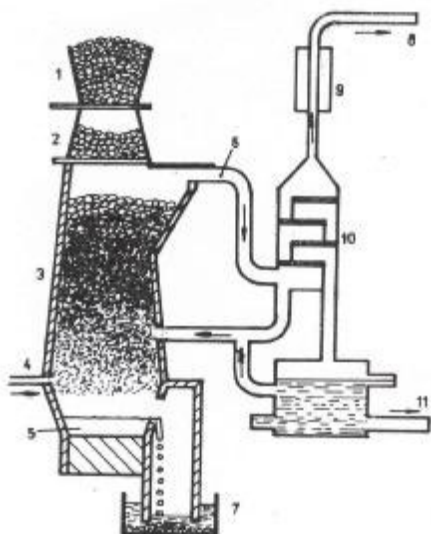
Vývoj nových technologií zplyňování ve světě pokračuje a jako příklad uvedeno zjednodušené schéma nově vyvíjené technologie Carbo – V Freiberg, Německo [5]. Hlavními složkami dřevního plynu je oxid uhelnatý a vodík, který je spalován v plynovém motoru. Kromě většího zařízení připravuje dodavatel i menší zařízení na 125 [kg/h] (500 [kW]) štěpky nebo jiné biomasy, což odpovídá spotřebě ~ 900 [t/rok]. Elektrický výkon je 125 [kW], tepelný asi 200 [kW] (ale při spádu 90/50 [°C]).

7.1 Zpracování odpadu zplyňováním (pyrolýzou)

Ve spalovnách odpadu se používá úplný pyrolytický nebo částečně pyrolytický způsob. Pyrolýzu lze označit jako zušlechtěný způsob spalování (stejný, ale technicky dokonalý proces jako palení dřevěného uhlí v mlířích).

Při pyrolýze je méněhodnotný spalitelný odpad v prvním stupni termicky rozkládán za nedostatku vzduchu. Při tomto procesu se odpad přeměňuje v kvalitní paliva (uhelnou hmotu a plyn). Plyn je v následném stupni míšen s dalším vzduchem a spalován.

Z méněhodnotných odpadů nebo paliv je možné pyrolýzou získat asi 50 [%] tepla. Jako příklad je uvedeno schéma pyrolyzačního odplyňovacího zařízení Purrox (Linde Division – USA).



V obr. 7.1 je 1 plnicí zásobník, 2 dávkovač, 3 komorový generátor, 4 vstup kyslíku, 5 tekutá struska, 6 pyrolyzační plyn, 7 výstup granulované strusky, 8 plyn do plynojemu, 9 chladič plynu, 10 čištění plynu (vodní), 11 odpadní voda

Obr. 7.1 Schéma zařízení Purrox

V posledních letech byla vyvinuta rychlá pyrolýza. Vstupní surovina (dřevní odpad či plodiny pěstované k energetickým účelům) musí být upravena na malé části (do 2 [mm]) a vysušena ($\sim W^r = 10$ [%]). Začátkem procesu je opět zahřívání biomasy na cca 500 [°C] bez přístupu vzduchu. Potom je vznikající plyn prudce ochlazen a tím vznikne volně tekoucí kondenzovaná směs mnoha látek s dobrými vlastnostmi pro energetické využití. Výhřevnost biooleje je cca 15 až 20 [MJ/kg] (\sim polovina výhřevnosti topného oleje), který může být využit v kogenerační jednotce.

Z 10 [t/h] vstupní biomasy o $W^r = 50$ [%] vznikne po vysušení na $W^r = 10$ [%] cca 7,3 [t/h] biomasy a po pyrolýze 5,3 [t/h] biooleje a 1 [t/h] plynu.

Proces tepelného rozkladu biomasy (pyrolýzy) je obvykle dražší než pouhé spalování, jeho výhodou je snažší omezení emisí než při spalování biomasy. Perspektivně i zde vzniká prostor pro optimalizaci různých variant využití biomasy v konkrétních regionech, zda je výroba vhodnější a univerzálnější výroba biooleje než zplyňování či výroba bioplynu.

8 Biochemická přeměna biomasy

Biochemické zpracování organických látek (biomasy) může probíhat jako metanové kvašení (fermentace) nebo jako etanolové kvašení, případně jako výroba bionafty. Pod pojmem konfermentace se rozumí současný rozklad směsi, např. rostlinných a živočišných látek. Bioplyn lze vyrábět z chlévské mrvy, z kejdy, biologicky odbouratelných domovních odpadů, potravinářského průmyslu, odpadů z čistíren odpadních vod, odpadního dřeva a polních plodin, z energetické fytomasy k tomuto účelu záměrně pěstované.

Metanové kvašení je proces, při kterém anaerobní bakterie rozkládají za nepřístupu vzduchu vyšší uhlovodíky na metan CH_4 a oxid uhličitý CO_2 . Z energetické bilance vyplývá, že asi 90 [%] energie se uvolňuje jako chemická energie metanu, zbytek se uvolňuje v průběhu chemické reakce jako teplo. Metan, v tomto případě označovaný jako bioplyn, se používá jako palivo.

Důležitou veličinou při výrobě bioplynu je teplota kvašení. Podle druhu bakterií může proces kvašení probíhat při 10 až 20 [°C], 20 až 40 [°C] nebo pro termofilní bakterie 50 až 55 [°C] (největší výtěžek bioplynu). Výroba bioplynu probíhá prakticky tak, že se exkrementy hospodářských zvířat přečerpávají do metanizačních (fermentačních) nádrží, kde se udržuje

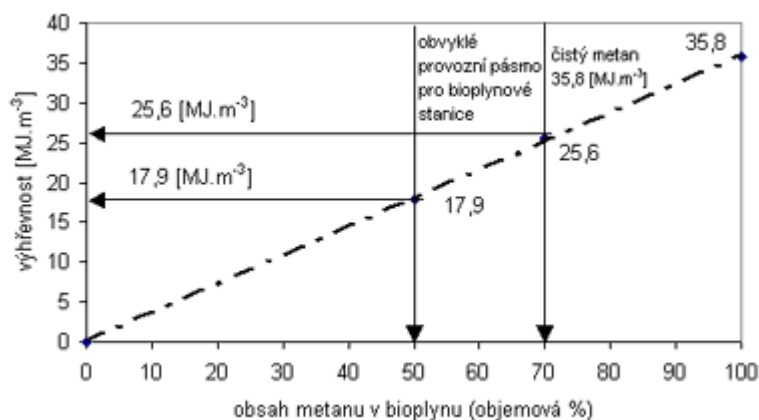
vhodná teplota a kde probíhá kvašení. Pro zahřívání fermentačních nádrží se spotřebuje 30 až 80 [%] energie vyrobené z bioplynu (podle jakosti izolace nádrží). Vzniklý bioplyn se z nádrží odvádí čistý (většinou se zachycují prachové částice a síra) a přivádí se ke spotřebiči (plynový motor, turbína, mikroturbína, kotel).

Informativní hodnoty o složení a vlastnostech suchého bioplynu jsou uvedeny v tabulce 8.1.

Tab. 8.1 Chemické složení a vlastnosti bioplynu

Charakteristika	Metan CH ₄	Oxid uhličitý CO ₂	Vodík H ₂	Sulfan H ₂ S	Bioplyn 60 [%] CH ₄ 40 [%] CO ₂
objemový díl [%]	55 až 70	27 až 47	1	3	100
výhřevnost [MJ/m ³]	35,8	-	10,8	22,8	21,5
hranice zápalnosti [obj. %]	5 až 15	-	4 až 80	4 až 45	6 až 12
zápalná teplota [°C]	650 až 750	-	585	-	650 až 750
hustota [kg/m ³]	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

V obr. 8.1 je uvedena závislost výhřevnosti na obsahu bioplynu



Obr. 8.1 Výhřevnost bioplynu v závislosti na obsahu metanu

Průměrná produkce exkrementů a výtěžnost bioplynu je uvedena v tabulce 4.18.

Nevýhodou výroby bioplynu jsou poměrně vysoké investiční náklady na vybudování výrobního zařízení. Např. měrné investiční náklady pro vybudování zařízení na zpracování kolem 30 000 [m³] kejdy za rok a výrobu elektrické energie (2 plynové motory o výkonu po 64 [kW] + tepelný výkon 212 [kW] činí orientačně kolem 90 000 [Kč/kW_e]). Výrobní náklady na bioplyn jsou tak cca 3,20 [Kč/m³] a na elektřinu 2,30 [Kč/kWh].

Etanolové kvašení spočívá ve fermentaci rostlinných látek obsahujících škrob, cukry a buničinu pomocí kvasinek nebo bakterií, přičemž vzniká etanol. Uvedený postup je základem výroby lihu v lihovarech. Ve větších lihovarech ČR se jako vstupní surovina používá melasa z cukrovarů, zatímco většina malých lihovarů využívá obilí a brambory. Etanol lze používat jako palivo nebo jako přísadu do paliva pro zážehové motory.

Výroba bionafty (řepkového metylesteru) se v podmínkách ČR provádí téměř výhradně z řepkového oleje. Ten se esterifikuje a konečným produktem je glycerin (glycerol), bionafta – metylester. Z 1000 [t] řepky lze přibližně získat 300 [t] řepkového metylesteru, 80 [t] surového glycerolu a asi 620 [t] řepkových výlisků pro krmné směsi. Řepkový metylester je palivo, které lze spalovat ve vznětových motorech podobně jako motorovou naftu (na rozdíl od řepkového oleje, který lze spalovat pouze ve vhodných nebo přizpůsobených motorech).

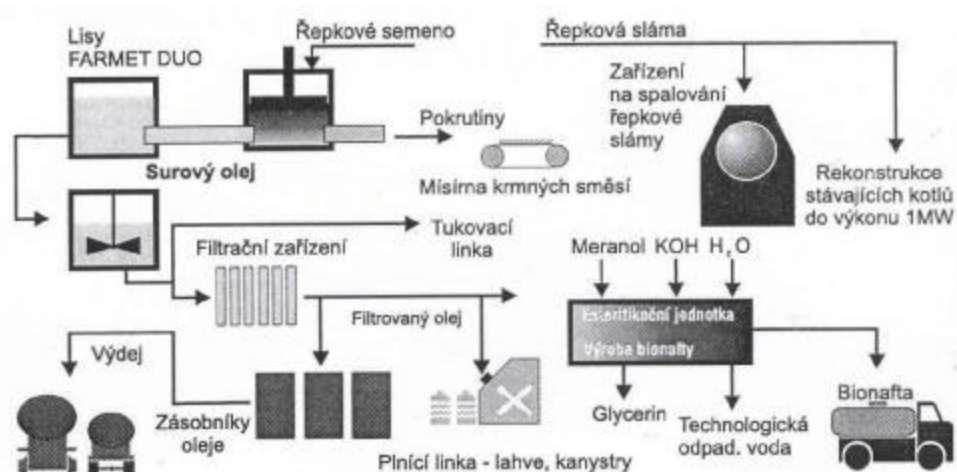
Výhodou řepkového metylesteru je vysoká výhřevnost, nižší kouřivost motoru, nižší koncentrace SO₂ ve spalínách, tedy vesměs environmentálně výhodné vlastnosti.

Nejčastěji používané suroviny pro výrobu metylesteru mastných kyselin:

- v Evropě řepka, slunečnice, použité tuky, živočišné tuky,
- v Severní Americe sója, řepka, slunečnice, použité tuky,
- ve východní Asii palmový olej, použité tuky, řepka.

Využití rostlinných olejů (řepkového)

V obr. 8.2 je zjednodušeně znázorněno schéma zpracování řepky [6]. Řepková semena lze lisovat za studena, vzniklý olej lze snadno dopravovat a skladovat. Olej se může upravit přidáváním metanolu na metylestery řepkových kyselin při výrobě paliva pro motory a využití v energetice.



Obr. 8.2 Schéma zpracování řepky

U nás lze úspěšně pěstovat na mnoha plochách i v podhorských oblastech. Možnost rozsáhlého zvětšení ploch na pěstování řepky je však omezena v důsledku nutného střídání plodin na osevních plochách. V tabulce 8.2 je srovnání výhřevnosti řepkového oleje s olejem topným.

Tab. 8.2 Výhřevnost řepkového oleje

Palivo	Výhřevnost [MJ/kg]	Výhřevnost [kWh/kg]
Řepkový olej	37,1	10,3
Topný olej	42,7	11,9

9 Hospodárnost a technickohospodářské ukazatele při využití biomasy pro výrobu tepla a elektřiny

Při spalování biomasy, kromě některých speciálních odchylek, platí vztahy pro posouzení hospodárnosti, optimalizaci provozu a výpočet technickohospodářských ukazatelů jako pro klasická tuhá paliva [7]. Při využití biomasy jde obvykle o zařízení menšího výkonu, jsou používány nižší parametry páry, což u parních zařízení, pracujících podle Clasius-Rankinova oběhu vede k nižší tepelné účinnosti (obvykle $\eta < 30$ [%]). Nahradit tuto zhoršenou účinnost (zvýšenou spotřebu primární energie) je možné rozvojem kombinované výroby elektřiny a tepla. U výtopených horkovodních kotlů může být dosaženo poměrně vysokých účinností kotle, avšak jde jen o mono výrobu tepla a situace je tedy obdobná jako u výtopen spalujících zemní plyn. Musí být proto cílem hledat řešení, pro nejširší zajištění výstavby kogeneračních

jednotek a tak výrazně přispět ke zlepšení využívání primárních zdrojů energie a přispět ke snížení energetické náročnosti tvorby HDP.

9.1 Ukazatele pro kotle a turbíny

Jmenovitý tepelný výkon

parního kotle

$$P_Q = M_p \cdot i_p - M_{nv} \cdot i_{nv} \quad [\text{kW}]$$

teplovodního, horkovodního

$$P_Q = M_v (i_2 - i_1) \quad [\text{kW}]$$

kde je M [kg/s] hmotnostní průtok, i [kJ/kg] entalpie

indexy značí: p ® páru, nv ® napájecí vodu, v ® vodu, 1 ® vstup, 2 ® výstup

Účinnost parního kotle

$$\eta_{kt} = \frac{M_p (i_p - i_{nv})}{M_{pv} \cdot Q_{nr}} \quad [1] \quad [9.1]$$

Účinnost horkovodního kotle

$$\eta_{kt} = \frac{M_v (i_2 - i_1)}{M_{pv} \cdot Q_{nr}} \quad [1] \quad [9.2]$$

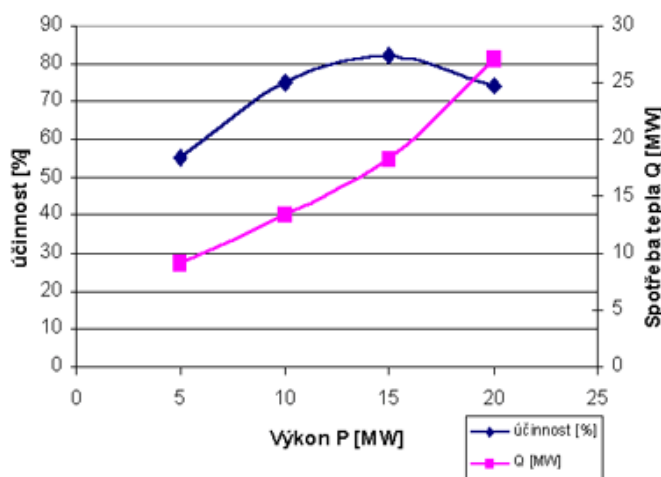
kde je M_{pv} [kg/s] spotřeba paliva, Q_{nr} [kJ/kg] korigovaná výhřevnost paliva (pokud není spalovací vzduch ohříván z cizího zdroje $Q_{nr} \neq Q_n$)

Z měření účinnosti na několika výkonových úrovních se vypočítá spotřeba tepla ze vztahu

$$Q = \frac{P}{\eta_{kt}} \quad [\text{MW}; \text{GJ/h}]$$

kde P [MW; GJ/h] je tepelný výkon kotle, η_{kt} [1] účinnost kotle.

Vypočítané hodnoty Q se zakreslí do grafu v závislosti na výkonu P a spojením získaných bodů se získá spotřební (energetická) charakteristika, obr. 9.1. Pro matematické vyjádření se provede aproximace změřené spotřební charakteristiky vhodnou modelovou křivkou.



Obr. 9.1 Spotřební charakteristika kotle

$$Q = f(P); \text{ účinnost } \eta = \frac{P}{Q}; \text{ poměrný přírůstek } b = \frac{dQ}{dP}$$

U moderních kotlů spalujících biomasu je obvykle již v projektu zajištěno vážení biomasy, zavážené do kotle, což umožňuje tzv. přímé určení účinnosti kotle podle vztahu (9.1) či (9.2). Pro nerovnoměrnost velikosti částic v palivu a kvality biomasy není obvykle přímé určení účinnosti kotle dostatečně přesné (i problém s určením průměrné hodnoty Q_n [MJ/kg] spalovaného paliva), zjišťuje se účinnost nepřímou metodou měřením jednotlivých ztrát. Vychází se ze vztahu

$$\eta_{kt} = 100 - \sum \zeta_i, \text{ kde } \sum \zeta = \zeta_{MN} + \zeta_{CN} + \zeta_f + \zeta_k + \zeta_{sv} \quad [\%]$$

Ztráta mechanickým nedopalem ζ_{MN}

$$\zeta_{MN} = \frac{C_i}{100 - C_i} \cdot \frac{X_i}{100} \cdot \frac{A^r}{Q_n} \cdot 32600 \quad [\%], \text{ kde je}$$

C_i [%] obsah hořlaviny v uvažovaném druhu tuhých zbytků,

X_i [%] obsah popela v palivu zachyceného v uvažovaném druhu tuhých zbytků, vztahený k obsahu popela v palivu přivedeném do kotle,

A^r [%] obsah popela ve spalovaném palivu,

Q_n [kJ/kg] výhřevnost paliva

Ztráta citelným teplem tuhých zbytků ζ_f

$$\zeta_f = \frac{A^r}{Q_n} \cdot \frac{X_i}{100 - C_i} \cdot c_i \cdot t_1 \quad [\%], \text{ kde je}$$

c_i [kJ/kg·°C] střední měrné teplo uvažovaného druhu tuhých zbytků při teplotě t_i ,

t_1 [°C] teplota tuhých zbytků,

Při spalování biomasy s minimálním obsahem popela jsou ztráty ζ_{MN} a ζ_f prakticky nulové.

Ztráta chemickým nedopalem ζ_{CN}

$$\zeta_{CN} = \frac{12610 \cdot \omega_{CO} + 10798 \cdot \omega_{H_2} + 38818 \cdot \omega_{CH_4}}{Q_n} \cdot V_{sn s} \quad [\%], \text{ kde je}$$

$\omega_{CO}, \omega_{H_2}, \omega_{CH_4}$ [%] obsah CO, H₂, CH₄ a vyšších uhlovodíků ve spalinách,

$V_{sn s}$ [m³/kg] objem suchých spalin vzniklých z 1 [kg] tuhého paliva resp. z 1 [m³] plynného paliva [m³/m³].

Obsah ω_{CO} patří mezi důležité environmentální ukazatele a pro řízení provozu je velmi důležité dodržování minimální hodnoty ω_{CO} (může být výrazně ovlivňována i vlhkostí paliva).

Ztráta komínová ζ_k

$$\zeta_k = V_{sn v} \cdot \bar{c}_{sn ov} \cdot (t_{sn} - t_o) / Q_{nr} \quad [1], \text{ kde je}$$

$\bar{c}_{sn ov}$ [kJ/m³·K] střední integrální hodnota měrné tepelné kapacity spalin,

$V_{sn v}$ [m³/kg] skutečný objem vlhkých spalin,

t_{sn} [°C] teplota spalin za kotlem,

t_o [°C] vztázná teplota (určená z bilance kotle).

Pro rychlou orientaci se používá tzv. Siegertův vzorec

$$\zeta_k = k \cdot \frac{t_{sn} - t_{vz}}{\omega_{CO_2}} \quad [\%]$$

, kde je

t_{vz} [°C] teplota vzduchu vstupujícího do kotelního zařízení,

ω_{CO_2} [%] obsah CO₂ ve spalínách za kotlem,

k [1] konstanta podle druhu paliva k (pro biomasu $k = 0,99 \div 1,00$).

Ztráta sdílením tepla do okolí ζ_{sv}

Protože ztrátu sáláním a vedením průmyslových kotlů není možné měřit, používají se pro výpočet ztráty ζ_{sv} experimenty a provozem ověřené hodnoty, sestavené do regresních vztahů nebo diagramů.

$$\zeta_{sv} = k \cdot Q_{vyr\ jm}^{-0,35} \cdot 10^{-2} \quad [1]$$

Závislost ztráty sdílením tepla do okolí v závislosti na výkonu kotle je určena vztahem

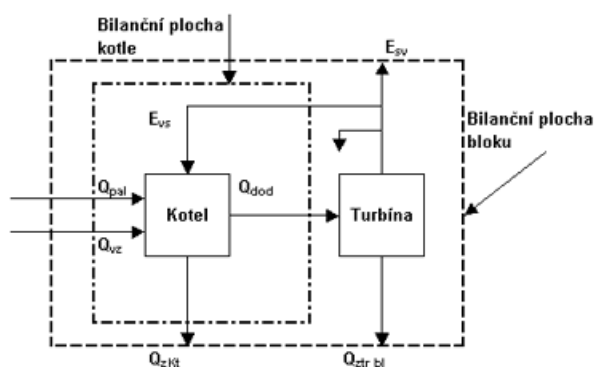
$$\zeta_{sv} = \zeta_{sv\ jm} \cdot \frac{Q_{vyr\ jm}}{Q_{vyr}} \quad [1]$$

Jmenovitý výkon kotle $Q_{vyr\ jm}$ a dílčí výkon kotle Q_{vyr} se do výpočtu dosazují v [MW].

Hodnoty konstant k jsou obvykle stanoveny pro různé druhy paliva; lignit a hnědé uhlí 3,5; olej, zemní plyn 1,5; pro biomasu do získání dalších poznatků z ověřování provozu je možné používat $k = 3,8$.

Výše uvedené vztahy pro účinnost kotle jsou určeny pro účinnost kotle hrubou (η_{btto}), která neuvažuje vlastní spotřebu elektřiny. Pro celkové hodnocení efektivity, porovnávání různých typů kotlů je třeba používat ukazatel čisté účinnosti kotle (η_{ntto}), která vlastní spotřebu elektřiny uvažuje.

Pro definici se vychází z energetické bilance kotle, obr. 9.2.



Obr. 9.2 Energetická bilance kotle

Poznámka:

V bilanci je uvažováno pro parní kotle teplo napájecí vody (implicitně), tzn.

$$Q_{dod} = Q_{vyr} - Q_{nv}; \quad Q_{vyr} = M_{pa} \cdot i_{pa}$$

Pro horkovodní kotle $P_Q = Q_{dod}$

Bilance kotle s uvažováním E_{vs} (vlastní spotřeba elektřiny - MWh)

$$Q_{\text{pal}} = 3,6 \cdot E_{\text{vs}} = Q_{\text{dod}} + \sum Q_{\text{zKt}} \quad [\text{GJ}] \quad /: Q_{\text{pal}}$$

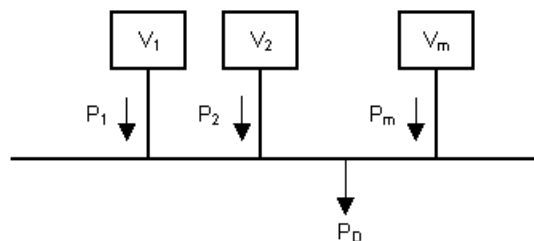
$$1 = \frac{Q_{\text{dod}} - 3,6 \cdot E_{\text{vs}}}{Q_{\text{pal}}} + \frac{\sum Q_{\text{zKt}}}{Q_{\text{pal}}} \quad 1 = \eta_{\text{ntto}} + \sum \zeta_i$$

Takto vyjadřovaná účinnost η_{ntto} však není úplně správná, protože v čitateli prvního zlomku na pravé straně rovnice se odečítají dvě různé formy energie, jejichž exergie je různá. Tuto nesrovnalost je možno odstranit tak, že se E_{vs} přepočte na teplo, ze kterého se tato E_{vs} vyrábí. Tento přepočet je zde proveden na teplo v palivu ($Q_{\text{pal vs}}$). Vychází se z toho, že část tepla v palivu se použije na výrobu E_{vs} a odpovídající množství páry je pro další účely nepoužitelné.

$$\begin{aligned} \text{Platí} \quad Q_{\text{pal}} &= (Q_{\text{pal}} - 3,6 \cdot E_{\text{vs}} / \eta_c) \cdot \eta_{\text{btto}} + \sum Q_{\text{zkt}} \quad /: Q_{\text{pal}} \\ 1 &= \frac{(Q_{\text{pal}} - 3,6 \cdot E_{\text{vs}} / \eta_c) \cdot \eta_{\text{btto}}}{Q_{\text{pal}}} + \frac{\sum Q_{\text{zkt}}}{Q_{\text{pal}}} ; \quad 1 = \eta_{\text{ntto}} + \sum \zeta_i \\ \eta_{\text{ntto}} &= \frac{(Q_{\text{pal}} - 3,6 \cdot E_{\text{vs}} / \eta_c) \cdot \eta_{\text{btto}}}{Q_{\text{pal}}} \end{aligned}$$

9.2 Hospodárné rozdělení výkonů paralelně pracujících energetických jednotek v soustavě

Při paralelním provozu energetických jednotek do společné soustavy obr. 9.3 se rozdělení výkonu na jednotlivé jednotky řeší tak, aby se celkově dosáhla nejnižší spotřeba paliva nebo nejnižší proměnné provozní náklady na výrobu a dodávku energie pro celkem požadované zatížení.



Obr. 9.3 Jednotky pracující do společné sítě

Při řešení úlohy hospodárného rozdělení výkonů se používají aktualizované nákladové charakteristiky jednotlivých výrobních jednotek (kotlů, turbín, teplárenských bloků), obvykle variabilní provozní náklady a různé výpočtové metody [10].

Při paralelním provozu bloků v ES se rozdělení výkonů na jednotlivé bloky řeší tak, aby se celkově dosáhla nejnižší spotřeba paliva nebo nejnižší proměnné provozní náklady výroby na výrobu, dodávku elektřiny pro celkem požadované zatížení soustavy. Při řešení úlohy hospodárného rozdělení výkonů se používají aktualizované nákladové charakteristiky jednotlivých bloků (obvykle variabilní provozní náklady) a různé výpočtové metody [7].

Pro uplatnění trhu s elektřinou se vyvíjejí a zavádějí nové softwarové produkty, podporující ekonomickou efektivnost a obchod s elektřinou.

Obecně se zařazují energetické jednotky technologického zařízení s různým jmenovitým výkonem a různými charakteristikami. Při paralelním provozu jednotek se rozdělování výkonů na jednotlivé jednotky řeší jako úloha extrémní funkce více proměnných s vedlejšími podmínkami. Současně třeba řešit úlohu optimalizace volby počtu a vhodné kombinace jednotek, aby byla zajištěna spolehlivá a hospodárná výroba energie pro zadané zatížení. Provoz bloků je nejvíce ovlivňován nočním, sobotním a nedělním snížením zatížení. Snížení

zatížení lze řešit změnou výkonu jednotek, nebo odstavením určitého počtu jednotek. Pro volbu odstávek nebo provozu při nízkém zatížení je třeba znát velikost ztrát spojených s odstavením a opětovným spuštěním jednotek.

Jedním často používaným řešením pro optimalizaci provozu při paralelní spolupráci m jednotek je užití Lagrangeovy metody neurčitých multiplikátorů.

Nákladové charakteristiky (variabilní náklady, někdy se používají jen palivové náklady) jsou obvykle ve tvaru

$$N = \sum_{i=1}^m a + a_1 P_i + a_2 P_i^2 \quad (\text{kde } a, a_1, a_2 \text{ jsou koeficienty aproximační funkce})$$

$$P_D = \sum_{i=1}^m P_i \quad \text{viz. obr. 9.3} \quad P_D - \sum_{i=1}^m P_i = 0$$

$$\text{Lagrangeova funkce} \quad L = N_C + \lambda \left[P_D - \sum_{i=1}^m P_i \right] \quad \text{kde } N_C = \sum_{i=1}^m N_i(P_i)$$

Po provedení parciální derivace L při respektování $P_i \rightarrow 0$

$$\lambda = \frac{\partial N_i}{\partial P_i} = \frac{\partial N_1}{\partial P_1} = \frac{\partial N_2}{\partial P_2} = \dots$$

Poměrný přírůstek nákladů i – té jednotky při jednotkové změně činného výkonu se u nás označuje b.

$$\frac{\partial N_i}{\partial P_i} = b_i$$

Podle výpočtu touto metodou je optimální rozdělení výkonů dosaženo při rovnosti poměrných přírůstků nákladů všech jednotek (zdrojů)

$$b_1 = b_2 = \dots b_n$$

$$\text{Řešení platí pro nelineární funkci } N_i(P_i) \text{ a } \frac{\partial N_i(P_i)}{\partial P_i^2} > 0$$

Pokud je $N_i = f(P_i)$ lineární, je $b_i = \text{konst.}$ V tomto případě je kritérium hospodárného rozdělení výkonů $b_1 < b_2 < b_3 \dots < b_n$

V tomto případě se nasazují postupně výkony jednotlivých zdrojů P_i v regulačním rozsahu podle velikosti poměrných přírůstků, počínaje zdrojem s nejnižším poměrným přírůstkem až do splnění bilanční rovnice.

Pro zajištění dodržení regulačních výkonů jednotek (P_{\min} až P_{\max}) lze použít vztahu

$$\lambda = \frac{2P_D + \sum_{i=1}^m a_1}{\sum_{i=1}^m a_2} \quad P_i = \frac{\lambda - a_1}{2 \cdot a_2} \rightarrow \lambda = 2(a_2) \cdot P_i + a_1$$

I při spalování biomasy musí být dodržovány fyzikální, ekonomické zákony a plně využity pro hospodárny a ekologický provoz. Často jsou slyšeny hlasy, že při využití biomasy jsou podmínky pro provoz a údržbu o mnoho obtížnější než při použití klasických paliv a těžko se dodržují. Jistěže jsou značné problémy se zaváděním nových technologií, ale chceme-li dosáhnout toho, co chceme od využití biomasy, třeba situaci tak zlepšovat, aby se odstranily stížnosti na stav, který je definován tím, že „musíme použít palivo jaké seženeme“

na stav takový „dodejte co potřebujeme“ (soulad využití odpadů biomasy, cíleně pěstované biomasy).

Při zlepšení této situace je hospodárné řazení a rozdělování výkonů velmi důležité zvláště při spalování cenově velmi odlišných paliv při využití biomasy a optimálním řízením lze získat významné úspory v přípravě provozu a vlastním provozu. Pro dosažení tohoto stavu mohou významně přispívat i dodávky regulačních obvodů nových zařízení, zajišťující stabilizaci provozu. Hospodárné řazení a rozdělování výkonů bude např. možné i u kotlů, které mají stupňovou výkonovou regulaci (např. dánské kotle).

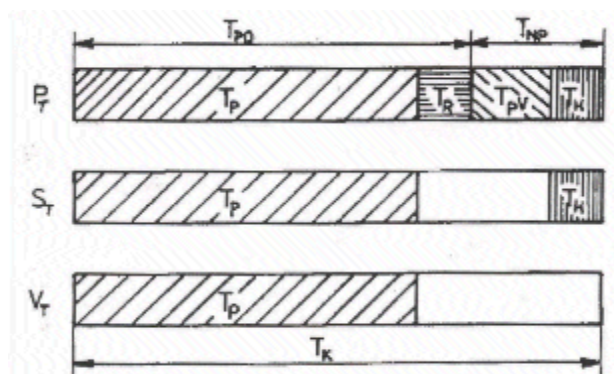
10 Spolehlivost výroby tepla a elektřiny

Spolehlivá dodávka elektřiny a tepla je nutnou podmínkou pro zajištění plynulého chodu státu a vysoké životní úrovně obyvatelstva. Výpadky dodávek energií mohou způsobit podle charakteru odběratelů různé ztráty s případnými důsledky i v oblasti životní úrovně obyvatelstva, postojů a nálad lidí.

Zvyšující se nástup k širšímu využití biomasy v regionech a městech ČR pro výrobu tepla a elektřiny, používání stále složitější techniky vyžaduje seriózně se zabývat problematikou spolehlivosti, hospodárnosti a ekologie.

Dříve byla biomasa převážně používána pro spalování a často stačilo hodnocení spolehlivosti jako dobrá, horší, špatná. V dnešní době při používání stále složitější technologie energetických jednotek při využívání biomasy, aplikace moderních řídicích systémů v decentralizované soustavě či propojení s veřejnou sítí takovéto hodnocení nestačí a je třeba posuzovat a vykazovat spolehlivost zařízení kvantitativně při použití různých ukazatelů. Sběr dat a výpočty ukazatelů umožňují analyzovat poruchy, odstraňování poruchových míst a zvyšování využití. Vybrané ukazatele jsou vhodné i pro srovnání zařízení využívajících biomasu mezi sebou.

Pro rychlé posouzení můžeme pro analýzu energetických jednotek (zařízení) zjednodušeně použít následující ukazatele (časové údaje o provozu jednotky, obr. 10.1).



Obr. 10.1 Časové údaje o provozu jednotky

kde je T_K sledované kalendářní období; T_p provozní doba; T_R záloha; $T_{po} = T_p + T_R$ pohotovost; $T_{NP} = T_{pv} + T_H$ nepohotovost; T_{pv} plánované výpadky, T_H neplánované výpadky (poruchy).

Časové vyjádření ukazatelů

$$V_T = \frac{\sum T_p}{T_K} = \frac{\sum T_p}{\sum T_p + \sum T_R + \sum T_{pv} + \sum T_H}$$

využití

$$P_T = \frac{\sum T_p + \sum T_R}{T_K} = 1 - \frac{\sum T_{pV} + \sum T_H}{\sum T_p + \sum T_R + \sum T_{pV} + \sum T_H}$$

pohotovost

$$S_T = \frac{\sum T_p}{\sum T_p + \sum T_H} = 1 - \frac{\sum T_H}{\sum T_K - \sum T_R - \sum T_{pV}}$$

spolehlivost

Za předpokladu exponenciálního rozdělení dob poruch a oprav lze použít následující ukazatele.

Spolehlivost

- sleduje se střední doba mezi poruchami (Mean Time Between Failure) $m = 1/\lambda$
- pro exponenciální rozdělení $\lambda = \text{konst.}$ $R = \exp[-\lambda \cdot t]$
- pravděpodobnost n poruch za dobu t $P_n(t) = \sum_{i=0}^n \frac{(\lambda \cdot t)^i \cdot e^{-\lambda \cdot t}}{i!}$
- spolehlivostní ukazatele celého zařízení
- možnosti výpadků a účinnosti (Failure Mode and Effects Analysis)

Pohotovost

- je vlastně ukazatelem složeným, spolehlivosti, opravitelnosti a udržovatelnosti
- sledují se neplánované výpadky
- plánované výpadky

Opravitelnost a udržovatelnost

- sleduje se střední doba opravy (Mean Time to Repair) $r = \int_0^{\infty} t \frac{dM(t)}{dt} dt$
- při konstantní intenzitě oprav μ $r = \frac{1}{\mu}$
- údržba (doba realizace)
- zajištění náhradních dílů

Využití

- sledují se a vyhodnocují se délky provozních period
- plnění požadavků odběratelů

kde λ [1/čas] je intenzita poruch, μ [1/čas] intenzita oprav po poruše.

U energetické jednotky vyšší spolehlivost a pohotovost umožňuje vyšší výrobu elektřiny a tepla při stejných stálých nákladech. Vyšší spolehlivost také přináší vyšší finanční efekt vykoupením většího množství energií. Strategií údržby energetického zařízení lze ovlivnit všechny výše uvedené ukazatele.

11 Technickoekonomická efektivnost

Výhodnost energetických investic se posuzuje technicko-ekonomickou efektivností. Jednotlivé faktory hodnocení se vyjadřují hodnotově (finančně) jako částky získané (tržby, výnosy) nebo vynaložené (náklady) ve spojitosti s posuzovanou investicí. Kritérium

technickoekonomické efektivnosti se potom počítá z tzv. kriteriálních rovnic [7]. Při sestavování kriteriálních rovnic je nutno vzít v úvahu především dvě skutečnosti

- finanční částky, vynaložené nebo přijaté v různou dobu mají různou reálnou hodnotu (odlišnou od nominální hodnoty),
- v kriteriálních rovnicích nelze jednoduchým způsobem sumarizovat částky vynakládané jednorázově nebo pravidelně ročně, neboť tyto částky mají různý rozměr [Kč a Kč/rok].

První problém se řeší tzv. aktualizací finančních částek, tj. přepočtem všech finančních částek týkajících se posuzované investice ke společnému datu. V druhém případě jde obvykle o přepočet jednorázově vynaložených investičních nákladů na roční částky – odpisy, což souvisí s reprodukci investičních prostředků.

Pro věrohodné ocenění nějaké investiční varianty nebo již provozovaného podniku je analýza pohybu finančních prostředků, toku hotovosti (cash flow).

Obvykle se definuje [Kč/r]

$$\text{bilanční zisk (hrubý)} \quad Z_b = V - N_v - U_u$$

$$\text{disponibilní zisk (čistý)} \quad Z_d = Z_b - \Sigma D$$

$$\text{použitelný zisk} \quad Z_p = Z_d + N_o$$

$$\text{volný zisk} \quad Z_v = Z_p - S_u + F_{ost} - P_f - D_a$$

kde značí V tržby (výnosy) za vlastní výkony a prodané zboží (mimo DPH), N_v výrobní náklady, ΣD daně, N_o odpisy, S_u splátky úvěrů, F_{ost} finanční zdroje, P_f příděly fondům, D_a dividendy akcionářům, U_u úroky z úvěrů.

Roční výrobní náklady N_{vT} [Kč/r] jsou celkové náklady na zhotovení výrobku v T-tém roce.

V energetice se náklady dělí

- podle závislosti na zatížení energetické výroby na
 - a) pevné (fixní), nezávislé na zatížení výroby,
 - b) proměnné (variabilní), přímo úměrné zatížení (výrobě),
- podle způsobu vynakládání na
 - a) jednorázové (investiční, pořizovací) N_i [Kč]
 - b) roční provozní N_{pT} [Kč/r],

$$\text{takže platí} \quad N_{vT} = a_{Tz} N_i + N_{pT} \quad [\text{Kč/r}]$$

kde a_{Tz} [1/r] poměrná anuita pro dobu ekonomické životnosti T_z

$$a_{Tz} = \frac{r^{Tz} (r - 1)}{r^{Tz} - 1} \quad [1/r]$$

kde $r = 1 + p$ [1/r] úročitel (diskontní sazba), p [1] úroková míra.

V běžných případech v ekonomice ČR se obvykle volí $p = 10$ [%] a $r = 1,1$. Pro $T_z = 30$ let je $a_{Tz} = 0,106$ [1/r]. Lineární anuitní metoda odpisování se používá při posuzování projekčních variant. Z hlediska investora (při výpočtu tvorby zisku nebo sestavování plánu financování) se používá tzv. metoda prosté reprodukce ($N_o = N_i/T_z$ [Kč/r]). Provozovatel je povinen při výpočtu daně z příjmu použít metodu odpisování, která je definovaná zákonem č. 586/92 Sb. ve znění dalších zákonů a vyhlášek.

Investiční náklady N_i . V bilanci energetického podniku se rozlišují

- přímé investiční náklady $N_{i\text{pr}} = N_i - U - D_o$ [Kč]

kde U značí čerpání úvěru a D_o dotace,

- investice podniku $N_{i\text{pod}} = N_{i\text{pr}} + S_u + U_{ud} + P_{ud}$ [Kč]

kde S_u značí splátky úvěrů, U_{ud} úroky z úvěrů placené do doby uvedení do provozu, P_{ud} poplatky z úvěrů, rovněž placené do doby uvedení do provozu.

Měrné investiční náklady n_i [Kč/kW] jsou investiční náklady vztažené na instalovaný výkon výroby P_i [kW]

$$n_i = \frac{N_i}{P_i} \quad [\text{Kč/kW}]$$

Provozní náklady N_{pT} [Kč/r] jsou dány součtem nákladů

- palivových N_{pv} ,
- na provozní materiál N_{pm} ,
- na vodu N_v ,
- na opravy a údržbu N_{ou} ,
- na zakoupenou energii N_e ,
- na režii a ostatní N_{ro} ,
- na zakoupené služby N_{sl} ,
- na poplatky za znečištění životního prostředí (poplatky za exhalace a ukládání odpadů) N_{ex} ,
- na osobní náklady (mzdy včetně motivačních položek a zákonného pojištění) N_m

$$N_{pT} = \underbrace{N_{pv} + N_{pm} + N_v + N_e + N_{ex}}_{\text{variabilní náklady } N_{var}} + \underbrace{N_{ou} + N_{ro} + N_{sl} + N_m}_{\text{fixní náklady } N_{fix}} \quad [\text{Kč/r}]$$

variabilní náklady N_{var}

fixní náklady N_{fix}

(N_{ou} a N_m se obvykle počítají jako fixní náklady, ačkoliv přesněji vzato mají složku fixní i variabilní).

$$\text{Provozní náklady} \quad N_{pT} = N_{var} + N_{fix} \quad [\text{Kč/r}]$$

$$\text{Vlastní náklady} \quad N_{vl} = N_{pT} + N_o = N_{var} + N_{fix} + N_o \quad [\text{Kč/r}]$$

Dělení fixních a variabilních nákladů musí být v energetických výrobních podrobně analyzováno podle skutečných položek jednotlivých nákladů.

Měrné výrobní náklady n_v [Kč/kWh] jsou roční výrobní náklady vztažené na dodanou energii (elektřinu a teplo)

$$n_v = \frac{N_{vT}}{A_{pT}} \quad [\text{Kč/kWh}]$$

kde A_{pT} [kWh/r] je roční dodávka elektřiny (pro případ elektřiny).

11.1 Kritéria technickoekonomické efektivity

Dosud neexistuje všeobecně platné a univerzálně použitelné kritérium a v odborné literatuře je popsáno několik desítek kritériálních rovnic a kritérií technickoekonomické efektivity. Aby bylo posouzení správné, je nutno

- zvolit vhodný typ kritéria,
- při výpočtu použít správná vstupní data.

Cílem použití kritérií technicko-ekonomické efektivity je tedy v projekční i provozní praxi

- vybrat optimální variantu projektované investice nebo způsobu provozu, která

zajistí podnikatelskému subjektu maximální zisk při dodržení limitovaného objemu investičních prostředků,

- sestavit pořadí všech posuzovaných variant podle jejich technickoekonomické efektivity jako podklad pro respektování neekonomických faktorů.

A. Kritéria parciální (přibližná, preliminární), jsou nejjednodušší kritéria, která nerespektují všechny působící faktory. Jejich výhodou je rychlý, avšak přibližný výpočet. Patří sem

1. **Kritéria ročních výrobních nákladů** (kdy posuzované varianty mají shodné tržby a ekonomické životnosti)
2. **Lhůta splácení dodatkových investic**

B. Obecná kritéria. Tato kritéria jsou přesnější než kritéria parciální. Každé kritérium má přesně vymezený rozsah podmínek platnosti.

1. **Kritérium aktualizovaného zisku** (Net Present Value)
2. **Kritérium průměrných výrobních nákladů**
3. **Kritérium aktualizovaných výrobních nákladů** (Present Worth of Costs).
4. **Kritérium vnitřní úrokové míry** (vnitřní výnosnost, Internal Rate of Return, IRR)
5. **Kritérium diskontovaného toku hotovosti** (Discounted Cash Flow)
6. **Kritérium čistý ekonomický blahobyt**

Dosud uvedená kritéria posuzují technicko-ekonomickou efektivnost na základě hodnocení kvantifikovatelných faktorů. V poslední době vzrůstá důležitost také nekvantifikovatelných faktorů, např. míry ovlivnění životního prostředí projektovanou investicí. Nerespektování těchto nekvantifikovatelných faktorů klasickými kritérii se stává zejména v poslední době a zejména při posuzování investičních záměrů v souvislosti s vývojem územních celků (regionů, států) stále větším nedostatkem.

Nejnovější směry ekonomie proto definují makroekonomickou kategorii „čistý ekonomický blahobyt“ obce, území (NEW – Net Economic Welfare). Každá realizace podnikatelského záměru má dopady na obchodní bilanci regionu a na pozitivní a negativní externalitu, a tyto vlivy je nutno respektovat. Na základě kompromisu mezi přesností a průhledností jsou kromě dosud používaných faktorů v klasických kritériích užívány charakteristické indikátory vlivu realizace energetických (či průmyslových) podnikatelských záměrů na blahobyt oblasti podle tabulky 11.1.

Tab. 11.1 Charakteristické indikátory vlivu realizace energetických podnikatelských záměrů na blahobyt oblasti

Vliv	Indikátor
Obchodní bilance regionu	Saldo vývozů a dovozů
Pozitivní externalita	Míra nezaměstnanosti
Negativní externalita	Míra znečištění životního prostředí

Uvedené vybrané indikátory je nutno hodnotově ocenit. Saldo vývozů a dovozů se oceňuje v jejich nominální hodnotě (v tomto případě se příznivě projeví např. využití vlastních zdrojů biomasy v regionu ve srovnání s nákupem drahého zemního plynu). Vliv na zaměstnanost se oceňuje roční částkou státních výdajů na jednoho nezaměstnaného (v roce 2000 to bylo podle kvalifikovaného odhadu Ministerstva práce a sociálních věcí 156 tis. Kč/rok). Pro způsob hodnotového vyjádření vlivů na znečištění životního prostředí byly navrženy dvě skupiny metod. Jedna skupina metod vychází z peněžního hodnocení škod a nápravných opatření, druhá skupina vychází z hodnocení preventivních opatření (např. nákladů na odsířování spalin). Je zajímavé, že obě cesty vedou k přibližně stejným

výsledkům. Jedním z nejužívanějších způsobů ocenění externalit poškozování životního prostředí je doporučení ústavu Öko – Institut, Darmstadt (SRN), dle tabulky 11.2.

Tab. 11.2 Oceňování poškozování životního prostředí

Emise škodlivin	Externality [Kč/t]
CO ₂	900 ,-
SO ₂	90 000 ,-
NO _x	72 000 ,-
Tuhé látky	18 000 ,-

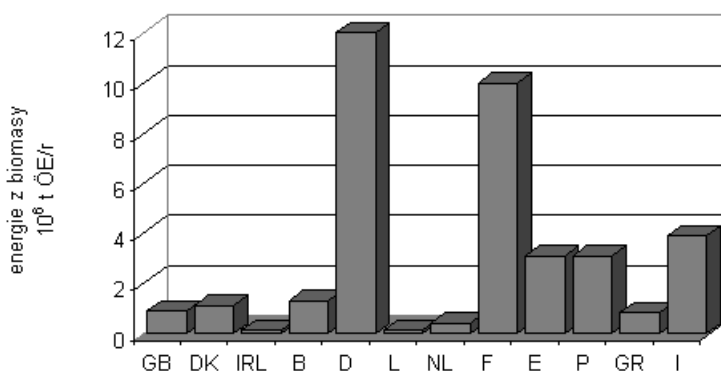
Kritérium čistého ekonomického blahobytu je definováno vztahem

$$NEW = VA + E_+ - E_- = \max. \quad [\text{Kč/r}]$$

kde VA = C + I + G + X přidaná hodnota vytvořená v posuzovaném regionu, C výdaje na osobní spotřebu statků a služeb občanů a podniků, I hrubé soukromé investice, G výdaje regionální správy na statky a služby, X saldo vývozu a dovozu, E₊ pozitivní externality, E₋ negativní externality.

12 Energetický potenciál biomasy v ČR

Ve světě i v ČR je vkládána velká naděje, že alternativní obnovitelné energetické zdroje v budoucnu nahradí významnou část klasických neobnovitelných zdrojů. Při tom se předpokládá, že právě biomasa určená k energetickému využití se bude perspektivně výrazně podílet na krytí celkové spotřeby energie. Průměrný podíl využití biomasy k energetickým účelům je zatím malý, obr. 12.1. Pro ČR v roce 2001 činila roční výroba elektřiny z biomasy asi 200 [GWh], výroba tepla asi 20 [PJ].



Poznámka: Yearbook Agricultural Engineering VDI, 1993, č.6 SRN

Obr. 12.1 Využití biomasy v energetice v zemích EU

V ČR je dosud značné množství dostupné biomasy (sláma, odpad dřevní hmoty, travní porosty), která není dosud využívána. Řada výzkumů, experimentů a dalších prací v ČR prokazuje, že jsou u nás poměrně příznivé podmínky pro cílené pěstování biomasy, které třeba maximálně a hospodárně využívat. V současné době se postupně zavádějí další legislativní nástroje pro využití biomasy. Od 1.1.2002 jsou zavedeny minimální výkupní ceny elektřiny mimo jiné i z biomasy. V důsledku těchto změn vzrostla např. výroba elektřiny z bioplynu z cca 50 [GWh] koncem roku 2001 na cca 125 [GWh] počátkem roku 2003.

Narůstající rozloha neobdělávané půdy umožní její využití pro rychle rostoucí

energetické rostliny a rychle rostoucí dřeviny (r.r.d.).

V různých odborných pracích jsou uváděny odhady potenciálu energetické biomasy, které dosud z malého množství podkladů zejména při cíleném pěstování biomasy mají velký rozptyl.

Pro další rozvoj jsou v současné době v první řadě přínosné práce CZ BIOM [5], které predikují využitelný potenciál a výrobu z biomasy v ČR k roku 2001. Řešení je členěno na

- biomasa – elektřina** → dřevo, dřevěný odpad z těžby dřeva, probírky, prořezávky, odpad z primárního a sekundárního zpracování dřeva
(50 [%] z tuhé biomasy)
- obilní sláma
→ řepková sláma
→ energetické rostliny, energetické byliny (šťovík krmný, komonice atd.), r.r.d. (topol, vrba apod.)
- bioplyn** → živočišná výroba, travní porosty, čistírny odpadních vod, skládkový plyn
- biomasa - teplo** → 50 [%] z tuhé biomasy
- bioplyn – teplo** → výroba tepla z kogenerace

Při analýze energeticky využitelného potenciálu vychází práce z hodnocení dosavadních zkušeností s jednotlivými druhy biomasy a jejich vlastnostmi. Vychází z dostupné roční produkce, využitelnosti, navrhuje energii k praktickému použití s odhadem výroby.

BIOMASA

Uvažuje se, že při těžbě dřeva se využije 70 [%] hmoty, 30 [%] je odpad, při zpracování dalších cca 25 [%]. Uvažuje se výhřevnost 12 [GJ/t], měrná hustota 600 [kg/m³].

Obiloviny zaujímají v ČR asi 51,5 [%] zemědělské půdy. Výnos slámy 4 [t/ha], výhřevnost 14,4 [GJ/t]. Asi 70 [%] slámy se používá pro krmení a jako stelivo, část se zaorává (při sklizni rozmetána kombajnem). Proti širšímu využití slámy jsou i její některé vlastnosti. Jsou to zejména termofyzikální vlastnosti, charakteristické teploty T_A , T_B , T_C popelovin, které jsou nízké a při vyšším obsahu popela ve slámě vyžadují obvykle zvláštní opatření a zvýšenou kontrolu při spalování. Rovněž zvýšená vlhkost slámy může způsobovat zanášení kotle. Velký objem slámy zvyšuje nároky na dopravu a uskladnění (vlhkost, plísň). Z výše uvedených důvodů se předpokládá využití jen 7 [%] slámy (odpovídá i dánským poznatkům).

U řepkové slámy lze uvažovat s využitím až asi 60 [%] slámy. Řepkovou slámu nelze použít na krmení nebo stelivo, menší část je zaorávána při sklizni. Z pohledu agrotechniky lze pěstovat řepku max. na asi 12,5 [%] orné půdy. Výnos slámy se uvažuje 4 [t/ha] při výhřevnosti 15 [GJ/t].

Pro užití energetických rostlin jsou uvažovány energetické byliny (šťovík krmný, komonice apod.) a rychle rostoucí dřeviny (topol, vrba apod.), které lze pěstovat na zemědělské půdě uvolněné z využití pro pěstování potravinářských plodin (405 [tis. ha] → 40 [%] zemědělské půdy, která by mohla být v roce 2010 uvedena do klidu) a na antropogenních půdách (45 [tis. ha]). U pěstovaných energetických rostlin je uvažováno s výnosem biomasy 10 [t/ha] při výhřevnosti 14 [GJ/t].

BIOPLYN

Živočišná výroba. Při stanovení využitelného potenciálu použít přepočtenou produkci organického odpadu jednotlivými druhy hospodářských zvířat → používané koeficienty pro

přepočet – vepř 0,3; ovce 0,1; drůbež 0,0026. V roce 2010 se v ČR předpokládá 3,3 [mil. VDJ] (velká dobytčí jednotka, fiktivní hospodářské zvíře o hmotnosti 500 [kg]). Výchřevnost bioplynu 22 [MJ/m³]. Využitelný potenciál asi 18 [%].

Údržba trvalých travních porostů. Komunální odpady, odpady z potravinářského průmyslu v bioplynových stanicích.

Skládkový plyn. Uvažuje se s využitím 33 [%] potenciálu v roce 2010.

V celkovém bilancování (výroba tepla z biomasy) jsou uvedeny elektrárny ČEZ (přídavek biomasy do paliva v elektrárnách Tisová a Hodonín) v hodnotě 0,5 [PJ].

Z výsledků výše uvedených prací uvádíme jen tabulku 12.1

Tab. 12.1 Využitelný potenciál a výroba v ČR v roce 2010

BIOMASA	Energie vyrobená z biomasy [PJ]	
Dřevo a odpad	33,1	
Sláma	6,0	
Řepková sláma	9,7	
Energetické rostliny	63,0	
Celkem (50[%] kogenerace 50 [%] teplo)	111,8	
Využitelný potenciál pro výrobu elektřiny	55,9	
V roce 2010 se využije 30 [%]	16,8	
Při η dle EK 20 [%]	3,4	932 [GWh]
Při η 30 [%]	5,0	1 399 [GWh]

Využitím tuhé biomasy pro výrobu elektřiny by bylo možné v roce 2010 vyrobit 932 až 1 399 [GWh].

BIOPLYN	Energie vyrobená z bioplynu [PJ]	
Živočišná výroba	5,7	
Travní porosty	5,3	
Komunální a potravinářské odpady	3,0	
Čistírný odpadních vod	2,3	
Skládkový plyn	5,5	
Celkem	21,8	
Při η výroby elektřiny 30 [%]	6,5	1 818 [GWh]
Při využití 33 [%] potenciálu	2,1	584 [GWh] \approx 600 [GWh]

Využitím bioplynu pro výrobu elektřiny je možné v roce 2010 vyrobit 600 [GWh].

Na závěr této části je odhad celkové výroby elektřiny z biomasy v roce 2010 (uvažuje se přídavek biomasy do paliva v ETI a v EHO, stávající výroba z bioplynu a tuhé biomasy) uveden v tabulce 12.2.

Tab. 12.2 Odhad výroby elektřiny z biomasy v roce 2010

Palivo	[GWh]
tuhá biomasa	932 - 1 399
bioplyn	500
elektrárny ČEZ	150
stávající výroba z bioplynu	135
výroba z tuhé biomasy (ze statistiky)	40
výroba ze sulfit. výl. v roce (ze statistiky)	7
Celkem	1 764 - 2 231

Minimální cíl výroby elektřiny z biomasy k roku 2010 je 1 764 [GWh] (6,3 [PJ]), maximální 2 231 [GWh] (8,0 [PJ]).

Využitím tuhé biomasy lze v roce 2010 nově (vedle stávající výroby) získat 30,8 [PJ].

Celková hrubá výroba elektřiny se v roce 2010 předpokládá 68 [TWh], prodej 55 [TWh].

Cíl dosáhnout v roce 2010 podíl obnovitelných zdrojů (všech) elektřiny na její hrubé výrobě ve výši 8 [%] by mohl být teoreticky splněn.

Úvahy a výpočty energetického potenciálu musí být zpřesňovány a je potřebné kvantifikovat výrobu energie z biomasy i pro delší časové horizonty (cca do roku 2050). Zpracované studie jsou velmi dobrým podkladem pro práce na přípravě Územních energetických koncepcí.

13 Některé poznatky s provozem výroben, využívajících biomasu

Autoři studie navštívili osobně některé výrobní pro získání bližších poznatků o provozních a ekonomických výsledcích výroben a jejich případné využití pro další ekonomický rozvoj využití biomasy jako obnovitelného primárního zdroje.

13.1 Hartmanice

Projekt realizován 1994 až 2001, 800 obyvatel, spalování dřevního odpadu, centrální systém zásobování teplem. Délka nově budovaných teplovodních rozvodů 2 620 [m], celková délka 4 000 [m].

Instalovány tři kotle dánské výroby Volund Danstocker (1,75; 0,88; 1,75 [MW]). Připojeno 400 bytových jednotek (rezerva pro novou výstavbu 100 bytových jednotek), v létě 75 předávacích stanic. Skládková kapacita pro palivo 4 500 [m³]. Teplonosným médiem voda 110/70 [°C] v létě 80/60 [°C]. Výtopna vybavena moderní měřicí a řídicí technikou.

Finanční prostředky	Město	SFŽP	Phare	Celkem
Náklady [mil. Kč]	20	23	32	75
Náklady [%]	26	31	43	100

Od MŽP 80 [%] nevratné dotace. Rozdělení nákladů: technologie 22 mil., teplovody 25 mil., předávací stanice 12 mil. a stavby 16 mil.

Palivo dřevní štěpka (22 [%] DPH), piliny a hobliny (5 [%] DPH).

Průměrná cena paliva vč. DPH bez dopravy 200,- [Kč]/prm

246,- [Kč]/prm

Ekonomické údaje (skutečnost roku 2002)

Roční dodávka tepla 15 000 [GJ]

Spotřeba paliva 2 506 [t]

Cena dodaného tepla 329 [Kč/GJ]

Složení nákladů	[mil. Kč]	[%]	
elektrina	0,4	8	
palivo vč. dopravy	2,2	45	146,7 [Kč/GJ]
odpisy	0,9	18	
mzdy vč. odvodů	0,7	14	
opravy, výr. režie	0,27	6	
ostatní	0,43	9	
Σ	4,90	100	

Zhruba lze říci, že variabilní náklady jsou 60 [%], fixní náklady 40 [%] (dotace se neodepisuje). Pro kotle 2 ½ pracovních úvazků.

Porovnání hodnot emisí před a po výstavbě výtopny na biomasu

Emise [t/rok]	Tuhé látky	SO ₂	NO _x	CO
Původní uhelné kotelny	34,8	35,6	2,6	78,8
Kotelna na dřevní odpad	1,2	0,2	3,8	0,6

Popílek zachycený v multicyklonových odlučovačích je používán jako hnojivo pro zahrádkáře.

Výtopna je více jak pět let v úspěšném provozu a výsledky finančně dotovaného zařízení jsou zdařilé, jak pro přímý provoz, tak pro aplikaci zkušeností pro další podobná zařízení.

Pro další perspektivu a eventuálně možné zlepšení provozních a ekonomických ukazatelů může být doporučeno vypracování studie o nasazení parní nebo plynové kogenerace. Prověřit možnost nasazení malé protitlaké turbíny přeměnou jednoho teplovodního kotle 1,75 [MW] na kotel parní či výrobu bioplynu např. pro mikroturbínu. Pozornost musí být dále zaměřena na snížení tepelných ztrát v teplovodech, které dosahují až 30 [%] (u odlehlejších odběratelů často budování tepelných rozvodů již není řešitelné). Instalovaný řídicí systém dává možnost softwarového rozšíření pro další optimalizaci provozu a bilancování.

13.2 Bystřice nad Pernštejnem

Kotelna spalující biomasu (rekonstrukce původní uhelné), uvedena do provozu 2002, systém centrálního zásobování teplem. Instalovaný tepelný výkon 9 [MW] (dva kotle po 4,5 [MW], dodavatel kotlů Urbas Maschinenfabrik, Rakousko. Jmenovitý tepelný výkon kotle 4 500 [kW], tepelný výkon paliva 5 300 [kW]. Vstupní teplota vody 85 [°C], výstupní 110 [°C], jmenovitý hmotnostní průtok 195 [t/h], teplota spalin za kotlem 120 až 150 [°C].

Kotelna zásobuje teplem CZT města ve třech větvích teplofikační sítě (42 předávacích stanic), napojeno 1 673 bytů. V kotelně jsou instalována tři oběhová čerpadla, motory dvou oběhových čerpadel jsou osazeny frekvenčními měniči otáček. Nové větve potrubních rozvodů jsou realizovány předizolovaným potrubím. Instalován je akumulátor tepla (350 m³ vody), kde se v době přebytku tepla ohřívá vody na 95 [°C] (např. v noci) a v době nedostatku se teplo předává do soustavy. Objem v soustavě (tři větve + 2 kotle) 150 [m³], objem vody v jednom kotli 13,2 [m³]. Celý systém centrálního zásobování teplem je vybaven moderní měřicí a řídicí technikou.

Palivo dřevní štěpka, stromová kůra, řepková sláma, různé směsi, zkouší se pazdeří (vlhkost paliva 30 až 60 [%], Q_n = 7,9 ÷ 11,1 [MJ/kg]). Vybudován velkokapacitní sklad paliva o obsahu 5 300 [m³].

Rekonstrukce CZT byla realizována za finanční dotace ze Státního fondu životního prostředí ČR. Celá stavba včetně rozvodů a domovních předávacích stanic stála 134 mil.

[Kč], kde nenávratná dotace činí 74,7 mil [Kč], bezúročná půjčka 46,9 mil.[Kč]. Palivo a elektřina se nakupuje s 22 [%] DPH, teplo se prodává s 5 [%] DPH.

Ekonomické údaje (skutečnost roku 2002)

Roční dodávka tepla	60 036 [GJ]	
Náklady na palivo	7 387 000,- [Kč]	123,04 [Kč/GJ]
Variabilní náklady	≈ 142,7 [Kč/GJ],	
fixní náklady	139,9 [Kč/GJ] → Ø cena 282,6 [Kč/GJ]	+ 5 [%] DPH 296,7 [Kč/GJ]

Jednotková cena tepla včetně DPH za byty (včetně rozvodů, předávacích stanic, elektřiny) 325,5 [Kč/GJ].

Environmentální ukazatele

Uveden příklad z autorizovaného měření u kotle 1 (2002)

[mg/m ³]	Palivo štěpka	Palivo kůra	Piliny + štěpka 50/50 [%]	Štěpka + řepková sláma 70/30 [%]
Tuhé látky	108,0	92,0	95,0	119,0
SO ₂	2,4	54,0	1,4	32,0
NO _x	148,1	201,0	167,9	167,0
CO	5,9	31,0	50,7	97,0
C _x H _x	2,9	4,0	2,0	4,0

Popel z kotelny (multicyklony) se využívá pro řízení kompostování.

Výtopna je v úspěšném provozu, včetně spolupráce s plynovou kotelnou. Instalovaný měřicí a řídicí systém je velmi dobře zpracován, včetně zabezpečovacího systému a využíván pro řízení provozu.

Lze konstatovat, že výsledky finančně dotovaného zařízení jsou úspěšné a provozní zkušenosti velmi cenné pro další rozvoj podobných zařízení.

13.3 Žlutice

Náhradou za staré blokové uhelné kotelny byl vybudován jeden centrální zdroj vytápění, který jako paliva používá biomasu. Na dálkové vytápění je napojeno asi 550 bytů. Výstavba výtopny na spalování biomasy byla zahájena na jaře roku 2001 a v dubnu roku 2002 skončil zkušební provoz. Financování stavby podpořil Statní fond životního prostředí. Do výstavby kotelny a šesti kilometrů rozvodů bylo investováno 104 mil. Kč (nevratná finanční dotace 40 [%]). Páteřní teplovody byly zhotoveny bezkanálovým dvoutrubkovým systémem z předizolovaných trubek, v každém připojeném objektu byla osazena domovní předávací stanice. Pro velký výškový rozdíl jednotlivých objektů ve městě jsou páteřní teplovody rozděleny na dvě tlaková pásma. Celý systém je vybaven měřicí a řídicí technikou.

Ve výtopně jsou instalovány čtyři kotle českého výrobce, celkový výkon 7,9 [MW] (2,5 [MW], 3 x 1,8 [MW]). Kotel 2,5 [MW] má dopravní cesty uzpůsobeny ke spalování dřevního odpadu. Další kotel (1,8 [MW]) umožňuje spalovat dřevní odpad i balíky slámy. Zbývající dva kotle (2 x 1,8 [MW]) mají dopravní cesty instalované jen pro spalování slámy. Konstrukčně jsou kotle stejné, liší se však provedením dopravních cest paliva.

V provozu vznikly problémy se spalováním slámy, kdy vznikl vážný nedostatek pro porušení smluvních podmínek dodavatelem slámy a výtopna neměla dostatek paliva, další problémy vznikaly s vysokým obsahem vody ve slámě. Poruchy v dodávkách musely být nahrazovány náhradním palivem (šťovík, peletky apod.). Dalším problémem je zanášení kotlů spalujících slámu (čištění po 500 [h] provozu).

Ekonomické údaje

Původní předpoklady ceny tepla 300 [Kč/GJ] nebyly dosud splněny pro problémy se zanášením kotlů, které třeba hledat v konstrukci, palivu a pravděpodobně v nízkém vytížení kotlů.

V průběhu roku 2002 se cena pohybovala okolo 340 [Kč/GJ]. Výše dosud uvedené problémy jsou vedením výtopny řešeny, spočívají v lepším smluvním zajištění vhodného paliva, případnou úpravou kotlů (mechanizací čištění), ideovým prozkoumáním možnosti předehřevu vzduchu, paliva či úvahám o možnostech instalace kogenerační jednotky.

Lze konstatovat, že výsledky provozu, ekologické přínosy kladně potvrzují význam finanční dotace do této akce.

13.4 Třebívlice

V obci Staré (Třebívlice) lokální topení na uhlí bylo modernizováno na centrální soustavu se zdrojem tepla 380 [kW] na biomasu (získanou prořezy stromů z několika hektarů sadů) stačí na vytápění několika obcí. Použitím předizolovaného potrubí byl realizován systém CZT i v malé lokalitě obce. Soustava je řešena jako tlakově nezávislá. V kotli se společně spaluje biomasa a hnědé uhlí, biomasa tvoří většinový podíl, nebo štěrka může být samostatně spalována. Při spalování malého množství uhlí se stabilizuje hoření. Měření emisí prokázaly kvalitní spalovací proces a splnění emisních limitů. Dvouletým provozem bylo prokázáno, že výsledky provozu splňují požadavky navrženého projektu a takového řešení lze pro podobné podmínky doporučit.

13.5 Teplárna na skládkový plyn

Skládka odpadu Dolní Chabry
Skládka odpadu Ďáblice

Instalován sběrný systém skládkového plynu (vertikální šterkové drenáže → jímací studny plynu, doplněné perforovanými sběrnými trubkami). Na plynové studny navazuje horizontální sběrné potrubí, které je opatřeno armaturami pro regulaci odsávaného množství plynu a sacího podtlaku v jednotlivých studnách. Hlavním sběrným potrubím je plyn dopravován do čerpací stanice plynu, která zajišťuje pomocí dmýchadel sací podtlak v tělese skládky a transportní přetlak plynu na kratší vzdálenosti. Při požadavku vyšších vstupních tlaků do odběrového zařízení, je transport plynu zajišťován kompresory. Ze skládek Dolní Chabry, Ďáblice je plyn dopravován do teplárny Daewo Avie Letňany do kogeneračních jednotek o celkovém výkonu 4,45 [MW_e], 6,3 [MW_{tep}].

	P _{el} [kW]	P _{tep} [kW]
2 jednotky	826	1 239
2 jednotky	1 100	1 450
2 jednotky	300	450

Elektrina je dodávána jako vlastní spotřeba do závodu Avie a přebytek do sítě. Teplo je dodáváno do závodu Avie a bytů v Letňanech. S celým systémem jsou velmi dobré zkušenosti a využití provozu kogeneračních jednotek je až 8 000 [h/rok]. Příznivé provozní výsledky jsou dosahovány proto, že kogenerační jednotky jsou plně využívány s jmenovitým elektrickým i tepelným výkonem. Z cenových důvodů však ani tento provoz nestačí pro vyrovnání hospodářské výsledky. Provozovatel nyní očekává zlepšení ekonomických výsledků po cenovém rozhodnutí ERU → výkupní cena 2,50 [Kč/kWh].

Tab. 13.1 Minimální výkupní ceny z obnovitelných zdrojů (cenové rozhodnutí ERU)

Druh OZE	Minimální výkupní cena [Kč] za 1 [kWh] elektřiny dodané do sítě
Malé vodní elektrárny	1,50
Větrné elektrárny	3,00
Výroba elektřiny spalováním biomasy	2,50
Výroba elektřiny spalováním bioplynu	2,50
Výroba elektřiny využitím geotermální energie	3,00
Výroba elektřiny využitím slunečního záření	6,00

V poslední době byly instalovány kogenerační jednotky à 1 [MW] na skládkách v Modlanech (u Teplíc v Čechách) a Chvaleticích.

13.6 Přídavné spalování biomasy

V posledních letech se ve světě začínají používat postupy přídavného spalování biomasy (většinou odpady z dřevozpracujícího průmyslu) – označované jako co-combustion u již provozovaných kotlů (Holandsko, Německo). Náhradou uhlí biomasou se sníží spotřeba uhlí a emisí.

V ČR spalovací zkoušky s biomasou byly provedeny v elektrárně Hodonín na fluidním kotli s cirkulující vířivou vrstvou, který spaluje jihomoravský lignit o výhřevnosti 8,6 [MJ/kg].

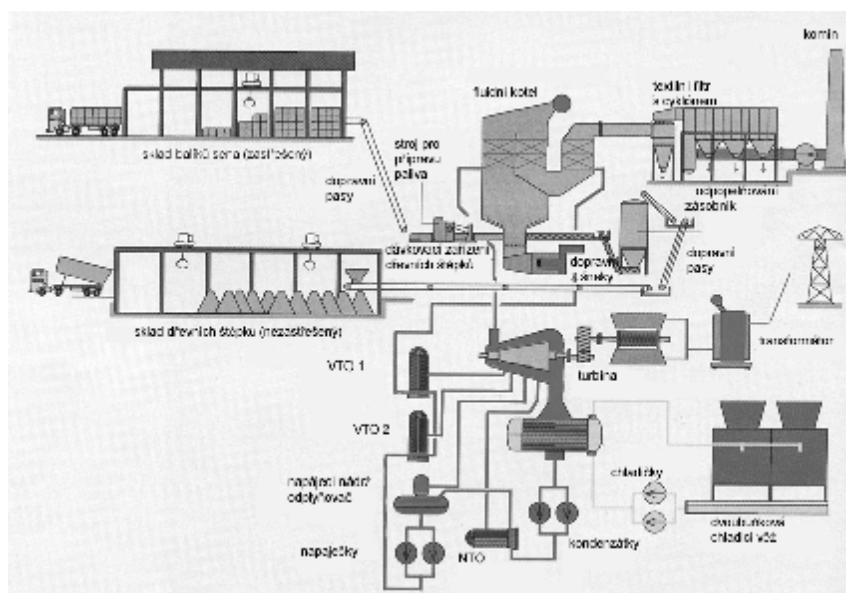
První zkoušky s dřevním odpadem ze sousedního dřevařského podniku nebyly úspěšné, protože dřevní odpad nebyl pro spalování řádně připraven (nebyl vytříděn). Další zkoušky pokračovaly se štěpkou (věnována větší pozornost velikosti a tvaru částic). Byla spalována směs uhlí 42 až 43 [t/h] s přídavkem štěpků \approx 4,5 [t/h]. Zkouška proběhla úspěšně, rovněž nebyly zjištěny negativní vlivy na změnu dosahovaných emisí.

Po vydání povolení ČIŽP trvalého spalování směsi s biomasou bylo v EHO spáleno 2 500 [t] biomasy. Elektrárna zakoupila mobilní štěpkovač na dřevní hmotu a uvažuje provést některé úpravy pro autonomní podavač biomasy do kotle, v případě dlouhodobé realizace (po ekonomickém prověření). V kladném případě by se jednalo o spalování asi 10 000 [t] biomasy ročně, pára je v EHO využita pro KVET.

14 Využití biomasy ve středně velkých teplárnách

14.1 Teplárna Altenstadt – Horní Bavorsko, Německo

Pro rozvoj využití biomasy ve středně velkých teplárnách lze např. využít poznatků z provozu teplárny Altenstadt (horní Bavorsko), vybudované na spalování tradiční biomasy, dřevní štěpky a zbytků produktů pozdní sklizně travních porostů – pilotní zařízení v Německu, obr. 14.1.



Obr. 14.1 Teplárna Altenstadt, spalující biomasu

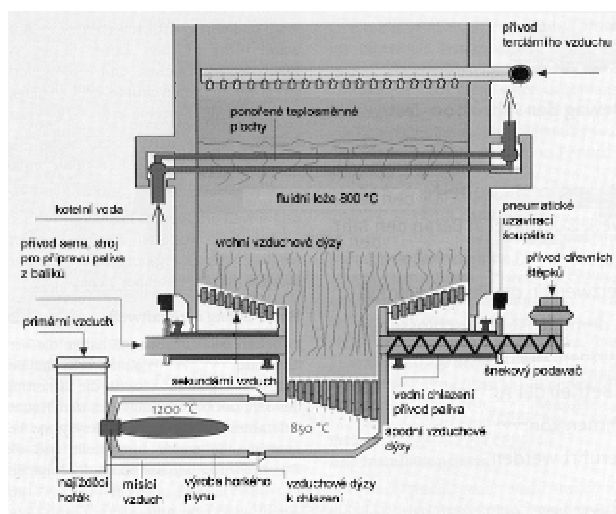
Elektrický výkon teplárny je 10 [MW], charakteristické vlastnosti spalované biomasy jsou v tabulce 1.

Tab. 1 Charakteristické vlastnosti biomasy

Hodnoty analýzy	Dřevní štěpky [%]	Pozdní tráva [%]
Uhlík	51	46
Vodík	5	5,2
Kyslík	42	34
Dusík	0,11	< 3
Síra	0,01	< 0,2
Chlór	0,01	< 0,7
Popel	~1	~10
Voda	10 až 50	12 až 18
Výhřevnost bezvodá [kJ/kg]	18 000	17 500
15 [%] W	14 880	14 440
30 [%] W	11 800	11 200

Pro spalování tohoto paliva bylo instalováno technologické zařízení, s cílem minimalizace emisí a dosahování nejhospodárnějšího využití paliva.

Pro spalování biomasy byl zvolen systém spalování ve fluidní vrstvě, Interfluid s dvojitým fluidním ložem obr. 14.2.



Obr. 14.2 Schéma spalování ve fluidní vrstvě

Kotel výkonu 50 [t/h] páry, tlaku 62 [bar] a teploty 493 [°C] dosahuje účinnost 92 [%]. Vstupní teplota napájecí vody 220 [°C], teplota výstupních spalin 120 [°C] (ohřívák vzduchu 270/120 [°C]). Při spalování trávy se teplota páry snižuje na 455 [°C], s cílem zabránit korozím (chlóru). Kotel je vybaven třemi stupni čištění spalin, sestávajícím z multicyklónu, suché sorpce (vázáni chlóru, SO₂ dávkováním sorbentu) a textilního filtru (zachycuje i částice vzniklé v předchozím stupni). Multicyklón kromě funkce před odlučovačem má současně úlohu likvidace žhavých částic prachu před vstupem do textilního filtru.

Turboalternátor je výkonu 11,43 [MW] v čistě kondenzačním provozu. Instalována je odběrová turbína, jeden regulovaný odběr tlaku 6,25 [bar] je určen pro dodávky tepla, tři odběry jsou určeny pro regenerativní ohříváky napájecí vody. Pro chlazení vody kondenzátoru je instalována jedna dvou-buňková dřevěná chladicí věž. Místo kondicionování chladicí vody je instalováno zařízení (ozon) pro omezení růstu bakterií.

Pro přídatnou vodu se používá voda ze studní a pro zajištění plně odsolené vody je použito moderní zařízení, pracující na principu reverzní osmózy.

Rovněž pro elektrická zařízení a řídicí techniku je použito nejmodernějších řešení a zařízení.

Teplárna spotřebuje průměrně 9 [t] paliva za hodinu (při $\varnothing W = 25$ [%]). To odpovídá asi 20 –ti nákladním autům pro dopravu biomasy denně. Dodávaná biomasa se rozděluje na dvě skládky. Pro dřevní štěpky má skládka rozměry 110 x 30 [m] a kapacita je cca 20 000[m³] štěpků pro předzásobení. Dřevní štěpky jsou podrobeny kvalitativní analýze. Dva jeřáby rozdělují štěpky na skládce a zajišťují automaticky dopravu štěpků do kotelny.

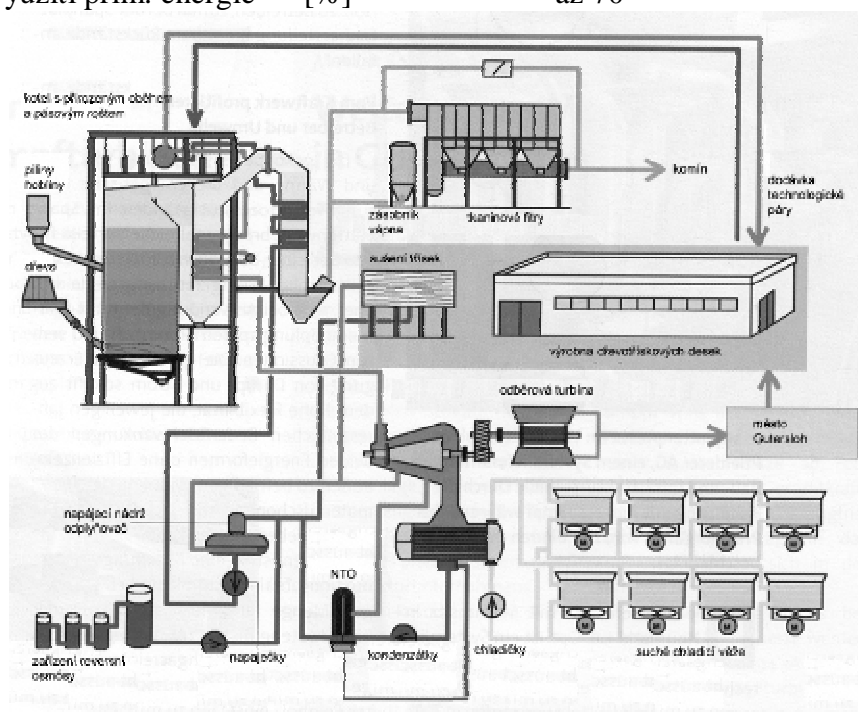
Skládka sena má délku 36 [m] a šířku 2 x 14 [m]. Přivezené balíky sena jsou jeřábem přemístěny z aut na skládku. Ze skládky jsou balíky automaticky jeřábem ukládány na pas a dopraveny do speciálně konstruovaného zařízení pro automatickou úpravu paliva a jeho dopravu pro spalování. Pilotním zařízením byly získány cenné zkušenosti pro další rozvoj zařízení pro využití biomasy pro ekologický a ekonomický provoz.

14.2 Závodní elektrárna Gütersloh, Německo

Závodní elektrárna v Gütersloh byla vybudována při závodě, vyrábějícím dřevotřískové desky, pro dodávky tepla a elektřiny, tedy kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Teplárna spaluje biomasu, dřevní odpady z výroby dřevotřískových desek, staré a částečně čerstvé dřevo.

Základní parametry

Tepelný výkon	[MW]	60
Účinnost kotle	[%]	89,9
Palivo	třísky, piliny, dřevní štěpky, dřevo	
Odběr z bubnu kotle	[MW]	3,8 až 6,0
Výkon kotle	[t/h]	68
Tlak páry	[bar]	70
Teplota páry	[°C]	455
Odběr páry	[kg/s]	18,8
Tlak odběrové páry	[bar]	7,0 až 11,0
Teplota napájecí vody	[°C]	125 až 150
Max. elektrický výkon	[MW]	13,3
Vakuum v kondenzátoru	[bar]	0,1 (10°C venkovní teplota)
Účinnost využití prim. energie	[%]	až 70



Obr. 14.3 Závodní elektrárna Gütersloh

Instalován je kotel s přirozeným oběhem, pásovým roštem. Je vybaven odběrem syté páry z kotelního bubnu pro napájení výměníků ve výrobě dřevotřískových desek, kondenzát z výměníků se přivádí zpět do kotle. U tohoto kotle má velký význam technické řešení spalování rozdílných druhů paliva. Pro splnění tohoto požadavku je zařízení vybaveno tak, že je možné uplatnit různé způsoby spalování. Dřevní štěpky jsou tlakovým vzduchem transportovány plynule přes mechanický pohazovač paliva do kotle. Lehké částice paliva shoří při tomto řešení během letu, těžší částice shoří na roštu, při tom pohyb pásového roštu musí být ve směru k pohazovači. Zařízení se osvědčilo a přispívá k velmi dobrým regulačním vlastnostem provozu kotle.

Dřevěný prach (piliny, hoblíny) z výroby dřevotřískových desek je pneumaticky dopravován do sila a odtud přes speciální dýzy do ohniště. Je tak možné rychle měnit

hmotnostní průtok prachu do ohniště, což rovněž přispívá k velmi dobrým regulačním schopnostem kotle.

Optimalizací řízení spalovacího procesu, teplot v ohništi jsou dodržovány požadavky k minimalizaci NO_x a CO ve spalinách.

Ve druhém tahu kotle je jako sekundární opatření pro snížení produkce NO_x instalováno zařízení pro metodu selektivní nekatalytické redukce (SNCR-Selective non-catalytic reduction). Tato metoda probíhá v tzv. teplotním oknu 900 až 1 050 [°C], po chemických reakcích NO_x se čpavkem vzniká N₂ a H₂O. Mezi kotel a tkaninový filtr je zařazeno zařízení pro zachycování plynných škodlivin vápencem.

Odběrová turbína má regulovaný odběr páry (7 až 11 [bar]) pro výrobu dřevotřískových desek a neregulované odběry pro regeneraci. Provoz turbíny bez odběru technologické páry se nepředpokládá. Pro kondenzátor je použito cirkulační chlazení, teplo se odnímá ve vzduchovodních chladičích.

Pro elektrická zařízení, měření a řízení technologických procesů je použito moderních zařízení.

Pro úpravu napájecí vody je použito zařízení, pracující na principu reversní osmózy s návazným elektrochemickým odsolením (není potřeba kyselin a louhu pro regeneraci).

14.3 Největší elektrárna na spalování biomasy, 25 [MW] BEC Cuijk-jívní Holandsko

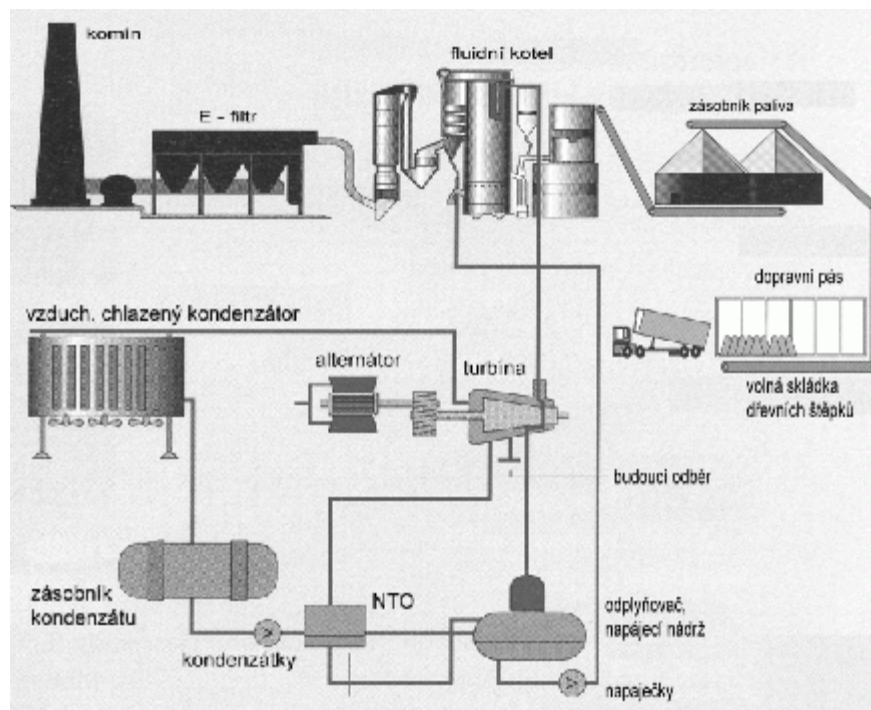
Největší elektrárna v Evropě na biomasu, určená pro krytí základního zatížení. Spalováno je neupravené dřevo. Elektrárna zásobuje 50 000 domácností elektřinou. Odběratelé této „zelené“ elektřiny se zavázali, platit zvýšenou cenu za [kWh] než je obvyklá cena, z důvodů cíleného uplatnění pěstování biomasy pro elektrárnu.

Elektrárna je určená pro provoz v základním zatížení, s požadavkem dosažení minimálně 8 000 provozních hodin za rok, což vyžaduje dosažení vysoké spolehlivosti a pohotovosti zařízení. Dalším požadavkem bylo řešení technologie zařízení tak, aby byl možný plně automatizovaný provoz elektrárny, bez trvalé obsluhy přímo u technologického zařízení.

Elektrárna je dimenzována pro svorkový elektrický výkon 27,4 [MW] v normálním provozu a maximální výkon 30,3 [MW], vlastní spotřeba elektrické energie je cca 3 [MW]. Účinnost výroby pro výrobu elektřiny je cca 30 [%] (což odpovídá použití nízkých parametrů páry proti velkým elektrárenským blokům). Positivně na zvýšení účinnosti působí využití kombinované výroby elektřiny a tepla, ovšem při zajištění dodávek technologického tepla a zásobování teplem domácností.

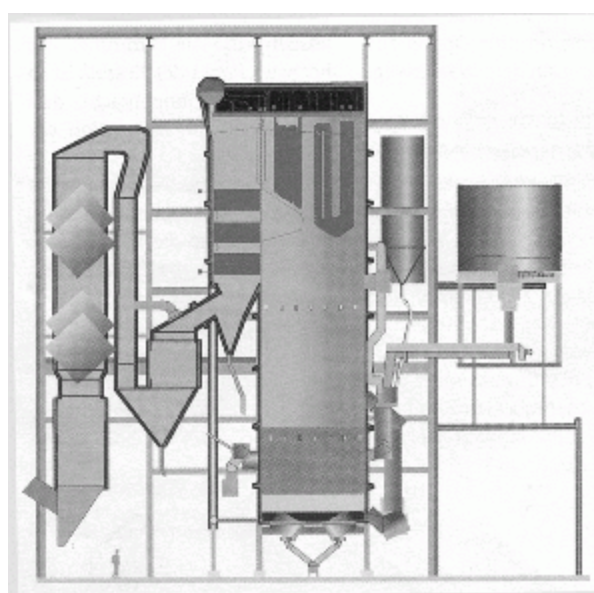
Základní parametry elektrárny BEC Cuijk

Spalování	stacionární vřivá vrstva	
Palivo	dřevní štěpky	
Hmotnostní průtok paliva	[t/h]	30
Tepelný výkon kotle	[MW]	78
Hmotnostní průtok páry	[t/h]	98,7
Tlak páry	[bar]	100
Teplota páry	[°C]	525
Elektrický výkon	[MW]	27,4
Vakuum v kondenzátoru	[bar]	0,1



Obr. 14.4 Schéma elektrárny BEC Cuijk, spalující biomasu

Jako palivo jsou určeny dřevní štěpky, které jsou připravovány a skladovány podle spec. Know-how dodavatelské firmy. Z volné skládky se přes transportní systém (řetězové dopravníky) zásobuje kotel palivem. V dopravní trase je zařazen odlučovač kovu a třídiče (odlučování větších částic paliva), trasa vyúsťuje do dvou sil (à 5 000 [m³], zásoba cca na čtyři dny). Sila jsou zaplňována shora, odběr paliva se provádí zespodu. Další řetězové dopravníky transportují palivo do dvou denních zásobníků a odtud do vířivé vrstvy kotle. Velký počet řetězových, šnekových dopravníků a zásobníků vyžaduje pro zajištění vysoké spolehlivosti rovnoměrné dodávky paliva do ohniště instalací záložních zařízení. Fluidní atmosférický kotel se stacionární vířivou vrstvou je konvenční bubnový kotel s přirozenou cirkulací, který splňuje požadavky na spalování paliva s proměnným obsahem vody 25 až 60 [%] při dodržení dobré regulovatelnosti, obr. 14.5.



Obr. 14.5 Fluidní kotel

Protože je spalována jen dřevní hmota, postačují pro zachycení tuhých částic elektrostatické filtry. Jiná je situace u produkce a odstraňování oxidů dusíku po spalování. Pro omezení produkce NO_x jsou realizována primární opatření, která však nepostačují. V Holandsku je přísný emisní limit NO_x $100 \text{ [mg/m}_n^3]$ (v Německu $200 \text{ [mg/m}_n^3]$) a pro jeho dodržení je instalováno zařízení pro sekundární opatření pro snížení NO_x . Je uplatněna metoda selektivní nekatalytické redukce (SNCR (metoda spočívá v redukcí NO_x čpavkem). Pro dosažení vysoké účinnosti reakce musí být použito vysokého přebytku čpavku, což však vede k vysokému obsahu čpavku v odcházejících spalinách, způsobující nepříjemný zápach. Proto je v posledním tahu kotle zabudován katalyzátor, který přeměňuje čpavek na dusík a vodu. Mimoto katalyzátor redukuje oxidy dusíku ve spalinách a podporuje tím účinnost zařízení SNCR.

Odběrová turbína je přes převodovou skříň spojena se čtyř-pólovým alternátorem. Turbína má čtyři neregulované odběry, pro odplyňovač a napájecí nádrž, ohřívač vzduchu, nízkotlaký ohřívač a technologickou páru pro externí dodávky tepla. Je použit vzduchem chlazený kondenzátor, dimenzovaný pro výkon 30 [MW] při teplotě okolí 15 [°C].

Pro řízení je elektrárna vybavena moderním zařízením, pro úplnou automatizaci provozu. Dosavadní provoz dokazuje, že předepsané požadavky při výstavbě jsou v provozu velmi dobře plněny.

15 Závěr a doporučení

V Bílé knize EU je stanoven ambiciózní cíl zvýšit podíl obnovitelných zdrojů v energetické bilanci do roku 2010 na 12 [%]. Od 16.4.2003, kdy ČR podepsala přístupovou dohodu k EU, platí pro ČR i další cíl – dosáhnout 8 [%] podíl elektřiny z obnovitelných zdrojů na celkové hrubé spotřebě elektřiny k roku 2010.

V současné době je v ČR dosud dostupné množství biomasy nevyužito (sláma obilná a řepková, odpad dřevní hmoty po těžbě dřeva, zatravněné plochy, plevele apod.). ČR ve srovnání s průměrem EU zemí má vysoké zornění zemědělské půdy (73,8 [%] proti 54,3 [%]). Velká část zemědělské půdy (asi 45 [%]) leží v horských a podhorských oblastech s tvrdými klimatickými podmínkami, kde není intenzivní zemědělská výroba ekonomicky efektivní. Narůstá rozloha neobdělávané půdy (odhad MZe 300 tis. [ha] v roce 1999, 500 tis. [ha] v roce 2003, 900 tis. [ha] v roce 2010. Tuto půdu lze využít pro cílené pěstování energetických bylin a rychle rostoucích dřevin. Pěstování je ze strany státu podporováno – v rámci programů podpory uvádění půdy do klidu (energetické rostliny jsou rostliny povolené k pěstování na půdě uváděné do klidu). Musí být také rozhodnuto, co z biomasy půjde na výrobu stavebních materiálů (dřevovláknité desky, sláma jako stavební materiál), potravinářský průmysl a energetické využití.

Pro urychlený rozvoj bioenergetiky je třeba urychlit rozhodování v uznávání přípustné sadby energetických rostlin, pěstování dřevin na zemědělské půdě a pěstování biomasy na státní půdě.

Bylo by vhodné podpořit i výrobu pelet, jako paliva budoucnosti (Dánsko dováží pelety z Kanady, Ruska a Asie). Za prioritní lze pokládat vypracování studií energetického potenciálu biomasy v jednotlivých regionech, z výsledků bude možné rozhodovat o skutečném využití potenciálu biomasy pro jednotlivé využití a tedy i využití v energetice.

Vyřešení těchto problémů vyžaduje vysokou kvalifikaci odborníků z různých oborů: zemědělství, lesnictví, plynárenství, strojnictví, elektro, měření a řízení, chemie, ekonomie a

další, protože v řešení může být celá řada variant a k realizaci by měla být doporučena optimální řešení.

Ze zákona o hospodaření energií je určeno, že územní energetická koncepce je vyjádřením státní energetické koncepce na příslušném území. K tomu musí sloužit příslušné územní energetické koncepce, které by měly ve spolupráci dodavatelů i hlavních spotřebitelů energie a příslušných orgánů obcí koncepčně řešit výrobu, rozvod a spotřebu energie. Cílem musí být spolehlivé zásobování energií celého území, minimalizace ekologických vlivů při dodržení nejnižších nákladů. V koncepci zahrnutí přírodních zdrojů energie musí být mimo jiné zhodnocena využitelnost biomasy. Ze studie energetického potenciálu biomasy, lze získat informace o proporcích a distribuci využitelného potenciálu biomasy ve sledovaném území. Po určení optimalizované varianty následuje řešení, jak kapacit biomasy (odpadové i pěstěné) využít pro optimální výrobu elektřiny a tepla. Studie musí obsahovat i možnosti využití bioplynu.

Vážné problémy většího uplatnění využití biomasy v energetice jsou v ekonomii, protože v důsledku laciné energie u nás je téměř nemožné bez dotací nebo zásahu státu vybudovat obnovitelný zdroj na biomasu. Tato situace vznikla proto, že převážná většina klasických elektráren a tepláren byla vybudována v minulosti za jiných ekonomických podmínek a za regulované ceny, takže staré dožívající elektrárny jsou prakticky odepsány (odpisy nejsou v úrovni, která by zajišťovala reprodukci hmotného investičního majetku v dnešních cenách). Např. v minulém století byly pořizovací náklady u elektráren cca 1 600,- až 5 000 [Kč/kW_{inst.}], takže v současné době mají velmi nízké stálé náklady, což se samozřejmě projeví i v nízkých výrobních nákladech. Lacos bylo pro řešení situace provedeno, což však nepostačuje. Deregulace nebyla dokončena, ceny fosilních paliv dosud neodpovídají nákladům na pořízení primární energie, chyby v dotacích plynu a přímotopů situaci mnoho neovlivnily a laciná energie zůstává. Perspektivně nemůže takováto situace obstát, protože i nové velké elektrárenské bloky budou mít vysoké pořizovací náklady (podle různých studií 40 000,- [Kč/kW_{inst.}]i více), což povede i k dvojnásobným výrobním cenám za elektřinu. Zásadní řešení této problematiky musí být předmětem státní energetické politiky.

Je nutné uvést, že na biomasu je třeba pohlížet tak, že je kvalitním primárním zdrojem energie, stejně jako např. uhlí nebo zemní plyn, pouze má jiné kvantitativní a kvalitativní parametry. Z toho vyplývá, že pro biomasu platí z hlediska investic, spolehlivosti, ekologie, hospodárnosti provozu a celkové ekonomie dodržování všech zásad, jako při spalování klasických fosilních paliv. To znamená, že je třeba využívat i všech vhodných optimalizačních metod pro využití těchto paliv.

Z pohledu výše uvedeného dospíváme k názoru, že prosté spalování biomasy v kotlích je možné využívat jen ojediněle (analogie jako zemní plyn použitý ve výtopnách → lze nazvat jako energetický zkrat, vysokou teplotu přes 1000 [°C] vzniklou spalováním maříme ochlazováním na teploty pro dodávku tepla, mohla by být využita pro výrobu elektřiny).

Proto se prosté spalování biomasy uplatňuje

- pro lokální vytápění → kamna, sporáky, kachlová kamna, krbová kamna, automatické kotle,
- domovní kotelna,
- okrsková kotelna, zásobuje více ústředně vytápěných budov v okrsku (vnější tepelné rozvody)

Při řešení moderní územní energetické koncepce je pro rozptýlenou zástavbu (domky, chalupy) obvykle vhodné volit lokální vytápění při použití automatických kotlů spalujících peletky, jejichž výroba bude zajišťována z rychle rostoucích energetických rostlin přímo

v obci (centrální výroba) a rozvážena až k uživatelům (mimo hospodárné řešení zajištěn i komfort topení, blízký CZT).

Střední kotelny používat pro části soustředěné výstavby s rozvody, kratšími teplovody (bezkanálové, předizolované potrubí). Zde je již třeba hledat i možnosti uplatnění kogenerace.

Pro větší soustavy musí být přednostně využívána kogenerace, která má výrazný kladný efekt ve vztahu k životnímu prostředí a také kladný ekonomický efekt. Pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, která je efektivní jen při současných dodávkách elektřiny a tepla se většinou konstatuje: elektřinu ano, pro teplo nemáme odběratele. Samozřejmě v takovémto případě nelze přijmout instalaci kogenerační jednotky, ale holé konstatování pro teplo nemáme odběr by mělo být prozkoumáno, zda nelze zajistit určité činnosti, výroby, které by toto teplo spotřebovaly. Právě v kogenerační výrobě je velká možnost, jak snížit spotřebu energie na jednotku HDP, která je u nás 2,3 x vyšší než je průměr v zemích EU.

Důležitou otázkou je dimenzování kotlů na biomasu. Zde je velice důležitý průzkum odběratelů a posuzování jejich věrohodnosti (avšak i dodržení smluvních podmínek) jako odběratele. Jsou známy případy, že uživatelé odstoupí, což vede k předimenzování kotle. Stejně podmínky platí pro kogenerační jednotky. Potřeba tepla pro vytápění je silně ovlivněna sezónností s požadovaným maximálním výkonem v otopné sezóně v zimě a minimálním výkonem v létě, což musí být při návrhu počtu jednotek a jednotkového výkonu respektováno. Při využití biomasy lze uplatnit velké množství variant, které mají odlišné investiční a provozní náklady, jejichž výše rozhoduje o realizaci nejhodnější varianty, tedy spolurozhoduje o výsledné ceně energie. Toto řešení vyžaduje spolupráci odborníků různých profesí a vysokou erudici a tvůrčí fantazií.

Od roku 1991 existuje v ČR pro využívání obnovitelných zdrojů podpora z veřejných rozpočtů. V rámci státního programu jsou podporovány investice do úspor energie a využívání obnovitelných zdrojů elektřiny, tepla a dále osvěta, rozdělování, poradenství, výzkum a vývoj v této oblasti. Pro oblast využití biomasy jde podpora z veřejných rozpočtů zejména na tato opatření: podpora investic do úspor při výrobě a rozvodu CZT, do náhrady tuhých fosilních paliv při vytápění a ohřevu TUV biomasou a solárními systémy, do výstavby zařízení pro společnou výrobu elektřiny a tepla z biomasy, cílené produkce biomasy k energetickému využití, podpora osvěty, výchovy a poradenství zaměřeného na obnovitelné zdroje energie.

V rámci programu Státního fondu životního prostředí byl zařazen i speciální program pro investiční podporu projektů kogeneračních jednotek při energetickém využívání biomasy.

Významná je dotace MZe na zakládání porostů rychle rostoucích dřevin na zemědělských pozemcích včetně údržby takto vzniklých porostů a program na podporu uvádění půdy do klidu (na které jsou pěstovány plodiny k nepotravinářskému využití včetně energetických bylin a řepky olejné).

I když dotační programy nejsou zvláště finančně vysoké, lze říci, že plní důležitou funkci, protože jak již bylo uvedeno, při současné cenové situaci ve státě je stále prakticky nemožné bez dotací či zásahu státu vybudovat obnovitelný zdroj. Jsou proto cenné podpory do investic, které umožnily vybudovat a ověřovat nová technologická zařízení, velmi významné jsou i podpory pěstování energetické biomasy a výroby paliva.

Lze doporučit ponechání takovéto dotace se zvýšenými finančními prostředky (včetně podpory pěstování energetické biomasy a výroby paliva (plyn, peletky atd.)). Cenové rozhodnutí ERU č. 1/2002 stanovující minimální výkupní ceny elektřiny vyráběné na bázi OZE přináší již v ekonomické oblasti zlepšení, avšak pro uživatele je potřebné, aby tato

opatření byla garantována na dostatečně dlouhou dobu. Vzhledem k napjatosti výdajové stránky rozpočtů se uvažuje o zavedení speciální ekologické daně na spotřebu „klasických“ neobnovitelných zdrojů energie (např. uhlíková daň na fosilní paliva). Tato opatření zvýší náklady výroby elektřiny, případně tepla z těchto klasických zdrojů, a zvýší konkurenceschopnost OZE.

Tyto otázky musí být řešeny v rámci připravované novelizace zákona 458/2000 Sb. resp. přípravy zákona na podporu výroby elektřiny a tepla z obnovitelných zdrojů energie. Bylo by vhodné, aby v materiálech státní energetické politiky bylo využito biomasy, včetně jejího pěstování, trhu s biomasou (výroba peletek atd.) zcela konkrétně uvedeno.

Určité zlepšení pro snížení cen dodávek elektřiny z OZE lze očekávat decentralizací zdrojů (zatím velmi perspektivní). Z obr. 1.3 vyplývá, že na ceně elektřiny [Kč/MWh] se výroba podílí jen cca jednou třetinou, 2/3 nákladů tvoří přenos, distribuce a DPH. Decentralizací se ušetří za přenos a rozvod elektrické energie (orientační hodnoty pro současné naše poměry → úspora přenos 40 [Kč/MWh], rozvod 20 až 60 [Kč/MWh]). Obvykle bude výroba platit za použití rozvodné sítě jako náhradní zdroj (pokud není záloha řešena jiným způsobem). Lze očekávat, že takovéto řešení kombinace centrálního systému s decentralizovanými místními zdroji (umístěnými co nejbližší místu spotřeby) umožní přispět ke snižování výrobních nákladů OZE.

Kogenerační jednotky jsou zatím drahé, ale při jejich velkém nasazení, které by umožnilo výrobu ve velkých sériích, by bylo možné značně snížit výrobní náklady, což pochopitelně platí i pro použití bioplynu. Od malých jednotek, (nelze kromě zálohování malých systémů, např. řídicích) očekávat větší možnost podílet se na systémových složkách. Jiná situace je při středně velkých teplárnách (spalujících biomasu, nebo použití bioplynu), které by mohly být použity i pro plnění systémových služeb (primární regulace, ostrovní provoz, pro starty „ze tmy“, záložní výkony apod., čímž by při využití OZE mohly zvyšovat své tržby.

Významným řešením pro velké využití biomasy je její spalování společně s uhlím u již provozovaných fluidních kotlů (menší možnosti i u roštových kotlů). Pro takovéto řešení jsou v ČR velmi příznivé podmínky, protože v posledních letech v souvislosti s rozsáhlým ekologickým programem a modernizací zařízení byly postaveny moderní fluidní kotle, většinou s cirkulující vířivou vrstvou a přímým odsířením, které většinou pracují v teplárenských blocích. V a.s. ČEZ je to sedm velkých kotlů zapojených v teplárenských blocích, další fluidní kotle byly instalovány i v dalších provozech s kombinovanou výrobou elektřiny a tepla, veřejné a závodní energetiky (Mladá Boleslav, Plzeň, Olomouc, Štětí, Třinec, Zlín a další). S těmito kotli jsou převážně velmi dobré zkušenosti a mohou spalovat širokou škálu paliv. Kvalitativní znaky spalovaného uhlí u těchto kotlů jsou blízké parametrům biomasy, hlavní rozdíl je obvykle v obsahu popela (proto při zkouškách kombinovaného spalování musí být pečlivě ověřována teplota vířivé vrstvy, stabilita vířivé vrstvy, množství inertních částic ve vířivé vrstvě, teploty v odlučovacích cyklonech a další). Spolehlivý provoz vyžaduje zajištění rovnoměrné velikosti a tvaru částic paliva (štěpky aj.), nebo úpravu paliva pro jeho kontinuální podávání pro spalování biomasy. Lze tedy očekávat dodatečné investice na příjmu biomasy (včetně skladování) a dopravy do kotle. Protože se může jednat o velká kvanta biomasy, je prioritní výběr a zajištění potřebné biomasy (zřejmě pěstované). Dosavadní poznatky a zkoušky ukazují (EHO, Maobit Berlin), že by bylo možné spalovat společně s uhlím 10 až 20 [%] biomasy. Ovšem musí být řešena i otázka výrobních nákladů, protože nyní je cena tepla v biomase většinou větší než cena tepla např. u hnědého uhlí.

V oblasti využití bioplynu se očekává větší přizpůsobování postupům v EU, např. Směrnice EU č. 99/31 (o skládkování odpadů), Směrnice č. 91/676/EEC (tzv. nitrátová

směrnice) upravuje aplikaci průmyslových a statkových hnojiv v zemědělství. Z této směrnice vyplývá, že prakticky nebude možná přímá aplikace některých exkrementů z chovu hospodářských zvířat. Jednou z možností, jak se s těmito odpady vypořádat, je i anaerobní fermentace v bioplynových stanicích, spojená s vývinem bioplynu a jeho optimálním energetickým využitím v kogeneračních jednotkách. U nás byly provedeny úpravy v kogeneračních jednotkách na bázi pístových spalovacích motorů. Výroba plynu je velmi složitá, vyžaduje teoretickou průpravu z několika vědních oborů.

Do oblasti využití biomasy patří i skládkový plyn ze skládek komunálních odpadů. V ČR je cca 250 skládek, do roku 2000 však bylo odplyněno jen 9 skládek a na pěti je jímáný plyn energeticky využíván. Tato situace kontrastuje se situací v západní Evropě, kde legislativa nařizuje odplynění každého významnějšího zdroje bioplynu a zhodnocení jímaného plynu. Řešení této situace je potřebné i v připravovaném zákonu o OZE. Ze starých skládek (neřízeně u nás zakládáných) bude možné využití skládkového plynu je v několika případech.

Do nových směrů je třeba zařadit i výzkum plazmové likvidace odpadů.

V současné době je v přípravě zákon na podporu výroby energie z obnovitelných zdrojů. Cílem zákona je zvýšit podíl výroby elektřiny v obnovitelných energetických zdrojích na hrubé spotřebě elektřiny tak, aby v roce 2010 byla v ČR dosažena cílová hodnota tohoto podílu 8 [%] (přístupová dohoda k EU). Splnění tohoto cíle přispěje ke snížení emisí škodlivin, snížení emisí skleníkových plynů, omezí dovoz drahých energetických paliv, přispěje k vytvoření podmínek pro zavádění nových technologií, ke zlepšení péče o krajinu, růstu prosperity obcí a k vyšší zaměstnanosti v regionech.

Zákon stanoví základní principy podpor při realizaci opatření na využití biomasy. Pro výrobu tepla z obnovitelných zdrojů bude podporováno zakládání a údržba porostů r.r.d., podpora produkce bylin pro energetické využití, dotované zatravnění, podpora výstavby zpracovatelských linek pro výrobu briket, peletek a další. V rámci krajských programů bude poskytována investiční podpora environmentálně šetrným způsobům vytápění a ohřevu TUV, investiční podpora výstavby zařízení pro společnou výrobu elektřiny a tepla z biomasy a z bioplynu. Podpora vzdělávání, propagace, osvěty a poradenství.

Závěrem je třeba uvést, že doporučení pro rozvoj využití biomasy v jednotlivých regionech musí být podrobně zpracováno a oponentováno odborníky z této oblasti. Základním krokem je zpracování studií energetického potenciálu biomasy v regionech na základě reálných možností rozhodnutí o kapacitách a ekologickém, hospodárném využití (např. zpracování formou Studie proveditelnosti). Jde o využívání veškerých dřevních a lesních odpadů (při zachování koloběhu), do 10 až 20 [%] slámy (zbytek zůstává na farmách), travní biomasy, bioplynu a současné využívání přebytečné zemědělské půdy pro produkci energetických rostlin → pro teplárny, výtopy, lisovny na paliva, brikety a pelety.

16 Literatura

- [1] Cenek, M.: Obnovitelné zdroje energie, FCC Public Praha, 2001
- [2] Petříková, V.: Ekologický význam pěstování energetických rostlin a využívání biomasy v ČR, CZ BIOM, Praha 1998
- [3] Obnovitelné zdroje energie v obcích, MŽ, sborník konference, 4/2003 Hradec Králové
- [4] Kloz, M.: Podpora využívání obnovitelných zdrojů energie v ČR se zaměřením na Státní program podpory úspor energie a využívání obnovitelných zdrojů energie, Min. životního prostředí, 2003, Praha
- [5] Váňa, J.: Připravovaná podpora využívání obnovitelných zdrojů energie, CZ BIOM, <http://www.biom.cz/index.shtml?x=131870>
- [6] Šurovský, J.: Mikroturbína, Instalace Praha, 2003
- [7] Ibler, Z. a kol.: Technický průvodce energetika I. díl, BEN techn. literatura, Praha 2003

- [8] Weger, J., Havlíčková, K.: Zásady pěstování rychle rostoucích dřevin ve velmi krátkém období na zemědělské půdě, VÚKOZ-Průhonice, 2002
- [9] Ibler, Z. a kol.: Energetika v příkladech II. díl, BEN techn. literatura, Praha 2003 (v tisku)
- [10] Ibler, Z.: Optimalizace provozu parních elektráren, skripta ČVUT Praha 1991
- [11] Obnovitelné zdroje energie, Kroměříž, ČENES 1998
- [12] Juchelková, D.: Náhrada fosilních paliv – kombinované spalování biomasy a uhlí, 3T, 2/99
- [13] Bubeník, J.: Zpravodaj ČEA – nově, Zpravodaj ČEA, březen 2003
- [14] Ibler, Z.: Paroplynové bloky pro elektrárny a teplárny, ČEZ a.s., Praha 1997
- [15] Dutkevičová, T., Šelong, D.: V Třebíči spalují biomasu v nové kotelně, Zpravodaj ČEA, březen 2003, ročník 8
- [16] Ibler, Z., Karták, J.: Provozní režimy parních elektráren spalujících fosilní paliva, ČEZ, a.s., Praha 1994
- [17] Krbek, J., Polesný, B.: Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích, VUT Brno, učební texty vysokých škol, PC-DIR 1997
- [18] Ibler, Z., Karták, J., Ulrych, B.: Matematické modely a program pro PC pro optimalizaci přípravy provozu elektráren (tepláren), ČEZ, a.s., Praha 1994
- [19] Ibler, Z.: Česká energetika vstupuje do 3. tisíciletí, I. část Energie 6/2000, II. část 7,8/2000, Energie magazín, Panorama Group a.s. Praha
- [20] Zákon 458/2000 o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon)
- [21] Mendoca e Costa, J., Ferreira, J.: The new Trigeneration Power Plant and District Heating and Coolin Network at the EXPO 98
- [22] Informační listy demonstračních projektů, 1999, 2000 ČEA Praha
- [23] Firemní materiály, nabídky, projekty a kontrakty energetických zařízení, ověřování a záruční zkoušky, provozní zkušenosti
- [24] Kombinovaná výroba elektřiny a tepla, EKOWATT, Praha 2000
- [25] Možnosti rozvoje teplárenství a využití kogeneračních jednotek v regionech a městech ČR, ČEA Praha 2001
- [26] Kučera, R., Vaněk, S.: Využití spalování biomasy v Hodonínské elektrárně, ČEZ a.s., 3T, 1/2001
- [27] Študlar, Z.: Využití bioplynu pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, Alternativní energie, 5/2002
- [28] Havlíčková, V. a kol.: Hodnocení ekonomických parametrů využívání biomasy VÚKOZ, Průhonice 2001
- [29] Trnobranský, K., Dvořák, L.: Využití a likvidace odpadu, ediční středisko ČVUT, Praha 1990
- [30] Příručka pro regionální využití biomasy, ČEA, Praha, CityPlan
- [31] Ibler, Z., Karták, J. a kol.: Porovnání provozních a ekonomických výsledků fluidních kotlů, instalovaných v ELE, ETI, EPO a EHO, ČEZ Praha, 1999