

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE**

# **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Posouzení variant nového zdroje tepla a elektřiny pro obecnou horskou lokalitu, u které je vyšší pravděpodobnost přerušení dodávek tepla**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal ŠANTA**

Osobní číslo: **E17N0089P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektroenergetika**

Název tématu: **Posouzení variant nového zdroje tepla a elektřiny pro obecnou horskou lokalitu, u které je vyšší pravděpodobnost přerušování dodávek tepla**

Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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

Popište problematiku malých horských obcí při pokrývání vlastních energetických potřeb.

1. Navrhněte varianty vlastního zdroje tepla a elektřiny, které mohou umožnit trvalý energetický rozvoj v regionu.
2. Navrhněte způsob regulace výkonu zdroje při provozu v distribuční soustavě a provozu v ostrovním režimu.
3. Proveďte posouzení a výpočty environmentálních vlivů nového zdroje.
4. Spočítejte bilanci nového zdroje (spotřeby paliv, výroby elektřiny, dodávky tepla a účinnosti).
5. Zpracujte ekonomické hodnocení k posuzovaným variantám (NPV, IRR, doba návratnosti, cena koncového produktu).

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

Rozsah kvalifikační práce: **40 - 60 stran**

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. ČSN IEC, CZT-obchodní podmínky, Energetický zákon. Prodej komodit na burze. www. stránky, katalogové listy.
2. Student si vhodnou literaturu vyhledá v dostupných pramenech podle doporučení vedoucího práce.

Vedoucí diplomové práce:

**Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.**

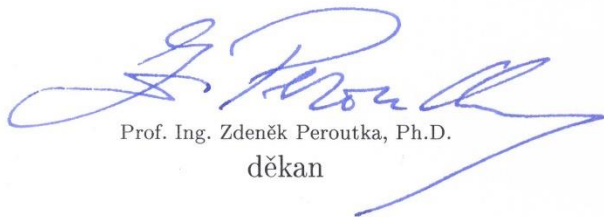
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce:


**5. října 2018**

Termín odevzdání diplomové práce:

**30. května 2019**

  
Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.  
děkan



  
Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 5. října 2018

**Abstrakt**

Tato diplomová práce je zaměřena na problematiku výpadků dodávek elektrické energie v horských oblastech. Vlivem těchto výpadků dochází k přerušení napájení domácích zdrojů tepla, a tak k přerušení dodávek tepelné energie. Cílem této práce je posoudit a navrhnout takový zdroj, který by stabilizoval energetické požadavky v dané horské oblasti. Takovýto zdroj produkuje jak tepelnou, tak elektrickou energii. V případě výpadku elektrické sítě by se díky tomuto zdroji stala daná oblast soběstačná. Část práce je zaměřena na návrh a posouzení variant zdrojů vyhovujících pro tuto aplikaci. Poté je pro jednotlivé zdroje vypočtena jejich bilance v závislosti na ročním období. V závěru je provedeno ekonomické zhodnocení jednotlivých zdrojů.

**Klíčová slova**

ORC, biomasa, horská lokalita, elektrická energie, tepelná energie, kombinovaná výroba elektřiny a tepla, KVET, kogenerace, CZT, DZT, bilance zdroje, účinnost, ekonomické zhodnocení

**Abstract**

This diploma thesis is focused on the problem of electric power system breaks in the area of the mountains. This breaks leads to interruption the heat supply of the heat sources in each home. The main goal of this thesis is to evaluate and design a new source of energy which stabilize and satisfy the energy consumption in the whole area. The new source produces electric and heat energy. Thanks to this source the mountain area is independent on the energy supply. Part of this thesis is focused on the design of perspective sources which could be used for this application. Than the balance and the economy evaluation is solved individually for each source depending on the season.

**Key words**

ORC, biomass, mountain area, electric energy, thermal energy, combined heat and power generation, cogeneration, balance of the power source, efficiency, economy evaluation

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

.....  
podpis

V Plzni dne 29.5.2019

Michal Šanta

## **Poděkování**

Tímto děkuji vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Zbyňku Martínkovi CSc. a odbornému konzultantovi z praxe panu Ing. Jiřímu Benešovi Ph.D. za odborné vedení této práce, přínosné rady a konzultace. Dále bych chtěl poděkovat rodině za podporu během studia a zejména mé skvělé mamce.

## Obsah

<b>OBSAH</b> .....	<b>8</b>
<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK</b> .....	<b>11</b>
<b>1 SOUČASNÉ ZDROJE TEPLA A ELEKTŘINY V HORSKÝCH OBLASTECH ČR</b> .....	<b>14</b>
1.1 KONVENČNÍ TEPELNÉ ZDROJE V HORSKÝCH OBLASTECH ČR .....	14
1.2 ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY V HORSKÝCH OBLASTECH ČR A JEJICH PORUCHOVOST.....	15
<b>2 NÁVRH VARIANT VLASTNÍCH ZDROJŮ TEPLA A ELEKTŘINY UMOŽŇUJÍCÍ TRVALÝ ENERGETICKÝ ROZVOJ V REGIONU</b> .....	<b>19</b>
2.1 DECENTRALIZOVANÉ A CENTRALIZOVANÉ ZDROJE TEPLA .....	19
2.2 BIOMASA.....	22
2.2.1 <i>Druhy biomasy</i> .....	22
2.2.2 <i>Zpracování biomasy</i> .....	24
2.2.3 <i>Výroba elektřiny a tepla z biomasy v ČR</i> .....	25
2.3 KOGENERAČNÍ ZDROJE VYUŽÍVAJÍCÍ BIOMASU.....	27
2.4 BIOPLYNOVÁ VÝROBA ELEKTŘINY A TEPLA .....	29
2.5 TEPLÁRENSKÉ ZDROJE SPALUJÍCÍ BIOMASU .....	30
2.5.1 <i>Typy kotlů využívaných pro kogeneraci</i> .....	30
2.5.2 <i>Typy turbín využívaných pro kogeneraci</i> .....	32
2.6 ORGANICKÝ RANKINŮV CYKLUS.....	35
2.6.1 <i>Parametry ORC jednotek</i> .....	36
2.6.2 <i>Provozní charakteristiky ORC jednotek</i> .....	39
2.6.3 <i>Návrh parametrů kogenerační jednotky s ORC</i> .....	40
2.7 TEPLOVODNÍ KOTEL PRO LETNÍ SEZÓNU .....	42
2.8 MOTORY S VNITŘNÍM SPALOVÁNÍM .....	43
2.8.1 <i>Parametry spalovacích motorů</i> .....	46
2.8.2 <i>Provozní charakteristiky spalovacích motorů</i> .....	51
2.8.3 <i>Návrh parametrů kogenerační jednotky se spalovacím motorem</i> .....	53
2.9 NÁVRH TEPLOVODNÍ SOUSTAVY .....	55
<b>3 REGULACE VÝKONU ZDROJE</b> .....	<b>56</b>
3.1 REGULACE PŘI PROVOZU V SÍTI .....	56
3.2 REGULACE V OSTROVNÍM REŽIMU.....	56
<b>4 POSOUZENÍ A VÝPOČTY ENVIRONMENTÁLNÍCH VLIVŮ NOVÉHO ZDROJE</b> .....	<b>58</b>
4.1 VÝHODY CZT .....	58
4.2 EMISE KOGENERAČNÍ ORC JEDNOTKY SPALUJÍCÍ BIOMASU .....	58
4.3 EMISE TEPLOVODNÍHO KOTLE .....	58
4.4 EMISE SPALOVACÍHO MOTORU .....	59
4.5 VLIV VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY NA OKOLNÍ ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....	59
<b>5 VÝPOČET BILANCE NOVÉHO ZDROJE</b> .....	<b>60</b>
5.1 SPOTŘEBA PALIVA.....	60
5.1.1 <i>Spotřeba paliva v hlavní topné sezoně</i> .....	61
5.1.2 <i>Spotřeba paliva v přechodné sezoně</i> .....	62
5.1.3 <i>Spotřeba paliva v letní sezoně</i> .....	64
5.1.4 <i>Spotřeba paliva pro záložní zdroj</i> .....	66
5.2 PALIVOVÉ NÁKLADY .....	67
5.2.1 <i>Palivové náklady v hlavní topné sezoně</i> .....	67
5.2.2 <i>Palivové náklady v přechodné sezoně</i> .....	67



**POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRIKY PRO OBECNOU HORSKOU  
LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA**

5.2.3	Palivové náklady v letní sezoně .....	68
5.3	MNOŽSTVÍ VYROBENÉ ELEKTRICKÉ ENERGIE .....	69
5.3.1	Množství vyrobené elektrické energie v hlavní topné sezoně.....	69
5.3.2	Množství vyrobené elektrické energie v přechodné sezoně.....	69
5.3.3	Množství vyrobené elektrické energie v letní sezoně .....	69
5.3.4	Vyrozená elektřina celkem .....	70
5.4	MNOŽSTVÍ VYROBENÉ TEPELNÉ ENERGIE .....	70
5.4.1	Množství vyrobené tepelné energie v hlavní topné sezoně.....	70
5.4.2	Množství vyrobené tepelné energie v přechodné sezoně.....	70
5.4.3	Množství vyrobené tepelné energie v letní sezoně .....	71
5.5	ÚČINNOST NOVÉHO ZDROJE .....	72
5.5.1	Elektrická účinnost zdroje .....	72
5.5.2	Tepelná účinnost zdroje.....	73
5.5.3	Celková účinnost.....	75
<b>6</b>	<b>EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NOVÉHO ZDROJE.....</b>	<b>76</b>
6.1	CENA KONCOVÉHO PRODUKTU .....	76
6.2	VÝNOSY ZA ELEKTRICKOU A TEPELNOU ENERGII .....	77
6.2.1	Výnosy za vyrobenou elektrickou energii .....	77
6.2.2	Výnosy za vyrobenou tepelnou energii .....	78
6.2.3	Celkové výnosy .....	79
6.3	NÁKLADY NA VÝROBU ELEKTRICKÉ A TEPELNÉ ENERGIE.....	79
6.3.1	Palivové náklady.....	79
6.3.2	Náklady na opravy a údržbu.....	80
6.3.3	Celkové náklady.....	80
6.4	ČISTÁ NÁVRATOVÁ HODNOTA.....	81
6.5	VNITŘNÍ ÚROKOVÁ MÍRA.....	84
6.6	DOBA NÁVRATNOSTI.....	85
	<b>ZÁVĚR.....</b>	<b>86</b>
	<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ.....</b>	<b>88</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ .....</b>	<b>1</b>

## Úvod

Tato diplomová práce se zaměřuje na problematiku výpadků dodávek elektrické energie v horských oblastech, které jsou zejména v zimních obdobích velice časté. Tyto výpadky zapříčiňují přerušení dodávek tepelné energie z běžných konvenčních topných systémů, které ke svému chodu vyžadují elektrické napájení.

Pro zajištění stability energetických požadavků dané horské oblasti, nejen při výpadcích elektrizační sítě, je v práci proveden návrh vhodného centrálního zdroje vyrábějícího jak tepelnou, tak elektrickou energii. Zdroj je volen s ohledem na dostupnost paliva v dané lokalitě a nejdostupnějším palivem v horských oblastech je dřevo. Proto je nejvhodnějším zdrojem pro tuto aplikaci kogenerační jednotka spalující dřevní biomasu, která je odebírána z místních zdrojů.

Hlavní zdroj musí být pro případ výpadku doplněn záložním zdrojem, který bude dobře regulovatelný a pokryje tak špičkové pásmo odběru elektrické energie. Dále je proveden návrh zdroje pro letní sezonu, kdy poptávka po tepelné energii není tak vysoká, aby byla využívána hlavní jednotka.

Dále je proveden bilanční výpočet spotřeby paliv, nákladů na palivo, množství vyrobené energie a výpočet účinností jednotlivých zdrojů podle daných topných sezon.

V závěru práce je celý návrh ekonomicky zhodnocen. Podle celkových investičních nákladů, výnosů z prodeje energií a nákladů na jejich výrobu jsou vypočítány jednotlivé finanční faktory, podle kterých se určuje výhodnost investice do daného projektu.

## Seznam symbolů a zkratk

<i>Značka</i>	<i>Název</i>	<i>Jednotka</i>
<i>SAIFI</i>	System Average Interruption Frequency Index	
<i>SAIDI</i>	System Average Interruption Duration Index	
<i>ČEZ</i>	České energetické závody	
<i>PRE</i>	Pražská energetika	
<i>DZT</i>	Decentralizované zásobování teplem	
<i>CZT</i>	Centrální zásobování teplem	
<i>KVET</i>	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla	
<i>TUV</i>	Teplá užitková voda	
<i>CO<sub>2</sub></i>	Oxid uhličitý	
<i>CO</i>	Oxid uhelnatý	
<i>NO<sub>x</sub></i>	Oxidy dusíku	
<i>RC</i>	Rankin-Clausiusův	
<i>ORC</i>	Organický Rankinův cyklus	
<i>TZ</i>	Tepelný zdroj	
<i>TM</i>	Tepelný motor	
<i>TO</i>	Tepelný oběh	
<i>PJ</i>	Primární jednotka	
<i>SM</i>	Spalovací motor	
<i>BIP</i>	Biopalivo	
<i>CNG</i>	Stlačený zemní plyn	
<i>P<sub>E</sub></i>	Elektrický výkon	<i>kW<sub>E</sub></i>
<i>P<sub>E, n</sub></i>	Jmenovitý elektrický výkon	<i>kW<sub>E</sub></i>
<i>P<sub>T</sub></i>	Tepelný výkon	<i>kW<sub>T</sub></i>
<i>P<sub>T, n</sub></i>	Jmenovitý tepelný výkon	<i>kW<sub>T</sub></i>
<i>η<sub>E</sub></i>	Elektrická účinnost	%
<i>η<sub>E, n</sub></i>	Jmenovitá elektrická účinnost	%
<i>η<sub>T</sub></i>	Tepelná účinnost	%
<i>η<sub>T, n</sub></i>	Jmenovitá tepelná účinnost	%
<i>η<sub>dT</sub></i>	Účinnost uvolnění tepla	%

POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU  
LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA

$\eta_{KOT}$	Účinnost uvolnění tepla kotle	%
$\eta_C$	Celková účinnost	%
$W_E$	Množství elektrické energie	$MW_E$
$W_T$	Množství tepelné energie	$MW_T$
$Q_{pal}$	Tepelná energie uvolněná v palivu	$GJ/h$
$Q_i$	Výhřevnost paliva	$MJ/kg$
$M$	Množství	$Kg/h; t/h$
$M_{pal}$	Množství paliva	$kg/h; t/h$
$V$	Objemové množství	$m^3$
$HS$	Hlavní sezona	
$PS$	Přechodná sezona	
$LS$	Letní sezona	
$T$	Doba	<i>hod; dny</i>
$T_{HS}$	Doba trvání hlavní sezony	<i>hod; dny</i>
$T_{PS}$	Doba trvání přechodné sezony	<i>hod; dny</i>
$T_{LS}$	Doba trvání letní sezony	<i>hod; dny</i>
$Z$	Zatížení	%
$W$	Obsah vlhkosti	%
$\rho$	Měrná hmotnost	$kg/m^3$
$p_{max}$	Maximální provozní tlak	<i>bar</i>
$t_{sp}$	Teplota spalin	$^{\circ}C$
$N$	Cena	<i>mil. Kč</i>
$n$	Otáčky	<i>ot/min</i>
$n_{i, po}$	Měrná pořizovací cena na 1 kW	<i>Kč/kW</i>
$n_{i, C}$	Celkové měrné investiční náklady na 1 kW	<i>Kč/kW</i>
$N_{TS}^{km}$	Cena teplovodní sítě na km	<i>Kč/km</i>
$V_E$	Výnosy za vyrobenou elektrickou energii	<i>mil. Kč</i>
$V_T$	Výnosy za vyrobenou tepelnou energii	<i>mil. Kč</i>
$V_C$	Výnosy celkem	<i>mil. Kč</i>
$C_T$	Cena za tepelnou energii	<i>Kč/GJ</i>
$C_E$	Cena za elektrickou energii	<i>Kč/kWh</i>
$CF$	Cash Flow	<i>mil. Kč</i>

*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU  
LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

<i>NPV</i>	Net Present Value	<i>mil. Kč</i>
<i>IRR</i>	Internal Rate of Return	<i>%</i>
<i>PBP</i>	Pay Back Period	<i>let</i>
<i>T<sub>p</sub></i>	Doba návratnosti	<i>let</i>

# **1 SOUČASNÉ ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY V HORSKÝCH OBLASTECH ČR**

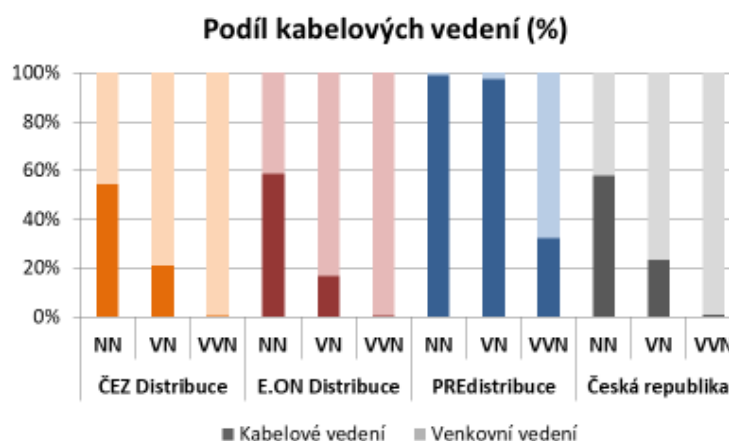
Tato kapitola je zaměřena na popis současně používaných zdrojů tepla, na typy elektrizačních soustav a na příčiny, četnost a dobu trvání vzniklých poruch v horských oblastech České republiky.

## **1.1 Konvenční tepelné zdroje v horských oblastech ČR**

Obyvatelé horských oblastí České republiky potřebují ke svému přežití, nejen v zimních obdobích, kdy teploty dosahují bodu mrazu, spolehlivý a trvale udržitelný zdroj tepla pro zajištění tepelného komfortu v jejich obydlích. K tomuto účelu jsou v současné době využívány především klasické konvenční zdroje tepla, instalované v každé domácnosti zvlášť, jako jsou kamna a krby na dřevo s tepelným výměníkem, kotle na tuhá paliva a stále častěji využívaná tepelná čerpadla. Tyto tepelné systémy potřebují ke svému chodu zdroj elektrické energie, zejména pro zajištění cirkulace topného média, a tím je především distribuční soustava elektrické energie. Z toho plyne, že k zajištění dodávky tepelné energie je nutné mít stálý a stabilní zdroj elektriny.

## 1.2 Elektrizační soustavy v horských oblastech ČR a jejich poruchovost

Rozvod elektrické energie k zákazníkům v České republice je realizován distribuční soustavou, provozovanou distributorem elektrické energie. V Praze je to PRE, na většině území distributorem ČEZ distribuce a na jihu republiky distributorem E.ON. Napěťové hladiny distribuční soustavy jsou 110 kV (VVN), 22 kV (VN) a 0,4 kV (NN).



Obrázek 1.2.1: Podíl kabelového a venkovního vedení v ČR (1)

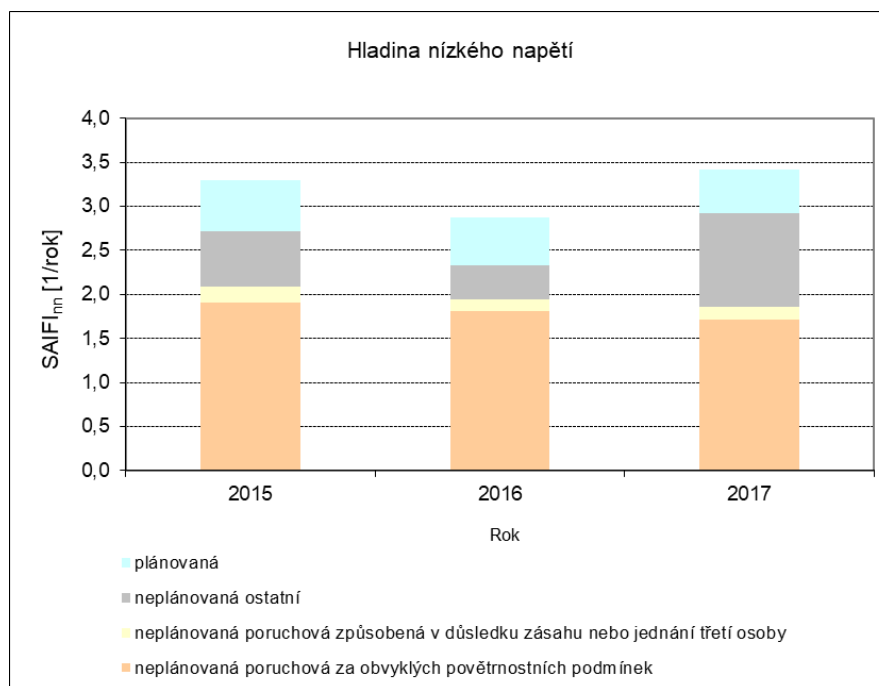
Jak můžeme vidět v grafu, hladina velmi vysokého napětí je na většině území realizována především venkovním vedením, výjimkou je rozvod v hlavním městě Praze, kde je z 30% v zastoupení kabelového vedení. Výjimkou jsou obecně městské zástavby, kde se upřednostňuje převážně kabelový rozvod, zejména z estetického a praktického hlediska. Hladina vysokého napětí je přibližně z 80% tvořena venkovním vedením a hladina nízkého napětí je poté tvořena z necelých 60% kabelově. Dnešní trend je umisťovat co nejvíce těchto rozvodů do země. Rozvody nízkého napětí ve venkovním provedení jsou realizované zejména tam, kde nehraje roli estetika, a tam kde není možné je uložit do země. Tak tomu je například v horských oblastech, kde bývá hornatý terén a uložení do země by se finančně nevyplatilo. V horských oblastech jsou sítě realizované zejména venkovním vedením 22 kV a následně při rozvodu k jednotlivým zákazníkům kabelově nebo venkovním vedením hladinou nízkého napětí 0,4 kV.

Venkovní vedení distribuční soustavy v horských oblastech je vystaveno náročným povětrnostním a klimatickým podmínkám, zejména v zimních obdobích, kdy dochází

POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA

k častým výpadkům, způsobeným například pádem vedení pod tíhou námrazy, pádem stromu na vedení nebo způsobené silným poryvem větru. Takovéto poruchy mohou být opraveny v řádů několika hodin, ale jedná-li se o poruchu v obtížně přístupném terénu, může tato doba narůstat až do několika dnů. U kabelových rozvodů může také dojít k třífázovým zkratům, u takovýchto poruch je obtížná jejich lokalizace a doba jejich trvání může být také dlouhá. Při takovýchto poruchových stavech nejenže dojde k přerušení dodávky elektrické energie, ale v závislosti na výpadku dojde také k přerušení zásobování teplem v jednotlivých domácnostech.

Kvalita a nepřetržitost dodávky elektrické energie v dané lokalitě se hodnotí pomocí ukazatelů nepřetržitosti. Jedním je SAIFI (*l/rok*) (Průměrný počet přerušení distribuce elektřiny za rok) a druhým je SAIDI (*min/rok*) (Průměrná souhrnná doba trvání přerušení distribuce elektřiny za rok). Ukazatel nepřetržitosti SAIFI a SAIDI pro provozovatele ČEZ distribuce na hladině nízkého napětí během tří let v ČR jsou znázorněny v následujících grafech. (2)



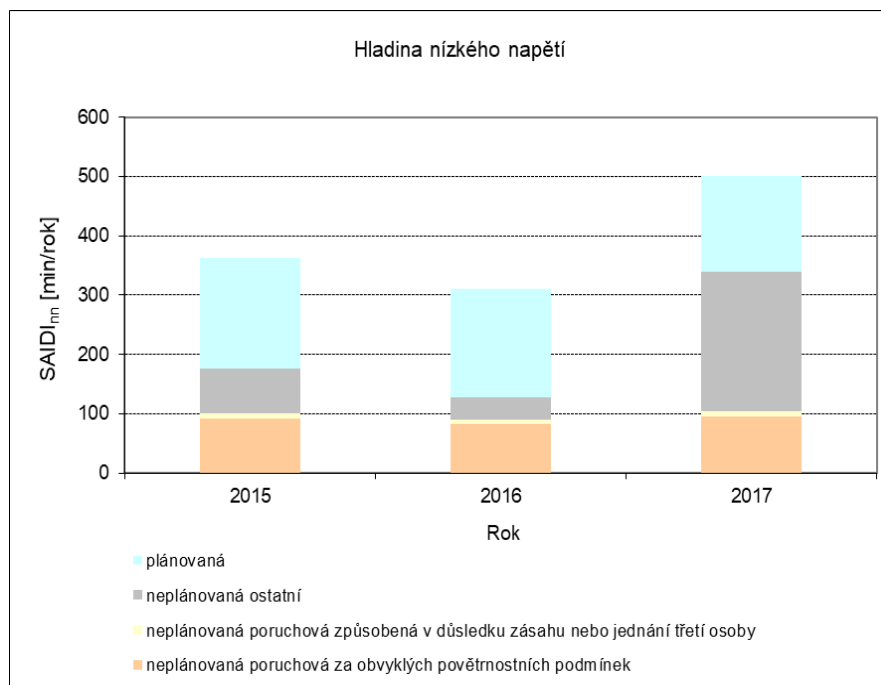
**Obrázek 1.2.2: Charakter poruch pro SAIFI na NN v ČR za 3 roky (2)**

Z grafu pro SAIFI je patrné, že neplánované poruchy za obvyklých povětrnostních podmínek (oranžová) zaznamenaly drobný pokles. Neplánované poruchy způsobené v důsledku zásahu, nebo jednání třetí osoby (žlutá) a plánované odstávky (modrá) jsou téměř



*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

konstantní. Zatímco četnost výskytu neplánovaných ostatních poruch, do kterých patří i poruchy při nepříznivých povětrnostních podmínkách (šedá), vykazují značný nárůst.

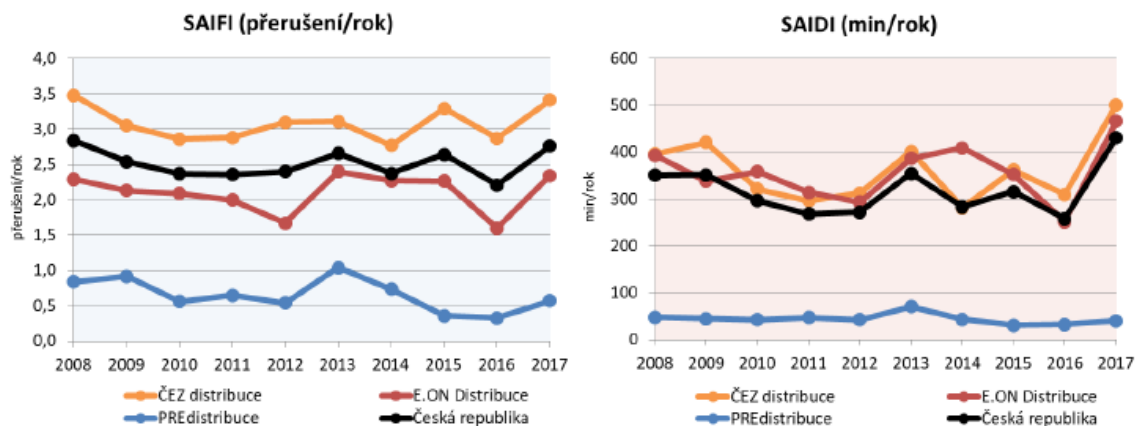


**Obrázek 1.2.3: Charakter poruch pro SAIDI na NN v ČR za 3 roky (2)**

Z grafu pro SAIDI je vidět, že doba trvání neplánovaných poruch za obvyklých povětrnostních podmínek (oranžová) a neplánovaných poruch způsobených v důsledku zásahu, nebo jednání třetí osoby (žlutá) jsou téměř konstantní. U plánovaných odstávek (modrá) došlo k poklesu doby potřebné k jejich vyřešení, při přibližně stejném počtu výskytů, jak bylo znázorněno v předchozím grafu. Neplánované ostatní poruchy (šedá) vykazují rapidní nárůst průměrné doby trvání v roce 2017, oproti ostatním rokům. Což odpovídá nárůstu průměrného počtu přerušení v grafu pro SAIFI.

Jednotlivé provozovatele nelze mezi sebou přímo porovnávat, protože každý disponuje soustavou s jinými parametry a umístěnou v různých podmínkách. Proto je mnohem více adekvátní porovnávat časový vývoj jednotlivých ukazatelů pro každou společnost zvlášť. (2)

POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA



Obrázek 1.2.4: Časový vývoj ukazatelů nepřetržitosti dodávky pro jednotlivé společnosti (1)

Zatímco v roce 2016 byly zaznamenány nejnižší hodnoty obou ukazatelů za dobu jejich sledování, v roce 2017 tomu bylo naopak. V tomto roce ukazatel SAIDI dosahoval obecně nevyšší hodnoty od doby jeho sledování a ukazatel SAIFI vykazoval také značný nárůst. To, že došlo k takovému nárůstu obou ukazatelů má za následek orkán Herwart, který způsobil zvýšený výskyt poruch způsobený nepříznivými povětrnostními podmínkami na přelomu října a listopadu. (1)

## 2 NÁVRH VARIANT VLASTNÍCH ZDROJŮ TEPLA A ELEKTŘINY UMOŽŇUJÍCÍ TRVALÝ ENERGETICKÝ ROZVOJ V REGIONU

V této kapitole je popsán rozdíl mezi decentralizovaným a centralizovaným zdrojem tepla. Dále jsou popsány zdroje elektrické energie a tepla využívající obnovitelných zdrojů energie. Tyto zdroje jsou vhodné pro naši aplikaci v horské lokalitě. Zejména z environmentálního hlediska, kdy produkují minimální emise do ovzduší a nedochází ke kontaminaci okolní krajiny. Dále pak také to, že pro provoz těchto zařízení lze dopravovat paliva produkovaná lokálně v regionu, což umožňuje další, než jen energetický rozvoj.

### 2.1 Decentralizované a centralizované zdroje tepla

#### Decentralizované zásobení teplem (DZT)

Decentralizované zásobování teplem (DZT) je specifické tím, že je místní zdroj tepelné energie umístěn přímo u spotřeby, tedy v objektu, např. v obytné domovní jednotce. V městských aglomeracích jsou jako DZT běžně využívané kotle na zemní plyn nebo elektřinu a v hojně míře jsou zastoupeny také tepelná čerpadla. Na vesnicích a v horských oblastech jsou zastoupeny převážně DZT využívající k vytápění pevná paliva, hnědé uhlí, kusové dřevo nebo v poslední době oblíbené dřevění peletky.

U DZT jsou výhodou nízké investiční náklady, díky nízkým výkonům tepelných zdrojů. Jedná se o celkově jednodušší technologii s menšími nároky na její údržbu a opravy. Při použití zemního plynu pro vytápění se zvyšuje automatizace provozu jednotek a ty jsou téměř bezobslužné. Pokud je používán kotel na hnědé uhlí nebo na dřevěné peletky jsou nároky na obsluhu značně vyšší. Vybavením jednotek zásobníkem paliva se dá čas strávený na obsluhu omezit na minimum. U těchto zdrojů je navíc jednou z hlavních výhod rychlost realizace, ta je velmi krátká a je otázkou v řádech dnů a není podrobena žádným legislativním nařízením a emisním limitům. Další z výhod je, že DZT není závislý na vnějších podmínkách a na topné sezóně a uživatel si tak může zatopit v podstatě kdykoliv a dodávka tepla je téměř stoprocentně spolehlivá. (3) (4)

Nevýhodou DZT je jejich nízká účinnost v porovnání se zdroji s vyššími tepelnými výkony. Jednou z hlavních nevýhod takovýchto zdrojů jsou jejich emise, kdy malé domácí

*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

---

zdroje tepla nejsou vybaveny žádnou technologií zajišťující odsíření a čištění spalin od popílku a disponují nízkým vyústěním kouřovodů nad obydlí. Navíc nejsou nijak měřeny emise oxidů dusíku. To má za následek zamoření okolního ovzduší kouřem a narušení hygienických limitů ovzduší pro zdraví pobyt lidí. (3) (4)

### **Centralizované zásobení teplem (CZT)**

Centralizované zásobování teplem (CZT) se vyznačuje tím, že se jedná o centrální zdroj tepelné energie, který dodává tepelnou energii teplotněmu médiu a to se přenáší teplotně přenosovou soustavou (potrubím) k odběratelům této energie. Přenos tepelné energie je většinou realizován horkou vodou, která disponuje teplotou do 180°C. Horká voda proudí z výměníku od zdroje tepelné energie horkovodem k dalšímu výměníku nacházejícím se poblíž místa odběru, někdy označovaného také jako předávací stanice, zde horká voda předá svou tepelnou energii samostatnému tepelnému okruhu, který je uzavřen mezi předávací stanicí a odběratelem. Voda po předání svého tepla se vrací zpět do teplárny, kde dochází k opětovnému ohřátí a celý cyklus se opakuje. Takovéto zdroje také často využívají kombinované výroby tepla a elektřiny, což značně zvyšuje jejich účinnost a možnost regulace, díky poměru výroby tepla a elektřiny. Kotle, které se využívají pro centralizované zásobování teplem, umožňují spalování nejrůznějších druhů paliv, od hnědého uhlí, mazutu, biomasy po spalování odpadu ve spalovnách. (3) (4)

Mezi hlavní výhody CZT patří vysoká účinnost teplárenských kotlů vzhledem k výrobě tepelné energie a pokud jsou využívány jako kombinované zdroje vyrábějící tepelnou i elektrickou (KVET) energii, přesahuje jejich účinnost hranici 90%. Další z hlavních výhod je použití pokročilých technologií k čištění spalin od pevných částic popílku například pomocí elektrostatických odlučovačů a čištění plynných oxidů dusíku například pomocí vápencové vypírky. Centralizované zdroje navíc disponují vysokým vyústěním kouřovodů nad okolní krajinu. Díky tomu nedochází k emisivitě škodlivých spalin do blízkého okolí, jejich hodnoty dosahují přijatelných mezí a nepřekračují hygienické normy. Možnost spalovat méně ušlechtilá paliva a jejich nákup za velkoobchodní ceny snižuje cenu vyráběné energie a zvyšuje se výhodnost těchto zdrojů, oproti DZT. Výhodou je také tepelná akumulace tepelné přenosové sítě, kdy při krátkodobých výpadech výroby tepla nedojde k přerušování dodávky u spotřebitelů tepelné energie. Pokud teplárenský zdroj má více kotlů, je možné, aby se kotle vzájemně zálohovali při výpadku, nebo poruše

*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBŇNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

---

v technologii, a tak nedošlo k přerušení výroby tepla. V letním období, kdy není příliš velká poptávka po tepelné energii, je možné tuto energii dodávat absorpčním chladicím systémům pro výrobu chladu. (3) (4)

Nevýhodou u CZT je nízká účinnost přenosu teplonosného média, většinou horké vody, na velké vzdálenosti, kdy dochází k velkým tepelným ztrátám i přes to, že jsou horkovody izolované. Pro lepší izolaci se často rozvodné sítě umisťují pod zem, která značně tepelné ztráty omezuje, ale jedná se o finančně nákladnější variantu. Ke ztrátám tepelné energie dochází také v předávacích stanicích, kdy při přenosu tepla z primární tepelné sítě do sekundární se část energie ztratí. U CZT je provoz zdroje technologicky náročný a proto je nelze provozovat bezobslužně, a tak jsou kladeny vysoké nároky na kvalifikovanou obsluhu. Emisní limity se neustále zpřísňují, a proto je nutné používat stále novější technologie na filtraci spalin, které je nutné neustále modernizovat, což je vzhledem k investicím značně nákladné. Při překročení emisních limitů dochází k finančním penalizacím. V letním období není využitelnost zdrojů tak vysoká, ty slouží převážně pouze pro výrobu teplé užitkové vody (TUV), a tak dojde ke zvýšení měrných provozních nákladů oproti hlavní sezoně. Možným řešením do jisté míry je využití dodávky tepla pro výrobu chladu, toho využívají například velkochladicí zařízení a pivovary, pro které je tento způsob chlazení výhodný. Další z hlavních nevýhod jsou vysoké investiční náklady na výstavbu nového CZT a dlouhá likvidita investic. Výstavbu také značně limitují složité právní a legislativní nařízení a zákony. Mnohem snáze se realizuje modernizace a přestavba stávajícího zařízení. (3) (4)

## **2.2 Biomasa**

V podstatě se jedná o veškerou organickou hmotu odumřelých organismů účastnící se koloběhu živin v biosféře naší planety. Jde o mrtvé organismy rostlin, živočichů, hub, bakterií, sinic a další. Rostliny využívají energii slunce a přeměňují ji pomocí fotosyntézy na biomasu s energií akumulovanou v podobě uhlovodíků. Živočichové vytváří biomasu z jiné biomasy a tato přeměna by nebyla možná bez rostlin. Pro energetiku je zajímavá především biomasa rostlinného původu, která se dá transformovat na využitelnou formu energie v podobě tepla a elektřiny.

### **2.2.1 Druhy biomasy**

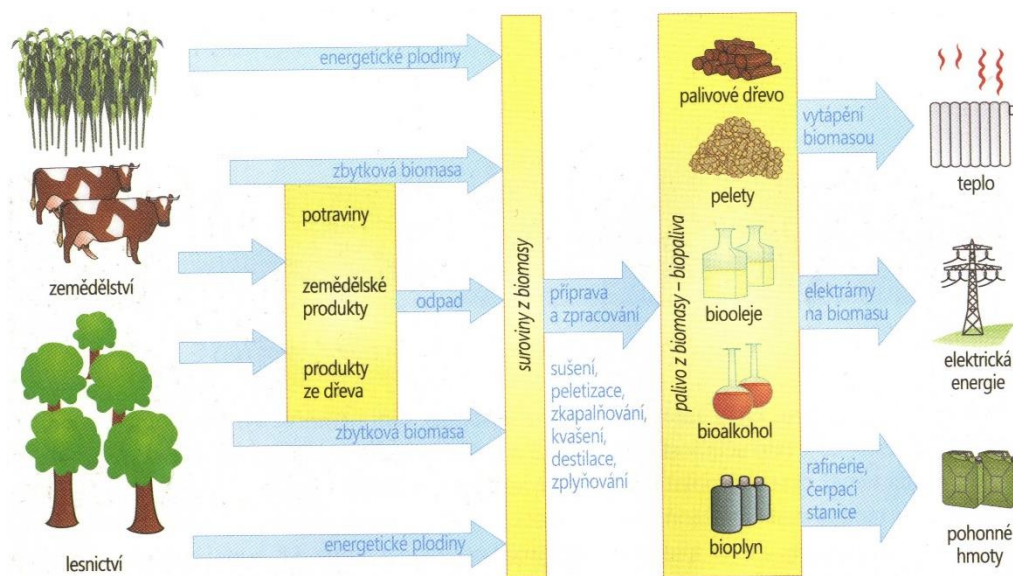
Biomasu lze rozdělit dle jejích vlastností a obsahu vody. Suchá biomasa skládající se především ze dřeva a odpadů z něj, slámy a odpadů z pěstování zemědělských plodin. Tato biomasa se může spalovat přímo nebo se dále dosušuje a upravuje. Mokrý biomasa zejména tekuté odpady jako je kejda a další živočišné odpady a komunální odpady. Tuto biomasu nelze spalovat přímo, využívá se především v bioplynových technologiích k výrobě bioplynu. Speciální biomasa, jako jsou olejnaté, cukernaté a škrobové rostliny, se pomocí speciálních technologií využívá k výrobě energetických hmot zejména bionafty nebo lihu.

Biomasu dále lze rozdělit na biomasu pěstovanou přímo pro energetické účely (energetické plodiny) a na biomasu odpadní. U biomasy určené pro energetiku se jedná o rychle rostoucí dřeviny nebo o rostliny bylinné. Tyto rostliny disponují snadným výsevem, krátkým vegetačním obdobím a jsou využitelné i na jiné než energetické účely. Jednotliví zástupci z této skupiny jsou.

- Rychle rostoucí dřeviny: topol, olše, vrba, líska, akát, platan aj.
- Bylinné rostliny: konopí, amarant, ostřík, šťovík, kostřava aj.
- Travní porosty: sloní tráva, chrastice a trvalé travní porosty
- Obiloviny: obilí, oves, žito, ječmen aj.
- Olejnaté rostliny: řepka olejná, len, slunečnice, dýně (semeno) aj.
- Škrobcukernaté rostliny: cukrová třtina, cukrová řepa, brambory, obilí (zrno), kukuřice, topinambur aj..

**POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBŇOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA**

Energetické plodiny většinou zabírají zemědělskou půdu a to na úkor plodin určených pro potravinářské účely, a tak se dostávají do rozporu. K výrobě odpadní biomasy se využívá rostlinných odpadů ze zemědělské prvovýroby a to například sláma z obilnin, kukuřice, řepky, sena. Také odpady z rostlinné produkce jako jsou sady s ovocem a například vinice s vinnou révou, odpady z údržby zeleně a travnatých ploch. Dále odpady z lesní produkce (dendromasa). Po těžbě dříví zůstává v lese velké množství nevyužitých odpadů, jako jsou zbylé větve, odřezky stromů, kořeny, pařezy, kůra, šišky, piliny. Z průmyslové výroby z organických materiálů vzniká velké množství spalitelných odpadů. Z dřevařských výroben odřezky, hobliny, piliny, kůra. Odpady z provozů, kde se skladuje a zpracovává rostlinná produkce, jako jsou zbytky z cukrovarné, lihovarné a mlékárenské výroby. Vedlejší odpady z živočišné výroby, exkrementy hospodářských zvířat (hnůj, močůvka, kejda) a zbytky krmiv. Komunální tuhé organické odpady a to převážně zbytky potravy. A v poslední řadě je využitelný i takový odpad, jako jsou splašky z kanalizace. (7) (7)



**Obrázek 2.2.1: Zdroje biomasy a její zpracování (7)**

### 2.2.2 Zpracování biomasy

#### Mechanická úprava biomasy:

Biomasové suroviny se dále zpracovávají na energeticky využitelné produkty. Nejvyužívanější přírodní surovinou pro vytápění je už od pradávna dřevo, to prochází mechanickou úpravou, která usnadňuje jeho přepravu a zefektivňuje jeho následné energetické využití. Mezi tyto mechanické úpravy patří nařezání na dané rozměry a štípání to je pak používáno přímo jako palivové dřevo nebo je dále upravováno drcením a štěpkováním. Takto zpracované dřevo je po usušení lisováno na brikety a pelety, případně je využito samotné štěpky jako takové. Důležitým procesem v přípravě takovýchto paliv je sušení. Na obsahu vlhkosti je závislá výhřevnost dřeva a také jeho váha, která hraje roli při dopravě. Mezi další mechanické úpravy patří lisování olejnatých rostlin za vzniku oleje. Surové vylisované oleje prochází procesem esterifikace, při kterém se nahrazuje metylalkohol za glycerin a vzniká metylester. Metylester disponuje podobnými vlastnostmi a výhřevností jako běžná nafta vyrobená z fosilních paliv. (7) (8)

#### Termo-chemická úprava biomasy:

Další úpravou biomasových surovin je termochemická přeměna. Pod tuto kategorii spadá pyrolýza, při tomto ději dochází k termickému rozkladu organických látek bez přístupu kyslíku. A to tak, že se organické materiály zahřívají nad mez jejich termické stability a dochází tak ke štěpení na nízkomolekulární sloučeniny.

Katalytickou pyrolýzou je možné využít nejen organických odpadů, ale také komunálních odpadů a odpadů jako jsou pneumatiky a plasty (polystyren, polyetylen, PVC) k produkci oleje, dosahujícího výhřevnosti 16-19 kJ/kg. Díky možnosti využití těchto materiálů se jedná o velmi perspektivní metodu.

Mezi další termochemické přeměny patří zplyňování. Jako v předchozí metodě, i zde dochází k zahřívání materiálu bez přístupu vzduchu, ale místo oleje dochází k produkci plynu. Jako materiál pro tuto přeměnu je využíváno slámy nebo palivového a odpadního dřeva. Vzniklý dřevoplyn může být veden přímo do spalovací komory, kde dochází ke spalování stejně jako u jiných plynných paliv a dochází k produkci tepla případně i elektřiny. Určitá část vyrobeného tepla je použita ke zplynění další biomasy. U této metody je výhodné,



*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

že se u ní dobře reguluje výkon, emise nejsou tak vysoké a dosahuje vysoké účinnosti. Dřevoplyn neboli generátorový plyn se dále může využívat pro pohon motorových vozidel.  
(7) (8)

### **Bio-chemická úprava biomasy:**

Dalším způsobem, kterým se biomasa upravuje, jsou biochemické procesy. Mezi ně patří alkoholové kvašení. Organické rostliny obsahující cukry (např. cukrová řepa, obilí, kukuřice, brambory, ovoce) a škroby se fermentují v mokřím prostředí a následně destilují, čímž dojde k oddělení alkoholu a vzniká vysokoprocenní etanol (bioetanol). Tento ekologicky získaný alkohol se využívá jako kapalné palivo pro spalovací motory. Udává se, že z jednoho kilogramu cukru lze teoreticky vyrobit až 0,65l čistého etanolu. Předností je jeho ekologická čistota a antidetonační vlastnosti. Nevýhodou je náchylnost na vázání vody, to může způsobovat korozi motoru, ale tomu lze zamezit přidáním speciálních antikoročních přípravků.

Dále metanové kvašení. Tento proces může zpracovávat odpadní vody, směs zvířecích exkrementů (hnůj, kejda), plodin (kukuřice) a zbytky zelených rostlin v uzavřených nádržích (reaktorech) bez přístupu vzduchu pomocí tzv. anaerobní fermentace při teplotě 35-45°C a výstupem tohoto procesu je bioplyn. U bioplynu je žádoucí, aby obsahoval co nejvyšší množství těkavého metanu, obsah je při tom v rozmezí 50-75% tohoto plynu, zbytek objemu je oxid uhličitý a ostatní plyny. Výhřevnost plynu je 20-25 MJ/m<sup>3</sup>. Z tohoto procesu vystupují také kromě bioplynu zbytky vyhnívající biomasy, která je velmi dobrým hnojivem a je tak využitelná pro produkci další biomasy. (7) (8)

### **2.2.3 Výroba elektřiny a tepla z biomasy v ČR**

Výroba elektřiny a tepla z biomasy v České republice má za poslední roky rostoucí trend. Výroba elektřiny z biomasy zaznamenala během posledních let značný vývoj a několikanásobný nárůst, zejména díky dotacím podporujících tuto výrobu.

<b>HRUBÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE - BIOMASA</b>											
<i>rok</i>	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
<i>(TWh<sub>E</sub>)</i>	0,97	1,17	1,40	1,49	1,68	1,82	1,68	1,99	2,09	2,07	2,21

**Tabulka 2.2.1: Hrubá výroba elektrické energie v ČR z biomasy v rozmezí 10 let**

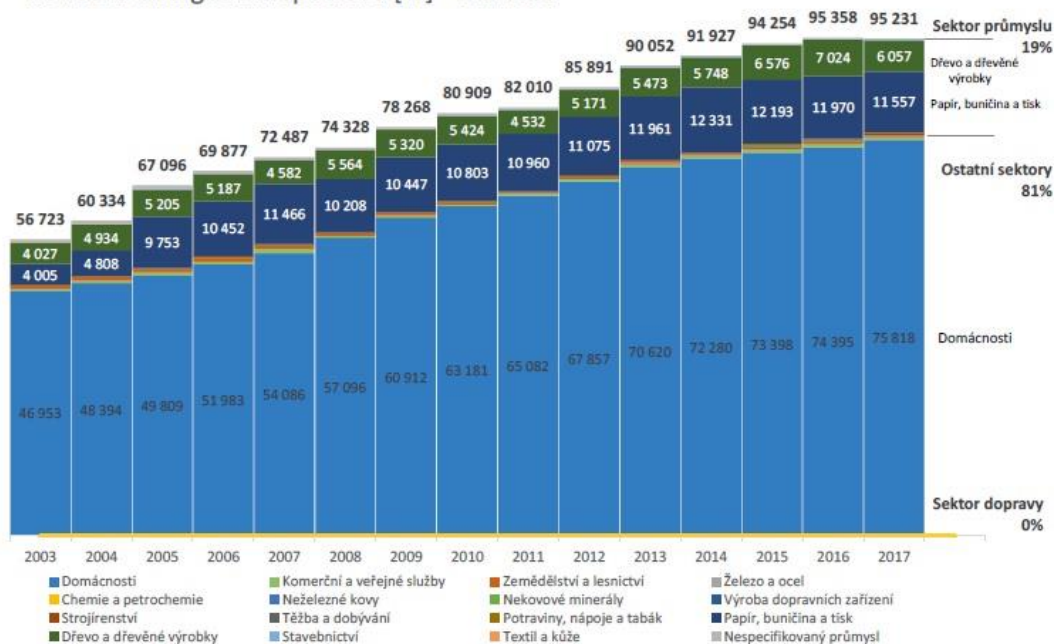
*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBŇNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

V závislosti na rostoucím trendu výroby energie z biomasy došlo během posledních deseti let k navýšení výroby tepelné energie, kdy množství této energie zaznamenalo čtyřnásobný nárůst.

HRUBÁ VÝROBA TEPELNÉ ENERGIE - BIOMASA											
rok	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
(TWh <sub>T</sub> )	0,47	0,53	0,58	0,68	0,83	0,82	1,39	1,62	1,78	1,87	1,99

Tabulka 2.2.2: Hrubá výroba tepelné energie v ČR z biomasy v rozmezí 10 let

Konečná energetická spotřeba [TJ] - Biomasa



Obrázek 2.2.2: Spotřeba biomasy v rozmezí 15 let (9)

Z obrázku výše vidíme, že trend využívání biomasy v České republice stále roste. Kdy roste zejména spotřeba biomasy v domácím sektoru. To můžeme přisuzovat tomu, že vzrostl počet zařízení využívající toto palivo k výrobě elektrické a tepelné energie. Také čím dál tím více domácností využívá tepelných kotlů na biomasu, využívajících zejména dřevního paliva, nejčastěji v podobě lisovaných pelet.

## 2.3 Kogenerační zdroje využívající biomasu

Tato kapitola je zaměřena na kogenerační zdroje využívající pro výrobu elektrické a tepelné energie obnovitelného zdroje v podobě biomasy. Jedná se o zdroje s velkým potenciálem pro využití v horských oblastech zejména s ohledem na minimální dopad na životní prostředí a dále také pro dobrou dostupnost paliva bez zvýšených nároků na logistiku dopravy do místa využití.

### Výhody kogenerace:

Mezi hlavní výhody při porovnání kogenerace s klasickými zdroji energie je především jejich podstatně vyšší účinnost využití energie paliva. Účinnost moderních kogeneračních jednotek se často pohybuje okolo 90 %. S touto účinností přímo souvisí také značná úspora paliva a tím celkové snížení nákladů na výrobu elektřiny a tepla. Oproti malým domácím zdrojům tepla dosahují veliké kotle vyšší účinnosti.

Kogenerační zdroje díky svému rozmístění po celém území České republiky a dodáváním energie do nižších napěťových hladin blíže ke spotřebitelům přispívají ke snížení ztrát v přenosové a distribuční soustavě a ke stabilizaci celé sítě. Kogenerační výrobní může díky akumulaci tepla v tepelné soustavě přizpůsobit svůj provoz aktuální poptávce elektřiny a poskytovat tak tzv. podpůrné služby pro vyrovnaní bilance sítě a její stabilizaci, za které dostává od provozovatele sítě zapláceno. Kogenerační teplárny mohou být také provozovány v tzv. ostrovním režimu, kdy při výpadku sítě udržují dodávku elektřiny a tepla v dané lokalitě. Některé výrobní umožňují také start ze tmy po blackoutu, to znamená, že jsou schopny pomoci při opětovném nastartování elektrizační soustavy

Kogenerační výrobní využívající palivo v podobě biomasy neprodukují tak velké množství škodlivých látek obsažených ve spalínách. Navíc technologie odlučování popílku a škodlivých látek jsou na vysoké úrovni, dochází k minimálnímu zamoření okolního prostředí, jako je tomu u konvenčních elektráren a decentralizovaných zdrojů tepla. Díky tomu dochází ke snížení emisí skleníkových plynů včetně CO<sub>2</sub>. Spalování biomasy má nulovou bilanci produkovaného oxidu uhličitého (CO<sub>2</sub>), jelikož množství, které je uvolněno do ovzduší spalováním je přibližně stejné, jako je množství CO<sub>2</sub> vázané rostlinami zpět při jejich růstu. Obsah síry ve dřevní biomase je v rozmezí 0 - 0,1%, tudíž podíl oxidů síry ve

spalinách je rovněž nízký. Množství uvolňovaných oxidů dusíku (NO<sub>x</sub>) lze regulovat a upravovat změnou spalovací teploty.

Výrobna v dané lokalitě zabezpečuje stálost dodávek elektřiny a tepla. Pro uživatele připojené do teplonosné soustavy je dostupnost tepla naprosto bezstarostná a za tuto energii si pouze zaplatí. Díky kogenerační výrobně, která pro svůj provoz potřebuje stálý a lokální zdroj biopaliva, případně jeho úpravnu, dochází k rozvoji podniků souvisejících s touto výrobou v celém regionu. (5) (6)

### **Nevýhody kogenerace:**

Nevýhodou může být, že při přenosu teplonosného média na větší vzdálenosti pomocí soustavy zásobovací teplem dochází ke ztrátám tepla touto soustavou. Další z nevýhod může být, že pokud dojde k výpadku kogenerační jednotky a není přítomna její záloha, dochází k přerušení dodávky tepla spotřebitelům v dané lokalitě. Provoz v letních měsících, kdy není tak velká poptávka po teple je značně nevýhodný a teplo je využíváno jen minimálně nebo pro chladicí účely. Výroba elektrické energie je závislá na odebírané tepelné energii, proto není možné vyrábět pouze energii elektrickou.

## 2.4 Bioplynová výroba elektřiny a tepla

Bioplynové stanice využívají biotechnologicky získaný bioplyn. Bioplyn je produkován pomocí anaerobní fermentace biomasy neboli kvašení biomasy za nepřítomnosti vzduchu, probíhající ve vlhkém prostředí za přítomnosti patřičných bakterií podněcující toto kvašení. Celý proces probíhá ve fermentoru, kde je substrát promícháván. Celý reaktor je vytápěn pro zajištění optimální teploty a homogenních podmínek pro fermentaci biomasy. Výsledným produktem biologického rozpadu je především voda, oxid uhličitý a metan. Plyn je složen z 50-75% z hořlavého metanu, zbytek tvoří oxid uhličitý a ostatní plyny, vodní pára, kyslík, dusík, amoniak a sirovodík. Získaný plyn je zachycován v plynovém jímači, dále se čistí a odsiřuje. Vyčištěný plyn je ukládán do zásobníku. Výtěžnost plynu z celého procesu se liší v závislosti na povaze biosubstrátu. Přičemž z jedné tuny kejdy hovězího dobytka je výtěžnost plynu kolem 45m<sup>3</sup>, u kukuřičné siláže tato výtěžnost činí až 200m<sup>3</sup> na tunu. Následně je bioplyn spalován ve spalovacím motoru. Jako vhodné motory jsou osvědčené plynové zážehové spalovací motory a modifikované vznětové motory. Motorem je roztáčen generátor produkující elektrickou energii. Dále je možné také využívat odpadní teplo, ze spalovacího motoru, například pro vytápění blízkých objektů. (7) (8)

K provozu bioplynové stanice je nutné zajistit dostatečný přísun biomasy. Proto se většina těchto jednotek nachází v blízkosti nebo přímo na území zemědělského družstva. Často je samotným provozovatelem právě toto družstvo, které tak využívá buď to rostlin přímo vypěstovaných pro tento účel nebo vzniklých odpadů z živočišného chovu pro výrobu elektrické energie, případně i tepla, kterou tak zásobuje celý svůj závod a přebytek energie je dodáván do sítě. Objekty v blízkosti bioplynové stanice mohou rovněž využívat pro vytápění teplé vody z chlazení spalovacího motoru.

## 2.5 Teplárenské zdroje spalující biomasu

Teplárenské zdroje vyrábějí současně elektrickou i tepelnou energii a tato výroba se označuje jako kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) nebo také kogenerační výroba. Při produkci čistě elektrické energie dosahují běžné konvenční elektrárny účinnosti kolem 40%, to je způsobeno tím, že většina tepla vyprodukovaného v kotli je odváděna společně se spalinami komínem (komínová ztráta), kondenzátorem a také chladicí věží do okolí. Oproti tomu nejvyšší účinnosti přes 90% se dosahuje při výrobě samotné tepelné energie. Proto se tyto dvě výroby pro zvýšení účinnosti kombinují a dosahují účinnosti v rozmezí 50 - 90%. Rozvod tepelné energie k odběratelům je zajištěn teplonosnou soustavou neboli centrální soustavou zásobení teplem. Tento provoz je z ekonomického i ekologického hlediska výhodnější, než oddělená výroba elektřiny a tepla. (7)

### 2.5.1 Typy kotlů využívaných pro kogeneraci

Teplárenský kotel je zařízení sloužící k ohřevu pracovního média (vody, oleje) na teplotu jeho varu a následné přeměně na páru. Pára může být buď to sytá nebo přehřátá. V kotlích nad 1 MW je tuhá biomasa spalována nejčastěji v kotlích s roštovým topeništěm, s fluidním spalováním a v kotlích se spodním přívodem paliva.

#### **Roštové kotle:**

U roštových kotlů spalování probíhá právě na roštu v klidné vrstvě paliva (tzv. filtrační vrstva), do této vrstvy je přiváděn primární vzduch a k hoření dochází také nad touto vrstvou, kam je přiveden sekundární vzduch. Na roštu je možné regulovat tloušťku vrstvy paliva a její prodyšnost a díky tomu dochází k vysoušení paliva a následnému postupnému prohoření. Díky tloušťce této vrstvy se dobře reguluje množství spalovacího vzduchu a tudíž i výkon celého ohniště. Pomocí roštu se poté odvádí tuhé zbytky po spálení. Jsou různé druhy roštů, pevný (rovinný, stupňový), mechanický (pásový s výsypkou, s pohazováním), přesuvný. Tyto kotle se používají od malých výkonů po řádově desítky megawatt (50MW). (10)

**Kotle s fluidním spalováním:**

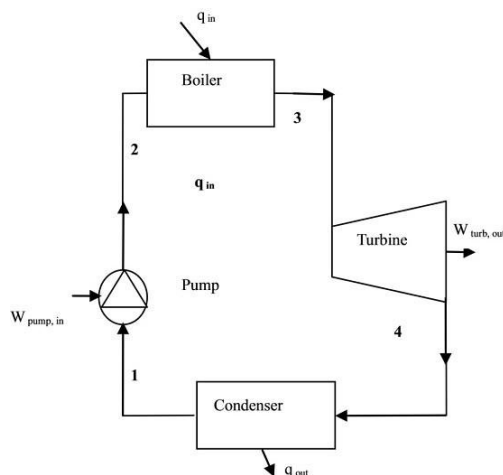
Dalším typem kotlů jsou kotle s fluidním spalováním. U těchto kotlů probíhá proces tzv. fluidizace. Jedná se o proces, při kterém je ze spodu skrze rošt přiváděn pod tlakem vzduch. Vlivem tohoto vzduchu přiváděného pod hořící palivo dochází ke vznosu tohoto paliva a tím je vytvořena tzv. fluidní vrstva. Fluidní vrstva disponuje podobnými vlastnostmi typickými pro kapaliny – hydrostatický tlak, teče, má hladinu. Cílem fluidní vrstvy je dosažení co největšího mezifázového povrchu mezi vzduchem a částicemi paliva, a tak k dosažení co nejdokonalejšího spalování. Existují dva druhy fluidních vrstev a to buď to stacionární nebo cirkulující vrstva. Stacionární fluidní vrstvy je využíváno do výkonu 30 MW. Cirkulující fluidní vrstvy je využíváno u vyšších výkonů, kde je obtížné udržet teplotu spalování na požadované úrovni. K vytvoření stabilní fluidní vrstvy je nutné, aby tato vrstva obsahovala větší objem materiálu, než je objem paliva. A pro to, že biomasa obvykle obsahuje malé množství vlastních popelovin, je za tímto účelem větší část fluidní vrstvy tvořena cizím uměle dodaným inertním materiálem, tím může být například písek o různé zrnitosti. Nízké teploty, při kterých probíhá spalování ve fluidní vrstvě a odstupňovaný přívod vzduchu do spalovací komory mají dobrý efekt na redukci NO<sub>x</sub> ve spalinách. Díky tomu, že je koncentrace paliva ve fluidní vrstvě velmi nízká, jednotky procent, umožňuje to spalování při relativně nízkých teplotách (kolem 750 °C) a díky tomu dochází k zamezení problémů s tavením některých složek biopaliva. Účinnost těchto kotlů bývá při jmenovitých parametrech 92 - 94 %. (10)

**Kotle se spodním přívodem paliva:**

Poslední druh kotlů používaný pro spalování biomasy je kotel se spodním přívodem paliva. Je charakteristický tím, že palivo je přiváděno zesponu do spalovací komory, pomocí tzv. retortového hořáku. Palivem jsou většinou dřevěné pelety. Palivo je do hořáku dopravováno z násypky pomocí šnekového podavače, kde se mísí se spalovacím vzduchem přiváděným pomocí ventilátoru. Rošt těchto kotlů je kruhový a po jeho obvodu jsou v několika řadách díry pro odvod spáleného paliva. Jedná se o plně automatické kotle s regulovatelným přísunem paliva i vzduchu a odvod popele je také bezobslužný. (10)

## 2.5.2 Typy turbín využívaných pro kogeneraci

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla probíhá pomocí parní turbíny. Termodynamický oběh s parní turbínou je znázorněn na obrázku níže. Princip je popsán na klasické kondenzační turbíně.



Obrázek 2.5.1: Termodynamický oběh s parní turbínou (5)

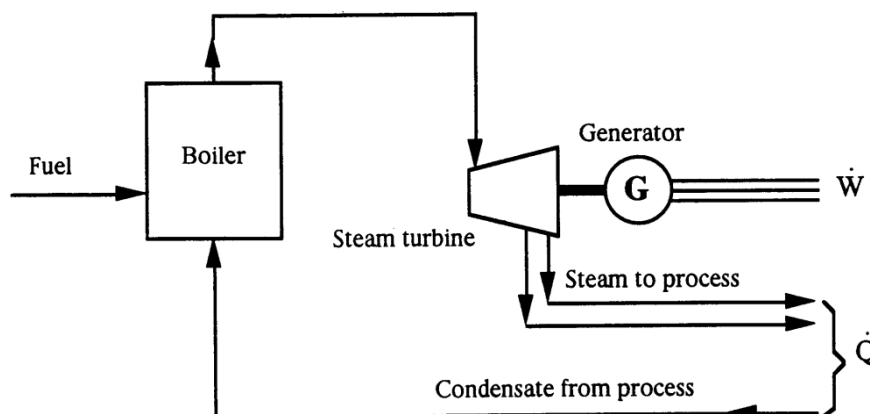
Na obrázku jsou znázorněny čtyři hlavní komponenty tohoto termodynamického oběhu a to kotel (Boiler), parní turbína (Turbine), kondenzátor (Condenser) a napájecí čerpadlo (Pump). V první fázi je napájecím čerpadlem zvýšen tlak vody na požadovaný tlak vody v kotli. Voda je teplem z kotle přivedena k varu a dochází ke vzniku přehřáté páry (teplota vyšší, než  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Následně je tlaková přehřátá pára vedena do parní turbíny, ve které expanduje (snížení tlaku) a následkem toho roztáčí turbínu spojenou na společném hřídeli s alternátorem, který vyrábí elektrickou energii. Tlak páry na vstupu do turbíny dosahuje hodnot  $4\text{-}13\text{ MPa}$  a po průchodu turbínou má poté na výstupu hodnotu  $4\text{-}5\text{ kPa}$ . Za turbínou je pára vedena do kondenzátoru, kde ztrácí svou přebytečnou energii a kondenzuje na vodu. A celý koloběh se opakuje. Právě prostřednictvím kondenzátoru se z termodynamického cyklu uvolňuje velká část nevyužitého tepla. (5)

Parní turbíny se dělí na dva základní typy protitlaká a kondenzační (viz. výše). Oba tyto typy se používají ke kombinované výrobě elektřiny a tepla.



### Kogenerace s využitím protitlaké turbíny:

Kogenerace s protitlakou turbínou je znázorněna na schématu níže, jedná se o nejjednodušší konfiguraci.



Obrázek 2.5.2: Kogenerační cyklus s protitlakou parní turbínou

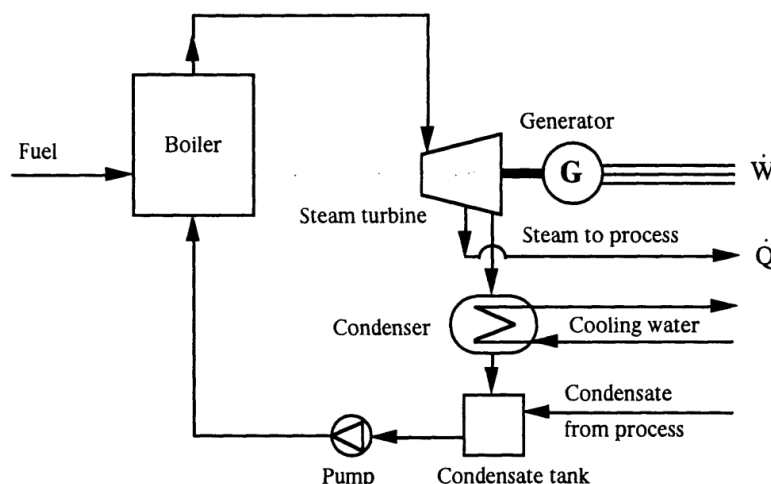
Hlavním rozdílem mezi klasickou výrobou elektřiny pomocí kondenzační turbíny bez dodávky tepla je to, že u protitlaké turbíny pára po expanzi v turbíně neputuje do kondenzátoru, ale do soustavy zásobování teplem nebo do technologického procesu. Protitlaká turbína je to pro to, že pára na výstupu z turbíny dosahuje vyšší hodnoty tlaku, než je tlak atmosférický ( $101\,325\text{ Pa}$ ). Dále je na schématu dobře vidět, že páru lze odebírat na několika tlakových úrovních podle aktuálních požadavků spotřebitele. Voda v tomto parním procesu je speciálně upravená (tzv. demineralizovaná voda) a proto je nutné po předání své tepelné energie u odběratelů zajistit její návrat do procesu nebo dodávku nové upravené vody. (5)

Protitlaká turbína má oproti kondenzační turbíně několik výhod. Jedná se o jednoduchou konfiguraci, a protože se jedná o proces bez kondenzátoru, nejsou žádné nebo pouze minimální požadavky na chladicí vodu. Žádné teplo není vypouštěno do okolí a místo toho je veškeré teplo využito, díky tomu tento proces dosahuje oproti klasickému kondenzačnímu cyklu vysoké účinnosti. Hodnota tepelného výkonu je pro protitlaké turbíny oproti kondenzačním podstatně vyšší. Poměr tepelné a elektrické energie pro jednotky používané v kogeneraci je nízký, kolem hodnoty  $0,05-0,2$ . Tato parní turbína je tedy naprosto vhodná pro velký odběr tepelné energie v teplárnách. U této turbíny není přítomný žádný nízkotlaký díl, tyto díly jsou drahé, a tak nejsou zvýšené nároky na investiční a provozní náklady. (5)

Nevýhodou je, že aby protitlaká turbína produkovala stejný elektrický výkon, jako kondenzační, musí být větších rozměrů. Množství protékané páry turbínou je závislé na velikosti odběru tepla za turbínou což znamená, že výroba elektrické energie je závislá na odebírané tepelné energii. Tudíž lze vyrábět pouze oba druhy energie současně, nikoliv odděleně. (5)

### Kogenerace s využitím odběrové kondenzační turbíny:

Princip kogenerace s kondenzační odběrovou parní turbínou je znázorněn na schématu níže.

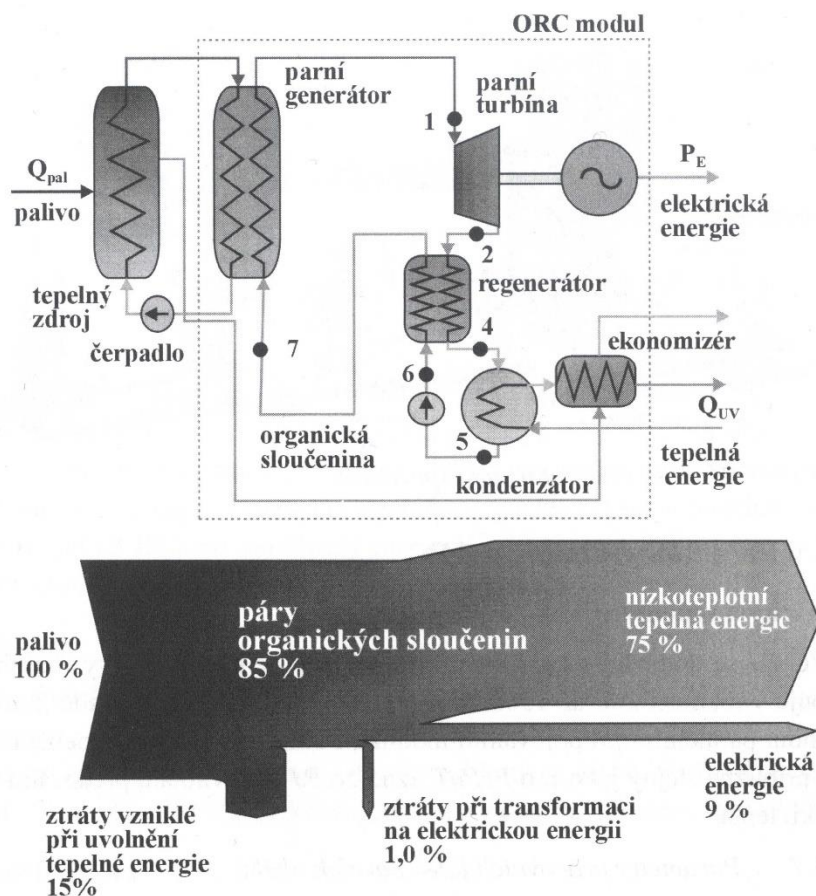


Obrázek 2.5.3: Kogenerační cyklus s kondenzační parní turbínou

Využití kondenzační odběrové parní turbíny pro kogenerační výrobu se oproti využití k výrobě pouze elektřiny liší v tom, že je pára odebírána přímo z turbíny při její expanzi na místech tzv. regulovaného odběru, tato pára je využívána pro rozvod tepla odběratelům pomocí soustavy zásobující teplem nebo pro technologické účely. Zbývající pára, která nebyla využita pro vytápění, dále expanduje v turbíně, podílí se na výrobě elektrické energie a následně kondenzuje v kondenzátoru při tlaku 4 až 5 kPa. (5)

Kondenzační parní turbína oproti protitlaké turbíně disponuje tou výhodou, že výroba elektrické energie není nijak závislá na výrobě tepelné energie. Poměr elektrické a tepelné energie je menší, než u protitlaké turbíny. Výkony těchto turbín jsou vysoké a jsou vhodné především pro primární výrobu elektrické energie, případně s teplem jako vedlejším produktem.

## 2.6 Organický Rankinův cyklus



Obrázek 2.6.1: Schéma kogeneračního ORC cyklu (11)

Moderním způsobem, jak efektivně využívat biomasu pro získávání elektřiny a tepla je Organický Rankinův Cyklus (ORC). Tento proces je prakticky téměř totožný s klasickým Rankinovým cyklem (RC) popsáným výše, s tím rozdílem, že namísto vody využívá jiného pracovního média, organických sloučenin, které jsou díky svým termodynamickým vlastnostem vhodné pro použití v tepelném oběhu. Tyto organické sloučeniny je vhodné používat v aplikacích, kde tepelný zdroj (TZ) dosahuje nízkých tepelných výkonů a pro použití pro výrobu nízkých elektrických výkonů. U těchto organických látek je výhodné, že se entropie nasycených par zvyšuje s teplotou. Při expanzi v tepelném motoru (TM) se nedostávají do oblasti mokré páry (jsou to tzv. suché páry) a disponují vysokou molovou hmotností. Tlak admisní páry vstupující do TM je přibližně roven tlaku  $1 \text{ MPa}$ . Nejčastěji využívané organické látky jsou fluid uhlovodíky (iso-pentan, iso-oktan), toluen nebo silikonové oleje (nejčastěji). Silikonový olej má tu výhodu, že se při dané teplotě (např.  $300 \text{ }^\circ\text{C}$ ) udrží v kapalném skupenství a to při podstatně nižším tlaku než voda. (5) (11)

**Princip funkce ORC jednotky:**

V primárním okruhu je horký termoolej zahříván na požadovanou teplotu (nejčastěji na teplotu kolem 300 °C) v termoolejovém kotli spalujícím biomasu (štěpky, pelety, kůra). Termoolej je v tomto okruhu udržován na určitém tlaku, a díky tomu se nachází po celou dobu v kapalném stavu. Ohřátý olej poté putuje do parního generátoru, kde předává své teplo pracovní látce v sekundárním okruhu a ta se vypařuje. Odtud je ochlazený olej primárního okruhu čerpán pomocí cirkulačního čerpadla zpět do kotle. Páry odpařené pracovní látky jsou vedeny do turbíny, kde expandují a roztáčejí turbínu za vzniku elektrické energie. Pára za turbínou prochází přes regenerační ohřev (regenerátor), kde předá ještě část své energie zkapalněnému médiu putujícímu zpět do parního generátoru. Následně je pracovní látka po odebrání výparného tepla z kondenzována chladicí vodou v kondenzátoru a teplo obsažené v chladicí vodě je dodáváno do soustavy zásobující teplem. (5) (12)

**2.6.1 Parametry ORC jednotek****Elektrický a tepelný výkon**

Výkonový rozsah primárních jednotek s ORC se pohybuje v rozmezí 200-1 500 kW<sub>E</sub>. Tyto jednotky jsou dodávány ve formě modulů a v případě potřeby se dá vyššího výkonu dosáhnout jejich paralelním propojením.

Poměrná hodnota elektrické a tepelné energie je obdobná, jako u protitlakých parních turbín a tyto jednotky jsou také vhodné především pro dodávku tepla. (11)

**Využití tepelné energie:**

Vzhledem k používaným nízkým teplotám v ORC jednotkách je využitelné pouze nízkopotenciálové teplo. Proto se výborně hodí pro použití jako lokální teplotenský zdroj zásobující lokální tepelnou síť. Nízkopotenciální teplo z ORC je také vhodné pro využití v technologických procesech, např. sušení. (11)

**Účinnost:**

Primární jednotka s ORC dosahují elektrické účinnosti kolem 15-20 %. Pokud zahrneme i účinnost transformace primárního paliva, v našem případě biomasy, u níž dosahujeme jejím spalováním účinnosti 80 %, poklesne elektrická účinnost primární

jednotky (PJ)  $\eta_E^{PJ}$  na 10 %. I přes nízké teplotní spády se u těchto jednotek spalujících biomasu dosahuje vysoké celkové účinnosti a to hodnot až 90 %. (11)

### **Používaná paliva:**

Pro zdroj tepla ORC jednotky je možné využít prakticky veškeré druhy paliv. Protože tento cyklus pracuje při nízkých teplotách, je vhodné používat paliva s nízkou teplotou spalování, případně tam kde teplota primárního tepelného zdroje nedosahuje takových hodnot, aby byly dostačující pro parní turbínu. Využívají se zejména paliva, jako jsou biopaliva, solární energie, geotermální energie a odpadní teplo. Oddělený okruh s pracovní látkou zamezuje jejímu znečištění, proto není důležité s jakou čistotou primární teplo vstupuje. Spalování biomasy je v tomto případě jeden z velice efektivních způsobů jejího využití. (11)

### **Environmentální parametry:**

Emise vyprodukované ORC jednotkou jsou závislé na typu použitého paliva v primárním zdroji tepla, při kombinaci se spalováním biomasy jsou tyto emise velice nízké.

Samotný modul nijak neovlivňuje životní prostředí. Okruh s organickou pracovní látkou je určitým způsobem zajištěn, zejména proti úniku. V dnešní době je nejbezpečnější a nejvyužívanější pracovní látkou pro ORC silikonový olej, který nemá žádné nepříznivé účinky. Jedná se ale o velmi hořlavou látku, zápalná teplota je již při 34 °C, a tak je nutné speciálního zabezpečení vůči vzniku požáru.

Hluk ve vzdálenosti 1 m od jednotky dosahuje hodnot do 80 dB. (11)

### **Údržba, životnost a spolehlivost ORC jednotek:**

Údržba ORC jednotky nevyžaduje žádné zvýšené nároky, jsou prakticky bezúdržbové. Pracovní organické látky jsou stále a na rozdíl od vody nemusejí procházet úpravou a jejich životnost je dlouhá. Zvýšené nároky na údržbu jsou kladeny pouze na tepelný zdroj spalující biomasu. Provozní a údržbové náklady činí zhruba 0,257 Kč/kW<sub>E</sub>.

Životnost ORC jednotky je přibližně 10 let, tato doba je ovlivněna zejména životností rotujících částí zařízení a teplosměnnými plochami v tepelném oběhu. Díky vlastnostem

*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

---

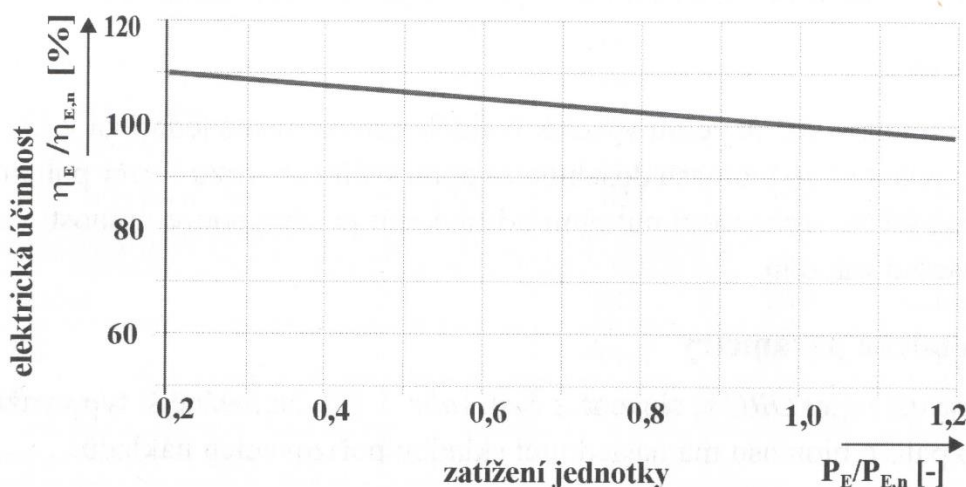
použitých organických pracovních látek nedochází ke korozi turbíny a ostatních ocelových částí v tepelném oběhu, pouze těch, které přicházejí do styku s vodou, jako je například kondenzátor. Organické pracovní médium dosahuje své stálosti po dobu minimálně 20 let. Provoz jednotky je velice spolehlivý a nejrizikovější částí výroby je spalovací komora tepelného zdroje.

Pohotovost ORC jednotek je velice vysoká. Dobrým příkladem je nejdéle provozovaná jednotka na biomasu v EU, kdy během doby svého provozu 4 let vykazuje přibližnou pohotovost 99 %. Častost odstávek a délka doby mezi nimi je závislá pouze na potřebách údržby spalovacího zařízení. (11)

## 2.6.2 Provozní charakteristiky ORC jednotek

### Změna zatížení:

Turbíny ORC jednotek pracující s parami organických látek dosahují velice dobré elektrické účinnosti při částečném zatížení, vyšší než je jmenovitá. Při jmenovitém zatížení jednotky,  $P_E/P_{E,n}$  rovno 1, dosahuje elektrická účinnost  $\eta_E/\eta_{E,n}$  100 %, při následném snižování zatížení jednotky elektrická účinnost roste, při snížení na hodnotu zatížení 0,6 dosahuje účinnost 105 % při dalším snižování až na mezní hodnotu zatížení 0,2 je hodnota účinnosti 110 % (viz. obrázek níže). Jednotka se dá také přetížit až na hodnotu 120 % jmenovitého elektrického výkonu, při které dosahuje elektrická účinnost přibližně hodnoty 98 %. Z toho plyne, že elektrická účinnost v celém regulačním rozsahu klesne maximálně o 2 %. Pro dosažení co nejvyšší elektrické účinnosti se tyto jednotky provozují s konstantními teplotami vystupujícími z kondenzátoru, tzn., že nedochází ke změně protitlaku v závislosti na tepelném odběru. (11)



Obrázek 2.6.2: Závislost změny elektrické účinnosti na zatížení ORC jednotky (11)

### Změna provozních parametrů:

ORC jednotky pracují s uzavřeným okruhem při relativně nízkém provozním tlaku, vliv tohoto tlaku je na elektrickou účinnosti minimální. Účinnost transformace na elektrickou energii je dána teplotním spádem (poměrem teplot), jako u všech ostatních tepelných oběhů. Pokud je tepelný výkon dodávaný do soustavy zásobením teplem odebíraný a regulovaný kondenzátorem, při zvýšení poptávky tepla dojde ke snížení vyráběné

*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

elektrické energie. Pokud je odebírané teplo konstantní a nemění se, jsou teploty v tepelném oběhu konstantní. (11)

### Změna okolních podmínek:

Jednotky ORC nepracují s okolním vzduchem, proto je vnější podmínky nijak neovlivňují. Ovlivňovat mohou pouze spalovací proces v tepelném zdroji.

### 2.6.3 Návrh parametrů kogenerační jednotky s ORC

<b>Parametry ORC modulu</b>	
<i>Elektrický výkon <math>P_{E, n}</math> (kW<sub>E</sub>)</i>	1 000
<i>Typ pracovní látky TO</i>	<i>silikonový olej</i>
<i>Měrná cena jednotky <math>n_{i, po}</math> (Kč/kW<sub>E</sub>)</i>	34 952
<i>Celkové měrné investiční náklady <math>n_{i, c}</math> (Kč/kW<sub>E</sub>)</i>	71 060
<i>Elektrická účinnost <math>\eta_{E, n}</math> (%)</i>	18
<i>Příkon paliva <math>Q_{pal}</math> (kW<sub>T</sub>)</i>	5 560
<i>Teplota na vstupu do kondenzátoru (°C)</i>	57,2
<i>Teplota na výstupu kondenzátoru (°C)</i>	80
<i>Teplota v tepelném zdroji <math>t_a</math> (°C)</i>	300
<b>Parametry kogenerační jednotky</b>	
<i>Typ paliva</i>	<i>biomasa</i>
<i>Typ kogeneračního systému</i>	<i>dolní</i>
<i>Využití tepla</i>	<i>teplárenství</i>
<i>Účinnost uvolnění tepla <math>\eta_{dT}</math> (%)</i>	86
<i>Tepelný výkon odběru <math>P_{T, n}</math> (kW<sub>T</sub>)</i>	4 450
<i>Celková účinnost <math>\eta_C</math> (%)</i>	80
<i>Modul teplárenské výroby <math>\sigma</math> (-)</i>	0,22

**Tabulka 2.6.1: Parametry kogenerační jednotky s ORC modulem (11)**

Kogenerační jednotka je vybavena ORC modulem T1100 CHP TURBODEN.



**Tepelný zdroj pro ORC:**

Tepelným zdrojem pro ORC modul by mohl v tomto případě být kotel s fluidním spalováním se stacionární fluidní vrstvou. Spalování biomasy ve fluidní vrstvě je vysoce efektivní způsob jejího využití a umožňuje spalovat i vlhké palivo. Tyto kotle disponují minimálními emisemi do ovzduší a díky technologii spalování ve fluidní vrstvě nepotřebují žádná přídatná zařízení na odloučení popílku nebo odsíření spalin. Účinnost přeměny primární energie paliva na tepelnou energii je u těchto zařízení vysoká a pohybuje se kolem 90 %. (11)

**Proč zrovna ORC jednotka?**

Jedná se o jednotku, která pro výrobu elektrické a tepelné energie potřebuje na svém vstupu nízkou teplotu, proto se bude výborně doplňovat s primárním tepelným zdrojem v podobě kotle s fluidním spalováním na biomasu. K výrobě tepla bude využívána dřevní biomasa z lokálních pil a dřevovýroby. Disponuje výhodným výkonem pro naši aplikaci (1 MW). Dá se využít pouze jako zdroj nízkopotenciálového tepla, a proto je naprosto vhodné jeho využití jako tepelného zdroje pro zásobení teplem dané lokality. Má velice široký regulační rozsah (20 - 120 %) a v celém tomto regulačním rozsahu dosahuje výborné elektrické účinnosti. A celková účinnost přeměny na elektrickou a tepelnou energii je velice vysoká a dosahuje hodnot kolem 85 %. Samotný provoz ORC jednotky není nijak ovlivněn okolními podmínkami, ty ovlivňují pouze spalování v TZ. ORC modul má dlouhou dobu životnosti a disponuje vysokou spolehlivostí a je prakticky bezúdržbový. Tepelný oběh pracuje s organickým pracovním médiem, tudíž nepotřebuje pro svůj provoz žádný externí zdroj vody a její úpravu. Samotný ORC svým provozem nijak neovlivňuje okolní životní prostředí, dochází jen k minimálním emisím z TZ.

Díky všem těmto výhodným vlastnostem se jedná o skvělý stabilní zdroj tepelné a elektrické energie pro využití v obecné horské lokalitě umožňující trvalý energetický rozvoj v regionu. Odebíráním paliva od lokálních závodů dojde i k rozvoji místního průmyslu. (11)

## 2.7 Teplovodní kotel pro letní sezónu

V letním období poptávka po tepelné energii klesá pod 20% jmenovitého tepelného výkonu ORC zdroje (tj. 890 kW<sub>T</sub>), což je hranice, po kterou je schopen ještě regulovat. Zatížení pro letní sezónu uvažujeme maximálně 15 % z původního výkonu ORC jednotky, což činí 667,5 kW<sub>T</sub>. Proto je nutné na letní sezónu hlavní zdroj v podobě ORC jednotky nahradit tepelným zdrojem o nižším výkonu.

Jako tento zdroj jsem zvolil teplovodní kotel na dřevní štěpku od firmy VIESSMANN, model VITOFLEX 300-UF vyráběný ve výkonovém rozmezí 390-1250 kW<sub>T</sub>. Odebíraný výkon přes lední období by neměl přesahovat 667,5 kW<sub>T</sub>. Výkonovou variantu kotle jsem zvolil 1 250 kW<sub>T</sub>. Při uvažování účinnosti tepelného kotle kolem 90 % (1 125 kW<sub>T</sub>), tepelných ztrát v teplovodní soustavě, které jsou udávány přibližně na 20 % (250 kW<sub>T</sub>) a při uvažování dalšího rozvoje v zásobení teplem v regionu, by měla být rezerva 582,5 kW<sub>T</sub> dostačující. Parametry daného kotle jsou uvedeny v následující tabulce.

<b>Parametry teplovodního kotle na spalování dřevní štěpky</b>	
<i>Tepelný výkon kotle <math>P_T</math> (kW<sub>T</sub>)</i>	1 250
<i>Maximální pracovní tlak <math>p_{max}</math> (bar)</i>	6
<i>Účinnost kotle <math>\eta_T</math> (%)</i>	90-91
<i>Teplota spalin na výstupu z kotle <math>t_{sp}</math> (°C)</i>	160
<i>Cena kotle <math>N_{kot}</math> (mil. Kč)</i>	4,095

**Tabulka 2.7.1: Parametry teplovodního kotle pro letní sezónu**

Letní sezóna trvá přibližně od května do října (184 dnů) a je samozřejmě závislá na vývoji počasí v dané lokalitě.

## 2.8 Motory s vnitřním spalováním

V motorech s vnitřním spalováním, neboli ve spalovacích motorech (SM) dochází k oxidaci paliva ve spalovací komoře a tím dochází k uvolnění tepelné energie. Tato tepelná energie je přeměněna na mechanickou energii. Přeměna probíhá za rychlých časových konstant a změnu zátěže je možné také měnit dosti dynamicky.

Bloky těchto motorů jsou tvořeny ze skupiny spalovacích pístových komor. Do této válcové spalovací komory je palivo buď to nasáváno společně se vzduchem, nebo je do ní vstříkováno. Směs paliva je pístem stlačena a dochází k zapálení, píst je vlivem expanze plynu navrácen do původní polohy a cyklus se opakuje. Přímočarý pohyb pístů je za pomoci klikového mechanismu převáděn na pohyb rotační.

Spalovací motory jsou široce využívaná tepelná zařízení, především jako pohonné jednotky dopravních prostředků, pro pohon strojních zařízení a využívají se také jako primární jednotky pohánějící soustrojí kogeneračních systémů vyrábějících elektrickou a tepelnou energii. (11)

Spalovací motory se dělí podle:

- Způsobu zapalování paliva
- Typu použitého paliva
- Počtu rovnoměrných pohybů
- Počtu a uspořádání válců
- Způsobu úpravy spalovacího vzduchu
- Rychlosti otáček hřídele.

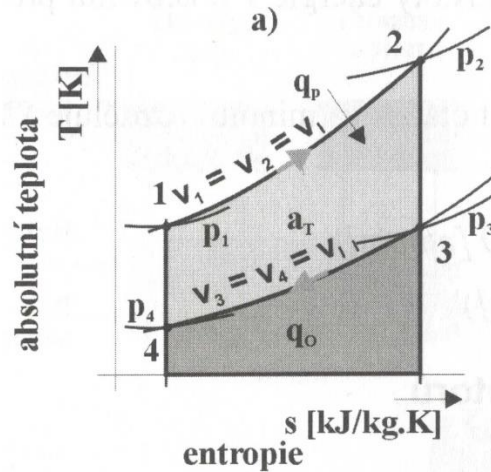
### **Způsob zapalování paliva:**

Podle způsobu zapalování paliva se SM dělí na zážehové a vznětové.

U zážehových motorů dochází k zapalování směsi paliva se vzduchem pomocí elektrické jiskry. Tepelný oběh využívaný těmito zařízeními je nazýván *Ottův*. Při tomto tepelném oběhu dochází teoreticky k vývinu tepla při konstantním objemu. Směs může být

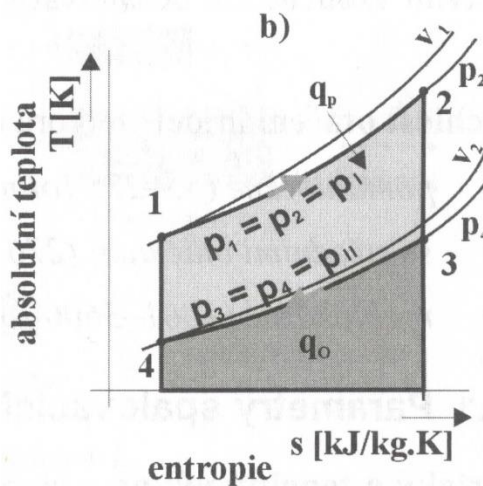
POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA

zapálena dvěma způsoby. Buďto přímo ve spalovací komoře nebo s předzápalnou komorou, která se nachází v hlavě válce, ve které dojde k zapálení bohaté spalovací směsi a tím vznikne dostatečně veliká zapalovací síla pro vznícení chudé zápalné směsi nacházející se v hlavní spalovací komoře. (11)



Obrázek 2.8.1: Tepelný oběh zážehového motoru (11)

U vznětových motorů je směs zapalována sama při dosažení určitých zápalných podmínek pro vznícení paliva. Těchto podmínek je dosahováno stlačením vzduchu ve válci, ten se zahřívá a následně je do něj vstříknuto palivo a dochází ke vznícení. Tepelný oběh využívaný u tohoto druhu motorů se nazývá *Dieselův*. K uvolnění tepla dochází při konstantním tlaku. (11)



Obrázek 2.8.2: Tepelný oběh vznětového motoru (11)

**Typ použitého paliva:**

Palivo může být použito kapalně nebo plynné, případně duální využití obou. U spalovacích motorů s duálním využitím paliv je plynné palivo použito jako hlavní a kapalně palivo je využíváno ke vznícení směsi. Tyto tepelné oběhy kombinují oba principy Ottův a Dieselův, přibližující se spíš k Dieselovu tepelnému oběhu. U většiny těchto motorů je možné využít pouze Dieslova oběhu. (11)

**Počet pohybů:**

Počet pohybů udává, kolik přímočarých posuvů vykoná píst a navrátí se do své výchozí polohy během jednoho tepelného cyklu. Z tohoto hlediska se motory dělí na:

- Dvoutaktní
- Čtyřtaktní

Spalovací motory pro kogenerační jednotky se využívají čtyřtaktní, ty lépe splňují emisní podmínky.(11)

**Počet a uspořádání válců:**

Počet válců a jejich uspořádání udává, jak moc rovnoměrný je průběh kroutícího momentu přeneseného na hřídel motoru. (11)

**Úprava spalovacího vzduchu**

Vzduch před vstupem do spalovací komory lze stlačit a dosáhnout tak většího množství vzduchu pro spalovací proces, díky čemuž se zvýší hustota energie v pracovním prostoru pístu a dojde k zefektivnění celého spalovacího procesu. (11)

### **Rychlost otáček motoru.**

Rychlost otáček na hřídeli spalovacího motoru za minutu může být různý. Podle počtu otáček za minutu se spalovací motory dělí na: (11)

- Pomaluběžné: 55-275 (ot/min)
- Střední počet otáček: 275-1000 (ot/min)
- Rychloběžné: 1000-3600 (ot/min)

### **2.8.1 Parametry spalovacích motorů**

#### **Elektrický a tepelný výkon:**

Elektrický výkon kogeneračních jednotek se spalovacími motory se pohybuje v rozmezí od 10 kW do 5 MW. Existují i jednotky o vyšších výkonech, ale ty se většinou nevyužívají z důvodu, že se tyto jednotky provozují přímo v místě spotřeby a neslouží pro dálkový rozvod elektrické a tepelné energie.

Tato zařízení dosahují velmi vysokého modulu teploty výroby pohybujícího se v rozmezí 0,5-1,4, závislého na použitém druhu motoru a jeho výkonu. (11)

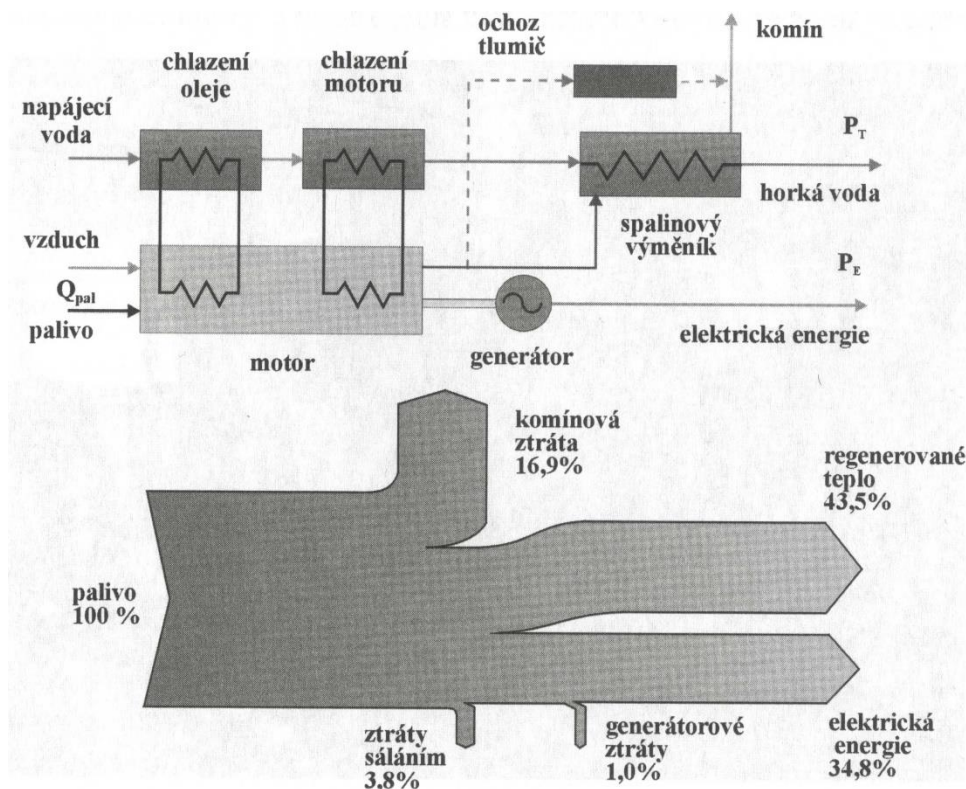
#### **Kvalita tepelné energie:**

Tyto jednotky mohou vyrábět tepelnou energii ve formě horké nebo teplé vody, páry o nízkých parametrech a lze ho také využívat v technologických procesech, jako je sušení, chlazení nebo využití v klimatizačních jednotkách. U spalovacích motorů lze tepelnou energii principiálně odebírat ze čtyř různých míst a to z:

- Výfukových spalin
- Z chlazení motoru
- Z mazacího oleje motoru
- Z chladiče kompresoru spalovacího vzduchu

*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

Spaliny vystupující z motoru dosahují teploty 450-650 °C. Přibližně 50 % z celkového tepla je z motoru odváděno chladicí vodou. Chladicí voda dosahuje teplot mezi 90-100 °C. Celkové množství odváděného tepla lze ze 70-80 % regenerovat a dále využívat. Teplo je nejčastěji regenerováno postupně od nejnižších hodnot po nejvyšší. (11)



Obrázek 2.8.3: Schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem (11)

### Účinnost:

Účinnost spalovacích motorů je definována základním vztahem pro tepelné motory a pro každý typ motoru se liší. Po dosazení do tohoto vztahu dostáváme pro zážehový motor následující výraz:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}} \quad (-)$$

Z vzorce je patrné, že účinnost je závislá na kompresním poměru  $\varepsilon$ , ten je u zážehových motorů malých výkonů obzvláště malý. Dále účinnost roste s Poissonovou konstantou  $\chi$ , tato konstanta roste se snižujícím se počtem atomů v molekule pracovní látky. Elektrická účinnost zážehových motorů se mění v závislosti na výkonu a pohybuje se v rozmezí 28 - 42 %.

Po úpravě základní rovnice pro vznětové motory platí vztah:

$$\eta_t = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\chi-1}} * \frac{\varphi^{\chi-1}}{\chi * (\varphi - 1)} \quad (-)$$

kde:

$$\varphi = v_2/v_1 = T_2/T_1 \quad - \text{plnění motoru } (-)$$

Podobně jako v předchozím vztahu pro rovnotlaký Ottův oběh účinnost roste se zvyšujícím se kompresním poměrem a se snižujícím se plněním motoru, neboli s klesajícím zatížením. Elektrická účinnost se u vznětových motorů velkých výkonů pohybuje v rozmezí 30-48 %.

Celková účinnost spalovacích motorů závisí na stupni využití tepelné energie. (11)

### **Používaná paliva:**

Spalovací motory využívají jak kapalná, tak plynná paliva. S plynnými palivy, především se zemním plynem, pracují převážně zážehové motory. Mohou ale využívat i další plyny, jako je propan-butan, skládkový plyn atd. Motory vznětového typu využívají kapalných paliv a to nafty, těžkých olejů. Mohou pracovat také duálně, kdy hlavním palivem je plyn a kapalné palivo je použito ke vznícení. (11)



### Environmentální faktory:

Emisními produkty spalovacích motorů jsou především oxidy  $NO_x$ ,  $CO$ ,  $CO_2$  a prchavé organické látky. Dále obsah ostatních znečišťujících látek, jako jsou oxidy síry ( $SO_x$ ) a pevné částice, je závislý na použitém palivu, u kapalných paliv je obsah těchto látek vyšší. Emisní parametry běžně využívaných spalovacích motorů jsou znázorněny v následující tabulce.

<i>Emisní parametry spalovacích motorů</i>					
<i>Elektrický výkon jednotky</i> $P_{E,n}$ (kW <sub>E</sub> )	100	300	800	1 000	5 000
<i>Elektrická účinnost jednotky</i> $\eta_{E,n}$ (%)	30,6	31,1	33,3	36	39
<i>Typ směsi (-)</i>	<i>obohacená</i>	<i>chudá</i>	<i>chudá</i>	<i>chudá</i>	<i>chudá</i>
$NO_x$ (kg/MWh)	21,2	2,31	1,22	0,68	0,68
$CO_2$ (kg/MWh)	0,61	0,59	0,72	0,58	0,49
$CO$ (kg/MWh)	15,2	2,1	3,6	3,8	2,9
<i>Uhlík (kg/MWh)</i>	171	168	151	149	128

Tabulka 2.8.1: Emisní parametry spalovacích motorů (11)

Provoz spalovacích motorů je spojen s vysokou hladinou hluku, proto je nutné provádět protihluková opatření, jednotky jsou často v zakrytovaném provedení. (11)

### Údržba, životnost a spolehlivost spalovacích motorů:

V současné době jsou kogenerační jednotky se spalovacími motory vysoce spolehlivé. Spalovací motory disponují velkým počtem třecích ploch, a tak jsou nutné častější a opravy. Opravy je nutné provádět v pravidelných intervalech a zahrnují kontrolu zařízení, výměnu dílů a provozních kapalin. Rychloběžné motory je nutné opravovat v čtenějších intervalech.

Pravidelná kontrola jednotky zahrnuje zejména kontrolu stavu oleje. Výměnu oleje, filtrů a chladicí kapaliny je nutné provádět po 500-2000 provozních hodinách.

Po 8 000-30 000 hodinách je nutné provádět střední opravu, při které se provádí výměna hlavy válců, turbokompresoru, palivové pumpy apod. Po 30 000-70 000 hodinách se provádí generální oprava, ta zahrnuje výměnu pístních kroužků nebo celých pístů, kontrolu klikové hřídele a ložisek.

Náklady spojené s údržbou jsou závislé na výkonu jednotky a obecně se pohybují v rozmezí 0,257-0,514 Kč/kWh.

Při dodržení pravidelné údržby a oprav se dá dosáhnout bezporuchového provozu spalovacích motorů a pohotovosti vyšší jak 95 %. (11)

**Pořizovací cena jednotky a co zahrnuje:**

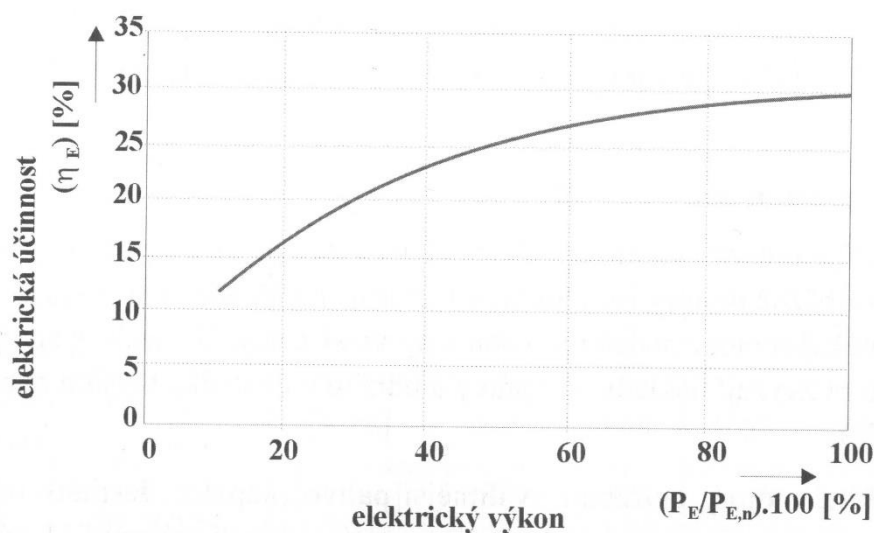
Zařízení kogenerační jednotky se spalovacím motorem zahrnuje cenu motoru, regeneračního systému pro dodávku tepelné energie a příslušenství pro připojení k elektrické síti. Cena na jednotku instalovaného výkonu se odvíjí od velikosti jednotky a pohybuje se přibližně v rozmezí 23 000-38 000 Kč/kW. Jednotky o vyšších jmenovitých výkonech jsou dražší, zejména kvůli použití pomaluběžných motorů.

U rychloběžných motorů je sice nižší pořizovací cena na jednotku instalovaného výkonu, ale motory malého výkonu dosahují větších ztrát. Navíc jsou u rychloběžných motorů mnohem vyšší náklady na údržbu a opravy, vzhledem k většímu opotřebení pohyblivých částí stroje. (11)

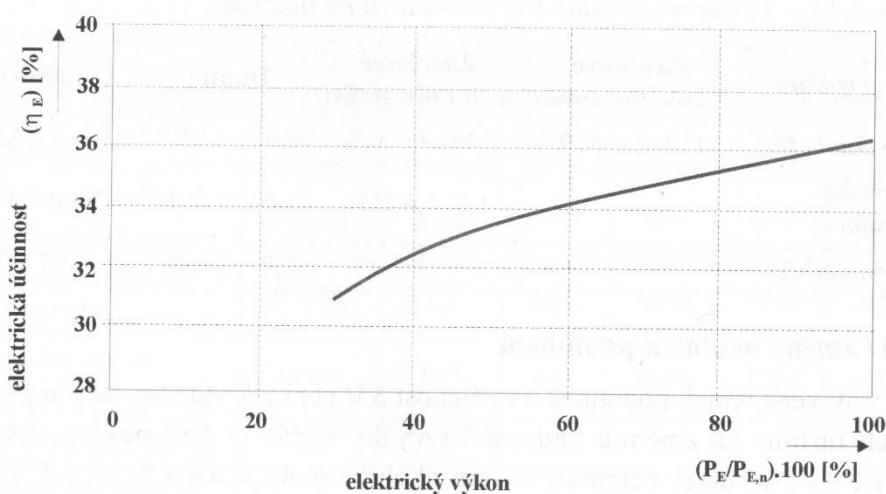
## 2.8.2 Provozní charakteristiky spalovacích motorů

### Změna zatížení:

Regulace výkonu spalovacích motorů se provádí tak, že se změní množství spalovaného paliva, a tím dojde ke změně spalovací teploty. Změní se poměr mezi teplotou na konci a na začátku oběhu, vlivem toho dojde i k poklesu elektrické účinnosti. Jak jde vidět v obrázku níže (Obrázek 2.8.4), u zážehových motorů tento pokles činí při částečném zatížení na  $0,5 P_{E,n}$  8-10 %. U vznětových motorů je tento pokles ještě menší (viz. Obrázek 2.8.5), při polovičním výkonu přibližně 3-5 %. (11)



Obrázek 2.8.4: Závislost změny zatížení na elektrickou účinnost zážehového motoru (11)



Obrázek 2.8.5: Závislost změny zatížení na elektrickou účinnost vznětového motoru (11)

Odezva spalovacích motorů na změnu zatížení je velice rychlá. Spalovací motory jsou výborné záložní a nouzové zdroje, jelikož jsou schopny najet do plného výkonu za velice krátký čas i ze studeného stavu. (11)

### Změna parametrů:

Výkon spalovacího motoru se mění v závislosti na rychlosti otáček stroje, čím jsou tyto otáčky vyšší, tím vyšší je vyráběný výkon.

Pro chod rychloběžných motorů je vyžadováno kvalitnější kapalné palivo zejména ropné destiláty s dobrými spalovacími vlastnostmi. Závislost rychlosti otáček spalovacích motorů na výkonu a druhu paliva je znázorněn v tabulce níže. (11)

<i>Závislost výkonu SM na otáčkách a typu paliva</i>				
<i>Typ motoru</i>	<i>Zážehový - bohatá směs</i>	<i>Zážehový - chudá směs</i>	<i>Duální</i>	<i>Vznětový</i>
<i>Rychloběžné</i>	<i>0,01-1,5 MW</i>	<i>0,15-3,0 MW</i>	<i>1,0-3,5 MW</i>	<i>0,01-3,5 MW</i>
<i>Středněrychlé</i>	-	<i>1,0-6,0 MW</i>	<i>1,0-25 MW</i>	<i>0,5-35 MW</i>
<i>Pomaluběžné</i>	-	-	<i>2,0-65 MW</i>	<i>2,0-65 MW</i>

Obrázek 2.8.6: Závislost výkonu SM na otáčkách a typu paliva (11)

### Závislost provozu na okolních podmínkách:

Provoz spalovacích motorů není výrazně závislý na okolních podmínkách, jako je tomu například u plynových turbín. S nárůstem nadmořské výšky (klesajícím atmosférickým tlakem) o 300 m dochází ke snížení výkonu  $P_{E,n}$  o 4 %. Účinnost klesá vlivem okolní teploty přibližně o 1 % na změnu teploty o 5,5 °C při vyšší teplotě, jak 20 °C. (11)

### 2.8.3 Návrh parametrů kogenerační jednotky se spalovacím motorem

<b>Provozní parametry SM</b>	
Elektrický výkon $P_{E,n}$ (kWE)	800
Cena jednotky $n_{i, po}$ (Kč/kW)	25 700
Elektrická účinnost $\eta_{E, n}$ (%)	33,3
Teplo potřebné pro motor $Q_{pal}$ (GJ/h)	8,2
Požadovaný tlak plynu (MPa)	0,68
Rychlost otáček motoru $n$ (ot/min)	1 200
<b>Parametry kogenerační jednotky</b>	
Teplota spalin vystupujících z motoru $t_{sp}$ (°C)	465
Hmotnostní průtok spalin $M_{sp}$ (t/h)	4,9
Regenerované teplo ze spalin $Q_{UV, 1}$ (GJ/h)	2,12
Regenerované teplo z chlazení motoru $Q_{UV, 2}$ (GJ/h)	1,09
Regenerované teplo z oleje $Q_{UV, 3}$ (GJ/h)	49,6
Tepelný výkon odběru $P_{T, n}$ (kW)	1 025
Celková účinnost $\eta_C$ (%)	76
Modul teplárenské výroby $\sigma$ (-)	0,78

Tabulka 2.8.2: Parametry kogeneračního zdroje se spalovacím motorem (11)

Parametry jsou použity pro kogenerační jednotku se spalovacím motorem pro běžné komerční účely. Jednotka je značky Caterpillar model G3516 LE – 800 kW. Tento zdroj využívá jako paliva zemního plynu a dodávka tepla je realizovaná prostřednictvím teplé vody.

**Proč spalovací motor?**

Kogenerační jednotka s plynovým motorem je výborný záložní zdroj, dá se použít v ostrovním režimu a na plný výkon je schopna najet v řádu desítek sekund (např. za 15 s). Investiční náklady na jednotku instalovaného výkonu jsou relativně nízké, zejména u malých jednotek (25 700 Kč/kW). Disponuje velikým technickým rozsahem zatížení a dobrou regulací v rozsahu 30-100 % při dosahované vysoké účinnosti. Modul teplárenské výroby je vysoký a dosahuje hodnot v rozmezí 0,5-1,4, v závislosti na použitém druhu motoru a na velikosti jeho výkonu. Provoz spalovacích motorů je na okolních podmínkách závislý jen nepatrně. Tyto motory mohou v praxi využívat více druhů paliv, kapalná nebo plynná. Tuto kogenerační jednotku je vhodné využít tam, kde jsou požadavky na vodu nebo páru o nízkých nebo středních parametrech.

**Využití zdroje pro naši aplikaci:**

Pro naši aplikaci v horské lokalitě, kde nastávají časté výpadky dodávky elektrické energie vlivem poruch v síti, bude tento kogenerační zdroj se spalovacím motorem využíván jako záložní. To znamená, že bude uveden do provozu pouze tehdy, když dojde k výpadku sítě a bude provozován v ostrovním režimu. Jeho využití bude jak pro výrobu elektrické, tak tepelné energie.

**Zdroj paliva:**

Zdrojem paliva pro tento kogenerační zdroj bude primárně zemní plyn. V horské lokalitě se pravděpodobně nebude nacházet zdroj v podobě plynovodu, proto je nutné, aby tento záložní zdroj byl vybaven dostatečně velkým zásobníkem plynu a aby bylo možné jej provozovat po dobu výpadku a to v řádu až několika dnů. Po vyčerpání plynného paliva je možné toto palivo nahradit kapalným palivem, které může být lokálně dostupné.

**Umístění zdroje:**

Zdroj bude umístěn v areálu teplárny společně s ORC cyklem a bude spadat pod společnou správu.

## 2.9 Návrh teplovodní soustavy

Soustava zásobení teplem bude realizována v podobě teplovodního potrubí (teplota do 110 °C). Potrubí disponuje určitým průměrem, který je závislý na množství dopravovaného média spotřebitelům. Potrubí je předizolované, to znamená, že je na potrubí nanášena přídatná izolace pro zamezení tepelných ztrát během přepravy teplotního média.

Teplovodní potrubí bude uloženo v zemi, jednak aby nenarušoval a nefragmentovalo přirozený ráz krajiny a za druhé, uložení do země je zvýšena izolační schopnost soustavy.

Délka teplovodních rozvodů je závislá na rozloze lokality zásobené teplem a pohybuje se v rozmezí od několika set metrů po jednotky kilometrů. V našem případě se uvažuje, že soustava bude zásobovat horskou obec a centrální zdroj se bude nacházet mimo tuto obec, proto určíme délku rozvodů na 3 km ( $l_{TS}$ ).

Realizační náklady takovýchto soustav jsou závislé na mnoha faktorech, na průměru a typu potrubí, na cenách pozemků, na ceníku firmy, která teplovod realizuje atd. Obecně se cena pohybuje v rozmezí od 1 do 2 mil. Kč za kilometr potrubí uloženého v zemi. Uvažujeme cenu 2 mil. Kč za kilometr potrubí ( $N_{TS}^{km}$ ).

Cena teplovodní soustavy na km $N_{TS}^{km}$ (mil. Kč)	2
Délka teplovodní sítě $l_{TS}$ (km)	3

Tabulka 2.9.1: Parametry teplovodní soustavy

Cena 3 km teplovodní soustavy se poté spočte:

$$N_{TS} = N_{TS}^{km} * l_{TS} = 2 * 3 = 6 \text{ mil. Kč}$$

## **3 REGULACE VÝKONU ZDROJE**

### **3.1 Regulace při provozu v síti**

Při provozu v síti bude v chodu pouze kogenerační ORC jednotka na biomasu a jednotka se spalovacím motorem bude odstavena. ORC jednotka bude provozována na hodnotu výkonu dle požadavků na dodávku tepelné energie spotřebiteli. Elektrická energie bude též dodávána lokálním spotřebitelům a v případě přebytku bude tato energie dodávána do elektrizační sítě. V případě že bude poptávka po tepelné energii malá na tolik, že jednotka nebude schopna pokrýt poptávku elektrické energie, nebo bude poptávka po elektrické energii vyšší, než dokáže zdroj vyrobit, bude tato energie odebírána ze sítě. Vyrobená tepelná energie bude také primárně využívána pro úpravu paliva sušením. V letních měsících, kdy není tak velká poptávka po tepelné energii na vytápění, bude možno tuto energii využívat na chladicí účely. Pokud by se v dané lokalitě nacházel podnik s požadavky na chlazení, mohla by se vybudovat výměňková stanice na dodávku chladu. V ostatních případech bude jednotka využívána jen pro výrobu teplé užitkové vody (TUV).

### **3.2 Regulace v ostrovním režimu**

V případě výpadku sítě bude provoz přepnut do ostrovního režimu. Do provozu bude uvedena kogenerační jednotka se spalovacím motorem a svou výrobou bude doplňovat ORC jednotku. Vyráběná energie pomocí ORC zdroje bude ustálena na konstantní jmenovité hodnotě základního pásma s minimální regulací a okamžité požadavky na dodávku energie ve středním a špičkovém pásmu budou regulovány záložním zdrojem. Teplo z obou zdrojů bude směřováno a jeho dodávka bude probíhat do stejné tepelné sítě s teplotním médiem (vody) s parametry teplé vody (do 110 °C).

Záložní jednotka disponuje pouze zásobníkem plynu o určitém objemu, proto bude délka jejího provozu dimenzována nanejvýš na několik dnů. Předpokládá se, že délka výpadku by neměla být delší, než jednotky dnů (1-3 dny). V případě dobré dostupnosti lokality, závislé zejména na ročním období a počasí, bude možné zásobník plynu doplnit mobilním zařízením pro dopravu plynu. V případě, že daná lokalita nebude dostupná nebo to nebudou umožňovat podnební podmínky, bude možné využít například lokální čerpací stanice a nahradit provoz kapalným fosilním palivem.



**Regulace při provozu v letní sezoně:**

V letním období není poptávka po tepelné energii příliš vysoká a proto je v provozu jen teplovodní kotel na dřevní štěpku o tepelném výkonu  $1\ 250\ kW_T$ . Tento kotel zajišťuje pouze dodávku tepelné energie a elektrická energie je odebírána z elektrizační soustavy. V případě výpadku sítě je pro zajištění dodávky elektrické energie uveden do provozu spalovací motor, stejně jako v jiných případech.

## 4 POSOUZENÍ A VÝPOČTY ENVIRONMENTÁLNÍCH VLIVŮ NOVÉHO ZDROJE

### 4.1 Výhody CZT

Výhodou centralizovaného zásobení teplem (CZT) oproti decentralizovanému zásobení teplem (DZT) je to, že centrální zdroj tepla pro CZT dosahuje vysoké úrovně filtrace spalin od škodlivých plyných látek ( $NO_x$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ ) a pevných částic spalin (popílků). Decentralizované zdroje oproti tomu nedisponují žádným filtračním zařízením spalin. Z environmentálního hlediska je tudíž provoz CZT mnohem šetrnější k životnímu prostředí.

### 4.2 Emise kogenerační ORC jednotky spalující biomasu

Podíl emisí ze spalování dřevní biomasy se bude lišit v závislosti na čistotě dřeva, na použité technologii spalování a čištění spalin. Rozsah obsahu škodlivin ze spalování dřeva je znázorněn v tabulce níže.

Emisní parametry při spalování dřeva	
$NO_x$ (kg/10 <sup>6</sup> kJ)	0,11-0,25
$CO$ (kg/10 <sup>6</sup> kJ)	0,03
$TOC$ (kg/10 <sup>6</sup> kJ)	0,16-0,3

Tabulka 4.2.1: Emisní parametry při spalování dřeva (11)

V našem případě bude tepelným zdrojem pro ORC jednotku kotel s fluidním spalováním ve stacionární vrstvě. Tyto kotle bývají vybaveny klasickými textilními nebo elektrostatickými odlučovači popílků. Emise škodlivých plynů je díky vysoké úrovni využití paliva velice nízká.

### 4.3 Emise teplovodního kotle

U těchto kotlů probíhá čištění spalin pomocí textilních, nebo elektrostatických odlučovacích zařízení tak, aby byly splněny předepsané emisní limity v místě, kde je kotel využíván.

#### 4.4 Emise spalovacího motoru

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem není vzhledem k vypouštěným emisím příliš ekologickým zařízením pro aplikaci v horské oblasti, ale jedná se pouze o záložní zdroj s občasnou a krátkou dobou provozu, proto tento fakt lze tolerovat.

<i>Emisní parametry spalovacího motoru</i>	
<i>Elektrický výkon jednotky</i> $P_{E,n} (kW_E)$	800
$NO_x (kg/MWh)$	1,22
$CO_2 (kg/MWh)$	0,72
$CO (kg/MWh)$	3,6
$Uhlík (kg/MWh)$	151

Tabulka 4.4.1: Emisní parametry spalovacího motoru (11)

U zařízení se spalovacími motory dochází mimo jiné také k poměrně velké emisí hluku, proto je nutné učinit určitá protihluková opatření, aby nedocházelo k rušení okolních obyvatel a živočichů. Tyto jednotky bývají často dodávány rovnou v zakrytovaném provedení.

#### 4.5 Vliv využívání biomasy na okolní životní prostředí

Díky umístění zdroje využívajícího ke své výrobě spalování biomasy jsou kladeny nároky na její dostupnost. Proto je nutné, aby se v lokalitě zdroje nacházela nebo byla zbudována úpravna biomasového paliva. Těžba biomasy probíhá v okolních lesích a ty jsou vlivem této těžby dokonale čisté. Kdy dochází k využití v podstatě celého stromu, jeho kůry, větví, pilin atd. Vlivem toho se neakumuluje dřevní odpad v lesích a nedochází tak ke tlení dřeva. Tlející stromy a odpady z nich poskytují dobré podmínky pro množení kůrovce, ten se tak nebude v okolních lesích šířit a bude to mít blahodárny vliv na jejich zdraví.

## 5 VÝPOČET BILANCE NOVÉHO ZDROJE

### 5.1 Spotřeba paliva

Při výpočtu spotřeby paliva kogenerační jednotky spalující biomasu vycházíme z maximálního tepelného příkonu kotle v palivu  $Q_{pal}$  je 7 000 kW<sub>T</sub>/h a tepelného příkonu ORC modulu 5 560 kW<sub>T</sub>/h. Spotřeba paliva je závislá na výkonu kogenerační jednotky, ten se bude měnit v závislosti na topné sezóně. Průměrné procentuální hodnoty vytížení zdroje v daných sezónách jsou znázorněny v tabulce níže. Tyto hodnoty vycházejí z vytížení běžných tepláren provozovaných u nás, v Jindřichově Hradci a ve Dvoře Králové.

Topná sezóna	Období	Procentní vytížení zdroje
Hlavní topná sezóna	prosinec – březen (121 dnů)	70-80 %
Přechodná sezóna	duben a listopad (60 dnů)	50%
Letní sezóna	květen – říjen (184 dnů)	15%

Tabulka 5.1.1: Rozdělení topných sezón a procentuální využití zdroje v dané sezóně

Spotřeba paliva je také závislá na jeho výhřevnosti a výhřevnost dřevní štěpky je závislá na obsahu vlhkosti v ní a je uvedena v následující tabulce.

<i>Závislost výhřevnosti dřevní štěpky na obsahu vody</i>				
Obsah vody $W$ (%)	10	20	30	40
Výhřevnost $Q_i$ (MJ/kg)	16,4	14,28	12,18	10,1
Měrná hmotnost $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	170	190	210	225

Tabulka 5.1.2: Výhřevnost dřevní štěpky v závislosti na obsahu vlhkosti (11)

Uvažujeme dřevní štěpku o vlhkosti 30 %, což je v běžném provozu zcela reálné.

#### Vstupní hodnoty:

<i>Fluidní kotel na biomasu</i>	
Instalovaný tepelný výkon $P_T^{KOT}$ (MW <sub>T</sub> )	7
Účinnost uvolnění tepla $\eta_{KOT}$ (%)	92

Tabulka 5.1.3: Výkon a účinnost fluidního kotle na biomasu

$$Q_{pal}^{KOT} = 7\,000\text{ kW}_T = 7\text{ MW}_T$$

$$Q_{pal(MW)}^{ORC} = 5\,560\text{ kW}_T = 5,56\text{ MW}_T$$

$$Q_i^{BIP} = 12,18\text{ MJ/kg}$$

Příkon paliva kotle  $Q_{pal(MW)}^{KOT}$  a tepelný příkon ORC jednotky  $Q_{pal(MW)}^{ORC}$  v  $MW_T/h$  je nutné nejprve přepočítat na  $MJ/h$ . Tento přepočet vychází ze vzorce  $J = W*s$ , proto je nutné stávající hodnotu vynásobit počtem sekund za hodinu tj.  $3600s$ .

$$Q_{pal(MJ)}^{ORC} = Q_{pal(MW)}^{ORC} * 3600 = 5\,560 * 3600 = \underline{20\,016\ MJ/h}$$

$$Q_{pal(MJ)}^{KOT} = Q_{pal(MW)}^{KOT} * 3600 = 7 * 3600 = \underline{25\,200\ MJ/h}$$

### 5.1.1 Spotřeba paliva v hlavní topné sezoně

Hlavní topná sezóna trvá od prosince do března a během tohoto období kogenerační zdroj s ORC dosahuje průměrného zatížení mezi 70 a 80 %. Proto volíme průměrné zatížení  $Z_{HS}$  pro tuto sezónu 75 % jmenovitého výkonu zdroje. Uvažujeme 75 % zatížení ORC modulu, od toho se poté odvíjí zatížení kotle. Jmenovitý tepelný příkon ORC modulu  $Q_{pal}^{ORC}$  je  $5\,560\ kW_T/h$  a tepelného zdroje (fluidní kotel) je  $7\ MW_T$ , účinnosti tohoto zdroje  $\eta_{KOT}$  je 92 %. Spotřeba paliva je pouze přibližná, výkon se mění v závislosti na odběru tepelné energie.

#### Výkon kotle:

$$Q_{pal(HS)}^{KOT} = \frac{Q_{pal(MJ)}^{ORC}}{\eta_{KOT}} * 100 * Z_{HS} = \frac{20\,016}{92} * 100 * 0,75 = \underline{16\,317,39\ MJ}$$

#### Spotřeba paliva hodinově:

Spotřebu paliva za hodinu vypočteme podílem průměrného výkonu kotle při zatížení na 75 %  $Q_{pal(HS)}^{KOT} = 16\,317,39\ MJ$  a výhřevnosti dřevní štěpky při vlhkosti 30 %  $Q_i^{BIP} = 12,18\ MJ/kg$ .

$$M_{pal(hod)}^{ORC} = \frac{Q_{pal(HS)}^{KOT}}{Q_i^{BIP}} = \frac{16\,317,39}{12,18} = \underline{1\,339,69\ kg/hod} = \underline{1,34\ t/h}$$

### Spotřeba paliva v hlavní topné sezóně:

Nejprve je nutné zjistit počet hodin v hlavní topné sezóně, ten dostaneme vynásobením počtu dní  $T_{HS}$  (viz. tabulka 121 dnů) s počtem hodin za den  $T_{den}$  (24 hodin).

$$T_{HS(hod)} = T_{HS} * T_{den} = 121 * 24 = \underline{2\,904\, hod}$$

Množství spotřebovaného paliva v hlavní topné sezóně získáme vynásobením množstvím paliva za hodinu  $M_{pal(hod)}^{ORC}$  s počtem hodin v topné sezóně  $T_{HS(hod)}$ .

$$M_{pal}^{HS} = M_{pal(hod)}^{ORC} * T_{HS(hod)} = 1,34 * 2\,904 = \underline{3\,890,45\, t}$$

Množství spotřebovaného paliva v hlavní sezóně je přibližně 3 890,45 t.

### 5.1.2 Spotřeba paliva v přechodné sezóně

V přechodné sezóně (PS), která je v měsících dubnu a listopadu, dosahuje kogenerační zdroj průměrného výkonového zatížení 50% ( $Z_{MS}$ ) ze jmenovitého výkonu ORC jednotky.

#### Výkon kotle:

$$Q_{pal(PS)}^{KOT} = \frac{Q_{pal(MJ)}^{ORC}}{\eta_{KOT}} * 100 * Z_{PS} = \frac{20\,016}{92} * 100 * 0,5 = \underline{10\,878,26\, MJ/h}$$

#### Spotřeba paliva hodinově:

$$M_{pal(hod)}^{KOT} = \frac{Q_{pal(PS)}^{KOT}}{Q_i^{BIP}} = \frac{10\,878,26}{12,18} = \underline{893,12\, kg/h} = \underline{0,893\, t/h}$$

**Spotřeba paliva v přechodné sezóně:**

Počet hodin v přechodné sezóně se vypočítá vynásobením počtu dní  $T_{PS} = 60$  dnů s počtem hodin za den  $T_{den} = 24$  hod.

$$T_{PS(hod)} = T_{PS(dny)} * T_{den} = 60 * 24 = \underline{1\,440} \text{ hod}$$

Množství spotřebovaného paliva v přechodné sezóně získáme vynásobením množstvím paliva za hodinu  $M_{pal(hod)}^{KOT}$  s počtem hodin v topné sezóně  $T_{PS(hod)}$ .

$$M_{pal}^{PS} = M_{pal(hod)}^{KOT} * T_{PS(hod)} = 0,893 * 1\,440 = \underline{1\,286,1} \text{ t}$$

Množství spotřebovaného paliva v přechodné sezóně činí přibližně 1 286,1 t.

### 5.1.3 Spotřeba paliva v letní sezoně

V letní sezoně by kleslo využití hlavního kogeneračního zdroje pod 20 % (890 kW), což je mezi jeho regulačního rozsahu, proto je nutné na letní období zařadit záložní zdroj tepla v podobě teplovodního kotle na dřevní štěpku. Parametry kotle jsou uvedeny v tabulce níže.

Parametry kotle na spalování dřevní štěpky	
Tepelný výkon kotle $P_T$ (kW <sub>T</sub> )	1 250
Účinnost kotle $\eta_{dT}$ (%)	90-91

Tabulka 5.1.4: Parametry teplovodního kotle pro výpočet spotřeby paliva

#### Tepelný příkon kotle:

Vypočteme z jmenovitého tepelného výkonu kotle  $P_{T,n}^{KOT} = 1250 \text{ kW}_T$  a jeho účinnosti  $\eta_{dT}^{KOT} = 91 \%$ .

$$P_T^{KOT} = \frac{P_{T,n}^{KOT}}{\eta_{dT}^{KOT}} * 100 = \frac{1\,250}{90} * 100 = \underline{1\,388,89 \text{ kW}_T} = \underline{1,39 \text{ MW}_T}$$

#### Výkon kotle:

Výkon kotle v letním období  $P_{T(LS)}$  se vypočte z procentního zatížení ORC jednotky, ta by byla přes letní období zatížena na 15 %. Při tomto výkonu uvažujeme jmenovitý tepelný výkon ORC zdroje  $P_{T,n}^{ORC} = 4\,450 \text{ kW}_T$ .

$$P_T^{LS} = P_{T,n}^{ORC} * Z_{LS}^{ORC} = 4\,450 * 0,15 = \underline{667,5 \text{ kW}}$$

$$Z_{LS}^{KOT} = \frac{P_{T(LS)}}{P_T^{KOT}} = \frac{667,5}{1\,250} = 0,534 = \underline{53,4 \%}$$



### Spotřeba paliva hodinově:

Spotřebu paliva vypočteme z průměrného tepelného výkonu kotle, ten získáme převedením tepelného příkonu kotle  $P_T^{KOT} = 1,39 MW_T$  na tepelnou energii (3 600 s), vynásobeným průměrným zatížením v letní sezoně  $Z_{LS}^{KOT} = 0,534$  a podíl výhřevnosti dřevní štěrky  $Q_i^{BIP} = 12,18 MJ/kg$ , při vlhkosti 30 %.

$$M_{pal(hod)}^{KOT} = \frac{P_T^{KOT} * 3600 * Z_{LS}^{KOT}}{Q_i^{BIP}} = \frac{1,39 * 3600 * 0,534}{12,18} = \underline{219,21} \text{ kg/h} = \underline{0,219} \text{ t/h}$$

### Spotřeba paliva v letní sezoně:

Spotřebu paliva přes letní sezónu  $M_{pal(LS)}^{KOT}$  vypočteme vynásobením spotřeby paliva teplovodního kotle za hodinu  $M_{pal(hod)}^{KOT} = 0,219 \text{ t/h}$  s počtem hodin v letní sezoně  $T_{LS(hod)}$ .

$$T_{LS(hod)} = T_{LS(dny)} * T_{den} = 184 * 24 = \underline{4\,416} \text{ h}$$

$$M_{pal}^{LS} = M_{pal(hod)}^{KOT} * T_{LS(hod)} = 0,219 * 4\,416 = \underline{968,04} \text{ t}$$

Množství spotřebovaného paliva teplovodním kotlem přes letní sezónu činí  $968,04 \text{ t}$ .

### 5.1.4 Spotřeba paliva pro záložní zdroj

Při výpočtu spotřeby paliva pro záložní jednotku se spalovacím motorem budeme vycházet z tepelného příkonu v palivu potřebného pro spalovací motor 8,2 GJ/h (viz. Tabulka 2.8.2). Dále z parametrů výhřevnosti stlačeného zemního plynu (CNG)  $Q_i = 47,1 \text{ MJ/m}^3$ , který se nachází v zásobníku plynu pro SM.

Vstupní hodnoty:

$$Q_{pal}^{SM} = \underline{8,2} \text{ GJ/hod} = \underline{8\,200} \text{ MJ/h}$$

$$Q_i^{CNG} = \underline{47,1} \text{ MJ/m}^3$$

Výhřevnost stlačeného zemního plynu je nutné přepočítat z jednotky  $\text{MJ/m}^3$  na jednotku  $\text{GJ/kg}$ , toho docílíme pomocí rovnosti, kdy  $1 \text{ m}^3 = 0,5 \text{ kg}$ .

$$Q_{i(\text{MJ/kg})}^{CNG} = \frac{Q_{i(\text{MJ/m}^3)}}{0,5} = \frac{47,1}{0,5} = \underline{94,2} \text{ MJ/kg}$$

Spotřebu paliva poté spočteme, jako podíl množství tepla potřebného pro SM  $Q_{pal}^{SM}(\text{MJ/hod})$  výhřevnosti plynu  $Q_i^{CNG}(\text{MJ/kg})$ .

$$M_{pal(hod)}^{SM} = \frac{Q_{pal}^{SM}}{Q_i^{CNG}} = \frac{8\,200}{94,2} = \underline{87,05} \text{ kg} = \underline{0,087} \text{ t/h}$$

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem je pouze záložní zdroj pracující pouze v případě výpadku sítě, v řádu několika hodin, nanejvýš dnů, proto je u tohoto zdroje spočtena pouze hodinová spotřeba paliva.

## 5.2 Palivové náklady

Primárním druhem štěpky bude smrková, smrk je nejčastější dřevinou v našich lesích. Cena smrkové štěpky ( $C_{pal}$ ) za  $m^3$  se pohybuje v rozmezí od 100 do 400 Kč. Štěpka bude odebírána z místního zdroje, proto uvažujeme, že bude cena štěpky téměř minimální 150 Kč/ $m^3$ .

Měrná hmotnost štěpky  $\rho$  ( $kg/m^3$ ) o vlhkosti 30 % je 210  $kg/m^3$ . Abychom mohli zjistit množství palivové štěpky  $V$  ( $m^3$ ) za hlavní topnou sezónu, musíme přepočítat množství paliva z tun na  $m^3$ .

### 5.2.1 Palivové náklady v hlavní topné sezóně

$$V_{pal}^{HS} = \frac{M_{pal}^{HS}}{\rho} = \frac{3\,890,45}{0,21} = \underline{18\,525,96\ m^3}$$

Poté se palivové náklady za hlavní topnou sezónu ( $N_{pal}^{HS}$ ) spočítá vynásobením ceny paliva ( $C_{pal}$ ) s množstvím prostorových metrů ( $V_{pal}^{HS}$ ).

$$N_{pal}^{HS} = V_{pal}^{HS} * C_{pal} = 18\,525,96 * 150 = \underline{2\,778\,894,23\ Kč}$$

Cena paliva pro hlavní topnou sezónu je 2 778 894,23 Kč.

### 5.2.2 Palivové náklady v přechodné sezóně

$$V_{pal}^{PS} = \frac{M_{pal}^{PS}}{\rho} = \frac{1\,286,1}{0,21} = \underline{6\,124,28\ m^3}$$

$$N_{pal}^{PS} = V_{pal}^{PS} * C_{pal} = 6\,124,28 * 150 = \underline{918\,642,72\ Kč}$$

Cena paliva v přechodné sezóně činí 918 642,72 Kč.

**5.2.3 Palivové náklady v letní sezoně**

$$V_{pal}^{LS} = \frac{M_{pal(LS)}^{KOT}}{\rho} = \frac{968,04}{0,21} = \underline{4\,609,71\, m^3}$$

$$N_{pal}^{LS} = V_{pal}^{LS} * C_{pal} = 4\,609,71 * 150 = \underline{691\,456,72\, Kč}$$

Cena paliva pro letní sezonu činí 691 456,72 Kč.

### 5.3 Množství vyrobené elektrické energie

Při výpočtu množství vyrobené elektrické energie vycházíme z elektrického výkonu kogenerační ORC jednotky  $P_E^{ORC} = 1\,000\text{ kW}_E$  a průměrného zatížení zdroje v dané sezóně  $Z_{sezona} (-)$ .

#### 5.3.1 Množství vyrobené elektrické energie v hlavní topné sezóně

Množství vyrobené elektrické energie v hlavní topné sezóně dostaneme vynásobením jmenovitého elektrického výkonu ORC jednotky  $P_{E,n}^{ORC} = 1\text{ MW}_E$ , zatěžovatele pro hlavní sezonu  $Z_{HS} = 0,75$  a počtu hodin v hlavní sezóně  $T_{HS(hod)} = 2\,904\text{ hod}$ .

$$W_E^{HS} = P_{E,n}^{ORC} * Z_{HS} * T_{HS(hod)} = 1 * 0,75 * 2\,904 = \underline{2\,178\text{ MW}_E}$$

Množství vyrobené elektrické energie v hlavní topné sezóně činí  $2\,178\text{ MW}_E$ .

#### 5.3.2 Množství vyrobené elektrické energie v přechodné sezóně

Množství vyrobené elektrické energie v přechodné sezóně dostaneme vynásobením jmenovitého elektrického výkonu ORC jednotky  $P_{E,n}^{ORC} = 1\text{ MW}_E$ , zatěžovatele pro mezisezonu  $Z_{PS} = 0,5$  a počtu hodin v této sezóně  $T_{PS(hod)} = 1\,440\text{ hod}$ .

$$W_E^{PS} = P_{E,n}^{ORC} * Z_{PS} * T_{PS(hod)} = 1 * 0,5 * 1\,440 = \underline{720\text{ MW}_E}$$

V přechodné sezóně bylo vyrobeno  $720\text{ MW}$  elektrické energie.

#### 5.3.3 Množství vyrobené elektrické energie v letní sezóně

Přes letní období je v chodu pouze teplovodní kotel, který vyrábí pouze tepelnou energii, proto nedochází k produkci žádné elektrické energie v tomto období od května do října. Elektrická energie by byla produkována pouze v případě, že by došlo k výpadku elektrické sítě zásobující danou oblast a byl by uveden do provozu záložní zdroj v podobě spalovacího motoru.

### 5.3.4 Vyrobená elektřina celkem

$$W_E^{celk} = W_E^{HS} + W_E^{MS} = 2\,178 + 720 = \underline{2\,898} \text{ MW}_E$$

Celkové množství vyrobené elektrické energie za rok činí  $2\,898 \text{ MW}_E$ .

## 5.4 Množství vyrobené tepelné energie

Při výpočtu vyrobeného množství tepelné energie vycházíme z průměrné roční spotřeby tepelné energie pro domácnosti v České republice, kdy pro rodinné domy je tato spotřeba  $50\text{-}70 \text{ GJ/rok}$  a pro bytové jednotky kolem hodnoty  $40 \text{ GJ/rok}$ . Z těchto hodnot budeme brát maximální hodnotu průměrné roční spotřeby pro rodinný dům  $70 \text{ GJ/rok}$ .

Při výpočtu množství vyrobené tepelné energie v dané sezoně vycházíme z aktuálního zatížení  $Z_{sezóna} (-)$  v daném období a jmenovitého tepelného výkonu kogenerační ORC jednotky  $P_{T,n}^{ORC} = 4,45 \text{ MW}_T$ .

### 5.4.1 Množství vyrobené tepelné energie v hlavní topné sezoně

Množství vyrobené elektrické energie v hlavní topné sezoně spočteme vynásobením jmenovitého tepelného výkonu ORC jednotky  $P_{T,n}^{ORC} = 4,45 \text{ MW}_T$ , zatěžovatele  $Z_{HS} = 0,75$  a počtu hodin v této sezoně  $T_{HS(hod)} = 2\,904 \text{ hod}$ .

$$W_T^{HS} = P_{T,n}^{ORC} * Z_{HS} * T_{HS(hod)} = 4,45 * 0,75 * 2\,904 = \underline{9\,692,1} \text{ MW}_T$$

Množství vyrobené tepelné energie v hlavní topné sezoně činí  $9\,692,1 \text{ MW}_T$ .

### 5.4.2 Množství vyrobené tepelné energie v přechodné sezoně

Obdobně jako u hlavní topné sezony i u přechodné sezony spočteme množství vyrobené tepelné energie vynásobením jmenovitého tepelného výkonu ORC jednotky  $P_{T,n}^{ORC} = 4,45 \text{ MW}_T$  s průměrným zatížením v přechodné sezoně  $Z_{PS} = 0,5$  a počtem hodin v této sezoně  $T_{PS(hod)} = 1\,440 \text{ hod}$ .

$$W_T^{PS} = P_{T,n}^{ORC} * Z_{PS} * T_{PS(hod)} = 4,45 * 0,5 * 1\,440 = \underline{3\,204} \text{ MW}_T$$

Množství vyrobené tepelné energie v přechodné sezoně činí  $3\,204 \text{ MW}_T$ .

### 5.4.3 Množství vyrobené tepelné energie v letní sezoně

V letní sezoně je v provozu jen teplovodní kotel, jehož celkové množství tepelné energie vyrobené v tomto období se spočte vynásobením průměrného tepelného výkonu tohoto zdroje  $P_{T(LS)} = 0,834 \text{ MW}_T$  s počtem hodin v sezoně  $T_{LS(hod)} = 4\,416 \text{ hod}$ .

$$W_T^{LS} = P_{T(LS)} * T_{LS(hod)} = 0,667 * 4\,416 = \underline{\underline{2\,947,68 \text{ MW}_T}}$$

Množství vyrobené tepelné energie teplovodním kotlem v letní sezoně je  $2\,947,68 \text{ MW}_T$ .

## 5.5 Účinnost nového zdroje

### 5.5.1 Elektrická účinnost zdroje

Elektrická účinnost  $\eta_E$  je účinnost přeměny vstupní energie v palivu na elektrickou energii.

#### Elektrická účinnost kogenerační jednotky během hlavní topné sezóny:

Při výpočtu elektrické účinnosti v hlavní topné sezoně vycházíme z průměrného elektrického výkonu, který dostaneme vynásobením jmenovitého výkonu zdroje  $P_{E,n}^{ORC} = 1\,000\text{ kW}_E$  s daným zatížením v této sezoně  $Z_{HS} = 0,75$ . Tento výkon je následně nutné převést na kJ vynásobením počtu sekund za hodinu (3 600s). Průměrný hodinový výkon se poté vydělí součinem aktuálního množství spalovaného paliva  $M_{pal(HS)}^{ORC} = 1\,331,11\text{ kg}$  a výhřevností paliva  $Q_{i(kJ)}^{BIP} = 12\,180\text{ kJ/h}$ .

$$\eta_T^{LS} = \frac{P_{E,n}^{ORC} * 3\,600 * Z_{HS}}{M_{pal(HS)}^{ORC} * Q_{i(kJ)}^{BIP}} = \frac{1\,000 * 3\,600 * 0,75}{1\,331,11 * 12\,180} = 0,1665 = \underline{16,65\%}$$

Průměrná elektrická účinnost kogenerační jednotky přes hlavní topnou sezonu je  $16,65\%$ .

#### Elektrická účinnost kogenerační jednotky v přechodné sezoně:

Účinnost kogenerační jednotky v přechodné sezoně se spočte obdobně, jako v sezoně hlavní.

$$\eta_T^{PS} = \frac{P_{E,n}^{ORC} * 3\,600 * Z_{HS}}{M_{pal(HS)}^{ORC} * Q_{i(kJ)}^{BIP}} = \frac{1\,000 * 3\,600 * 0,5}{887,41 * 12\,180} = 0,1665 = \underline{16,65\%}$$

Průměrná účinnost v přechodné sezoně vyšla stejně, jako v sezoně hlavní a to  $16,65\%$ .



## 5.5.2 Tepelná účinnost zdroje

Tepelná účinnost  $\eta_T$  je účinnost přeměny vstupní energie v palivu na tepelnou energii.

### Tepelná účinnost v hlavní topné sezoně:

Při výpočtu tepelné účinnosti v hlavní topné sezoně vycházíme z průměrného tepelného výkonu vyráběného v této sezoně  $P_{T,n}^{ORC} = 4\,450\text{ kW}_T$ , ten přepočteme na tepelnou energii  $Q_{T,n}^{ORC}$  vynásobením počtem sekund za hodinu (3 600 s), a následně výslednou průměrnou tepelnou energii získáme vynásobením zátěže v této sezoně  $Z_{HS} = 0,75$ . Průměrnou tepelnou energii poté vydělíme součinem průměrného množství paliva  $M_{pal(HS)}^{ORC} = 1\,331,11\text{ kg}$  a výhřevnosti dřevní štěpky při vlhkosti 30 %  $Q_{i(k)}^{BIP} = 12\,180\text{ kJ/kg}$ .

$$\eta_T^{LS} = \frac{P_{T,n}^{ORC} * 3\,600 * Z_{HS}}{M_{pal(HS)}^{ORC} * Q_{i(k)}^{BIP}} = \frac{4\,450 * 3\,600 * 0,75}{1\,331,11 * 12\,180} = 0,7411 = \underline{74,11\%}$$

Průměrná tepelná účinnost pro hlavní topnou sezonu vychází 74,11 %.

### Tepelná účinnost v přechodné sezoně:

Tato tepelná účinnost se vypočte obdobně, jako v předchozím případě. Průměrné množství spalovaného paliva v této sezoně je  $M_{pal(PS)}^{ORC} = 887,41\text{ kg}$  a průměrná zátěž je  $Z_{PS} = 0,5$ .

$$\eta_T^{PS} = \frac{P_{T,n}^{ORC} * 3\,600 * Z_{PS}}{M_{pal(PS)}^{ORC} * Q_{i(k)}^{BIP}} = \frac{4\,450 * 3\,600 * 0,5}{887,41 * 12\,180} = 0,7411 = \underline{74,11\%}$$

Průměrná tepelná účinnost v tomto období vyšla stejně, jako v hlavní topné sezoně 74,11 % a obdobně jako tomu bylo u průměrné elektrické účinnosti.

### Tepelná účinnost teplovodního kotle přes letní období:

Výrobce udává tepelnou účinnost přeměny energie v palivu na tepelnou v rozmezí 90- 91 % podle aktuálního výkonu. V následujícím výpočtu je tato účinnost ověřena. Při průměrném výkonu kotle přes letní sezonu  $P_T^{KOT} = 667,5 \text{ kW}$  uvažujeme, že účinnost přeměny je 90 %. Zatížení kotle je  $Z_{LS}^{KOT} = 0,534$  a množství spalovaného paliva při tomto zatížení je  $M_{pal(hod)}^{KOT} = 219,21 \text{ kg/h}$ . Výchřevnost štěpky je  $Q_{i(kj)}^{BIP} = 12\,180 \text{ kJ/kg}$ .

$$\eta_T^{LS} = \frac{P_{T,n}^{KOT} * \eta_T^{KOT} * Z_{LS}^{KOT} * 3600}{M_{pal(hod)}^{KOT} * Q_{i(kj)}^{BIP}} = \frac{1\,250 * 0,9 * 0,534 * 3600}{219,21 * 12\,180} = 0,81 = \underline{81} \%$$

Tepelná účinnost přeměny energie v palivu na užitečnou tepelnou energii pro průměrné zatížení kotle vyjde 81 %.

### 5.5.3 Celková účinnost

Tato účinnost je celková účinnost kogenerační jednotky zahrnující jak elektrickou, tak tepelnou účinnost. Vypočte ji následovně.

#### Hlavní topná sezona:

Vycházíme z průměrné tepelné a elektrické energie zdroje při daném zatížení a množství paliva spalovaného při tomto zatížení s určitou výhřevností.

$$\eta_c^{ORC} = \frac{(P_{E,n}^{ORC} + P_{T,n}^{ORC}) * Z_{HS} * 3600}{M_{pal(hod)}^{ORC} * Q_i^{BIP}} = \frac{(1\,000 + 4\,450) * 0,75 * 3600}{1\,339,69 * 12\,180} = 0,9018$$

$$= \underline{90,18\%}$$

Průměrná celková účinnost přeměny tepelné energie v palivu na užitečnou tepelnou a elektrickou energii vyšla pro hlavní sezona *90,18 %*.

#### Přechodná sezona:

U výpočtu průměrné účinnosti pro přechodné období opět vycházíme z průměrného tepelného a elektrického výkonu pro tuto sezona a průměrného množství spalovaného paliva a jeho výhřevnosti.

$$\eta_c^{ORC} = \frac{(P_{E,n}^{ORC} + P_{T,n}^{ORC}) * Z_{PS} * 3600}{M_{pal(hod)}^{ORC} * Q_i^{BIP}} = \frac{(1\,000 + 4\,450) * 0,5 * 3600}{893,12 * 12\,180} = 0,9018$$

$$= \underline{90,18\%}$$

Průměrná celková účinnost přeměny tepelné energie v palivu na užitečnou tepelnou a elektrickou energii vyšla stejně, jako pro hlavní sezona *90,18 %*.

#### Letní sezona:

V letní sezoně je produkována pouze tepelná energie tepelným kotlem, proto uvažujeme pouze účinnost přeměny energie paliva na užitečnou tepelnou energii.

## 6 EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ NOVÉHO ZDROJE

### 6.1 Cena koncového produktu

Celkové investiční náklady zahrnují cenu všech zařízení a komponentů teplárny. V tabulce níže jsou znázorněny investiční náklady jednotlivých zařízení teplárny, včetně teplovodní soustavy.

Výstavby podobných zařízení využívajících k výrobě elektrické a tepelné energie obnovitelného zdroje v podobě biomasy jsou často dotovány z fondů Evropské unie. Tím se značně sníží nároky na investiční náklady, které musí daný provozovatel, obec nebo město vynaložit. Pro následující výpočty tyto dotace neuvažujeme.

<b>Cena kogenerační jednotky s ORC</b>	
<i>Fluidní kotel na biomasu 7 MW (mil. Kč)</i>	70
<i>ORC modul (mil. Kč)</i>	100
<i>Přídavná zařízení (mil. Kč)</i>	40
<i>Projekce a výstavba teplárny (mil. Kč)</i>	20
<i>Cena celkem (mil. Kč)</i>	230
<b>Cena teplovodního kotle a jeho příslušenství</b>	
<i>Teplovodní kotel 1 250 kW (mil. Kč)</i>	4,095
<i>Přídavná zařízení (mil. Kč)</i>	2,1
<i>Instalace (mil. Kč)</i>	0,2
<i>Cena celkem (mil. Kč)</i>	6,395
<b>Cena spalovacího motoru</b>	
<i>Cena jednotky (mil. Kč)</i>	20,56
<b>Cena teplovodní soustavy</b>	
<i>Cena 3 km teplovodní sítě (mil. Kč)</i>	6
<b>Celkové investiční náklady</b> <i>N<sub>i, c</sub> (mil. Kč)</i>	<b>262,955</b>

Tabulka 6.1.1: Ceny jednotlivých zařízení teplárny a celkové investiční náklady

## 6.2 Výnosy za elektrickou a tepelnou energii

### 6.2.1 Výnosy za vyrobenou elektrickou energii

#### Výnosy za vyrobenou elektrickou energii v hlavní topné sezoně:

Výnosy za vyrobenou elektrickou energii v hlavní topné sezoně vypočteme z množství vyrobené elektrické energie v této sezoně  $W_E^{HS} = 2\,178\,000\text{ kWh}$  a z průměrné ceny elektrické energie za 1 vyrobenou kilowatthodinu  $C_E = 4,5\text{ Kč/kWh}$ .

$$V_E^{HS} = W_E^{HS} * C_E = 2\,178\,000 * 4,5 = \underline{9\,801\,000\text{ Kč}} = \underline{9,801\text{ mil. Kč}}$$

Výnosy za vyrobenou elektrickou energii v hlavní topné sezoně činí  $9\,801\,000\text{ Kč}$ .

#### Výnosy za vyrobenou elektrickou energii v přechodné sezoně:

Množství vyrobené elektrické energie v přechodné sezoně je  $W_E^{PS} = 720\,000\text{ kWh}$ .

$$V_E^{PS} = W_E^{PS} * C_E = 720\,000 * 4,5 = \underline{3\,240\,000\text{ Kč}} = \underline{3,24\text{ mil. Kč}}$$

Výnosy za vyrobenou elektrickou energii v přechodné sezoně činí  $3\,240\,000\text{ Kč}$ .

#### Výnosy za vyrobenou elektrickou energii v letní sezoně:

Přes letní sezonu nedochází k výrobě elektrické energie, je produkována pouze energie tepelná.

#### Výnosy za vyrobenou elektrickou energii celkem:

Součet výnosů za vyrobenou elektrickou energii v jednotlivých sezonách.

$$V_E = V_E^{HS} + V_E^{PS} = 9,8 + 3,24 = \underline{13,04\text{ mil. Kč}}$$

Celkové výnosy za vyrobenou elektrickou energii činí  $13,04\text{ mil. Kč}$ .

## 6.2.2 Výnosy za vyrobenou tepelnou energii

### Výnosy za vyrobenou tepelnou energii v hlavní topné sezoně:

Výnosy za vyrobenou tepelnou energii v hlavní topné sezoně vypočteme z množství vyrobené tepelné energie v této sezoně  $W_T^{HS} = 9\,692,1\text{ MW}_T$  a z průměrné ceny tepelné energie za 1 vyrobený gigajoule  $C_T = 600\text{ Kč/GJ}$ .

$$V_T^{HS} = W_T^{HS} * 3,6 * C_T = 9\,692,1 * 3,6 * 600 = \underline{20\,934\,936\text{ Kč}} = \underline{20,93\text{ mil. Kč}}$$

Výnosy za vyrobenou tepelnou energii v hlavní topné sezoně činí  $20\,934\,936\text{ Kč}$ .

### Výnosy za vyrobenou tepelnou energii v přechodné sezoně:

Množství vyrobené tepelné energie v přechodné sezoně je  $W_T^{PS} = 3\,204\text{ MW}_T$ .

$$V_T^{PS} = W_T^{PS} * 3,6 * C_T = 3\,204 * 3,6 * 600 = \underline{6\,920\,640\text{ Kč}} = \underline{6,92\text{ mil. Kč}}$$

Výnosy za vyrobenou tepelnou energii v přechodné sezoně činí  $6\,920\,640\text{ Kč}$ .

### Výnosy za vyrobenou tepelnou energii v letní sezoně:

Množství vyrobené tepelné energie za letní sezonu je  $W_T^{LS} = 2\,947,68\text{ MW}_T$ .

$$V_T^{LS} = W_T^{LS} * 3,6 * C_T = 2\,947,68 * 3,6 * 600 = \underline{6\,366\,988,8\text{ Kč}} = \underline{6,37\text{ mil. Kč}}$$

Výnosy za vyrobenou tepelnou energii v letní sezoně činí  $6\,366\,988,8\text{ Kč}$ .

### Výnosy za vyrobenou tepelnou energii celkem:

Součet výnosů za vyrobenou tepelnou energii za jednotlivé sezony.

$$V_T = V_T^{HS} + V_T^{PS} + V_T^{LS} = 20,93 + 6,92 + 6,37 = \underline{34,22\text{ mil. Kč}}$$

Celkové výnosy za vyrobenou tepelnou energii činí  $34,22\text{ mil. Kč}$ .

### 6.2.3 Celkové výnosy

Celkové výnosy se vypočítají jako součet výnosů za vyrobenou elektrickou a tepelnou energii.

$$V_C = V_E + V_T = 13,04 + 34,22 = \underline{47,26 \text{ mil. Kč}}$$

Celkové výnosy z vyrobené elektrické a tepelné energie za všechny sezony během roku činí *47,26 mil. Kč*.

### 6.3 Náklady na výrobu elektrické a tepelné energie

Náklady spojené s provozem kogenerační jednotky jsou závislé především na typu jednotky, její pořizovací ceně a na režimu jejího provozu. Tyto náklady se dají rozdělit na náklady stálé a proměnné. Stálé náklady jsou závislé na investičních nákladech a náklady proměnné jsou závislé na množství vyrobené energie. Mezi proměnné náklady patří například náklady na nákup paliva, náklady na mzdy nebo náklady na opravy a údržbu.

V našem případě budeme uvažovat pouze náklady spojené s nákupem paliva a náklady na opravy a údržbu. Nebudeme uvažovat mzdové náklady, které jsou závislé na počtu zaměstnanců a výši jejich mzdy, tyto faktory nám nejsou předem známi.

#### 6.3.1 Palivové náklady

Pro určení palivových nákladů sečteme náklady na nákup paliva v jednotlivých sezonách. Palivo je odebíráno z lokální úpravny paliva, proto nejsou žádné náklady na dopravu.

$$\begin{aligned} N_{pal} &= N_{pal}^{HS} + N_{pal}^{PS} + N_{pal}^{LS} = 2\,778\,894,23 + 918\,642,72 + 691\,456,72 \\ &= \underline{4\,388\,993,67 \text{ Kč}} = \underline{4,39 \text{ mil. Kč}} \end{aligned}$$

Palivové náklady za rok činí *4 388 993,67 Kč*.

### 6.3.2 Náklady na opravy a údržbu

Náklady na opravy a údržbu se nejčastěji odvozují od celkových investičních nákladů a to v rozmezí 2 - 5%. V našem případě se jedná o nové zařízení, a proto uvažujeme  $k_{ou} = 2\%$  z celkových investičních nákladů.

$$N_{ou} = k_{ou} * N_{i,C} = 0,02 * 262,96 = 5,26 \text{ mil. Kč}$$

Náklady na opravy a údržbu činí 5,26 mil. Kč.

### 6.3.3 Celkové náklady

Celkové náklady se vypočtou jako součet palivových nákladů a nákladů na opravy a údržbu.

$$N_C = N_{pal} + N_{ou} = 4,39 + 5,26 = \underline{9,65} \text{ mil. Kč}$$

Celkové náklady spojené s výrobou elektrické a tepelné energie činí 9,65 mil. Kč.



## 6.4 Čistá návratová hodnota

Čistá návratová hodnota (neboli NPV - Net Present Value) je finanční položka příjmů a výdajů, které jsou diskontovány pomocí úročitele na určitý časový okamžik za dané časové období  $T$ . Tento ukazatel nám vyjadřuje, zda je daný projekt za dobu životnosti výdělečný nebo prodělečný.

U kogeneračních jednotek je jako počáteční finanční výdaj uvažována cena investice a jako finanční příjem je uvažován roční výnos za prodej elektrické a tepelné energie. Dobu životnosti primární kogenerační jednotky a celého projektu uvažujeme *20 let*. V polovině životnosti projektu *10 let* se předpokládá s tím, že technologie bude vyžadovat další investiční náklady na opravy, které však nebudou dosahovat takové výše, jako počáteční investiční náklady. Životnost kogenerační jednotky je ovlivněna zejména životností spalovacího zařízení.

Hodnota úrokové míry je uvažována  $r = 6\%$ . Hodnota NPV je počítána na dobu životnosti projektu  $T = 20$  let. Počáteční investice činí částku  $N_{i,c} = 262,955$  mil. Kč.

Pro výpočet faktoru NPV je nutné určit hodnotu finančního toku (*CF- Cash Flow*), který je vypočítán rozdílem výnosů a nákladů. Jde o konstantní finanční příjem v každém roce.

### Výpočet hodnoty finančního toku:

CF se vypočítá podle následujícího vzorce, jako rozdíl celkových výnosů  $V_c = 47,26$  mil. Kč a celkových nákladů  $N_c = 9,65$  mil. Kč.

$$CF = V_c - N_c = 47,26 - 9,65 = \underline{37,62} \text{ mil. Kč}$$

### Vzorec pro výpočet čisté návratové hodnoty:

Čistá návratová hodnota (NPV) se vypočte podle vzorce níže.

$$NPV = -N_{i,c} + \sum_0^T CF * (1 - r)^T$$

### Příklad výpočtu:

Příklad výpočtu je proveden pro tři roky.

$$NPV = -262,955 + 37,62 * (1 - 0,06)^0 + 37,62 * (1 - 0,06)^1 + 37,62 * (1 - 0,06)^2$$

$$= \underline{-156,75 \text{ mil. Kč}}$$

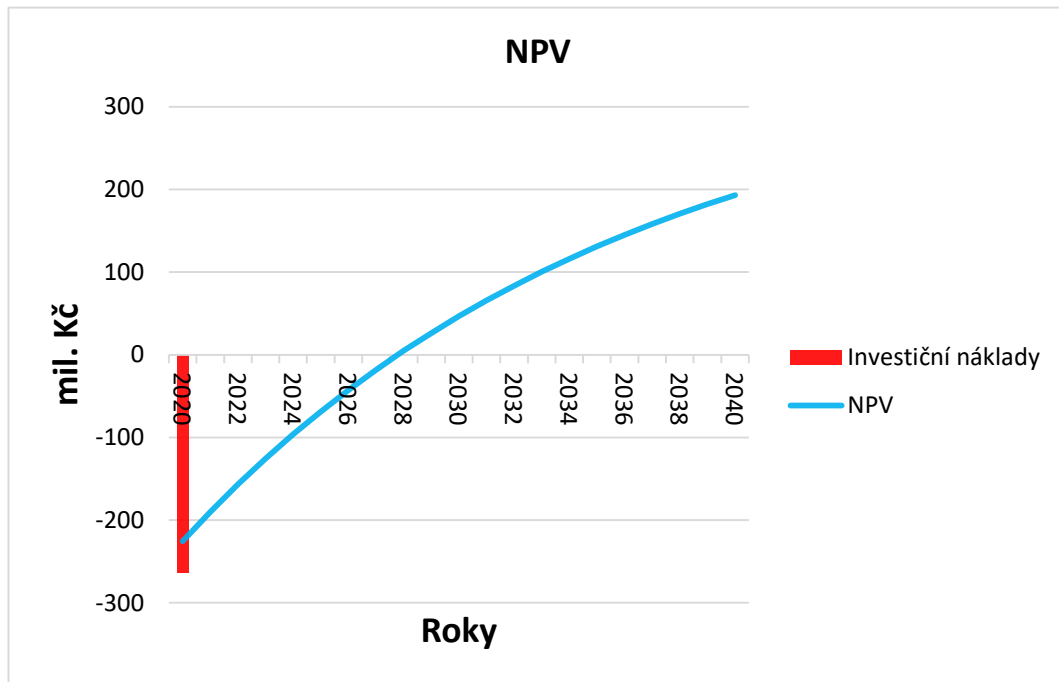
Ve třetím roce od výstavby teplárny je hodnota NPV rovna *-156,74 mil. Kč*.

### Tabulka s vypočtenou hodnotou NPV pro 20 let:

<i>Celkové investiční náklady</i>		
<i>N<sub>i, c</sub> (mil. Kč)</i>		
-292,955		
<i>Rok</i>		<i>NPV (mil. Kč)</i>
0.	2020	-225,34
1.	2021	-189,98
2.	2022	-156,75
3.	2023	-125,50
4.	2024	-96,14
5.	2025	-68,53
6.	2026	-42,58
7.	2027	-18,19
8.	2028	4,74
9.	2029	26,29
10.	2030	46,55
11.	2031	65,60
12.	2032	83,50
13.	2033	100,33
14.	2034	116,15
15.	2035	131,01
16.	2036	144,99
17.	2037	158,13
18.	2038	170,48
19.	2039	182,09
20.	2040	193,00

**Tabulka 6.4.1: Celkové investiční náklady a výpočet NPV pro období 20 let**

Hodnota NPV za 20 let provozu teplárenského zdroje je *193 mil. Kč*.



Graf 6.4.1: Investiční náklady a průběh hodnoty NPV v jednotlivých letech

V grafu výše jsou červenou barvou znázorněny počáteční investiční náklady a modrou barvou je vynesena křivka čisté návratové hodnoty (NPV).

## 6.5 Vnitřní úroková míra

Vnitřní úroková míra (neboli *IRR*- *Internal Rate of Return*) reprezentuje takovou hodnotu úročitele  $r$ , při které dojde za  $n$  let k zaplacení vynaložených investičních nákladů.

*IRR* je iterační metoda, kdy se její hodnota v prvním kroku zvolí a dosadí se do vzorce níže a dojde k výpočtu diskontované hodnoty *NPV*. Pokud je výsledná hodnota záporná, zvolí se nižší hodnota *IRR* a celý proces se opakuje. Opakuje se do té doby, než *NPV* vyjde rovno nule ( $NPV=0$ ).

$$NPV = -N_{i,C} + \sum_0^T CF * (1 - IRR)^T$$

Finální hodnota *IRR* je porovnána s minimální požadovanou hodnotou úročitele (6 %). Pokud je hodnota *IRR* menší, než požadovaný úročítel, pak je vyšetřovaná varianta pro realizaci nevýhodná.

Pokud se porovnává více variant, volí se ta, která má největší hodnotu *IRR*.

### Výpočet *IRR*:

$$0 = -262,96 + \sum_0^T 37,62 * (1 - 0,1365)^T \rightarrow IRR = \underline{13,65 \%}$$

Opakovaným dosazováním hodnoty *IRR* do vzorce výše bylo dosaženo nulové hodnoty *NPV*. Hodnota *IRR*, pro kterou vychází hodnota *NPV* nulová je rovna 13,65 %. Tato hodnota je vyšší, než úroková míra 6 %, ze které se vycházelo při výpočtu čisté návratové hodnoty. Proto lze říci, že je projekt výhodný a lze do něj investovat.

## 6.6 Doba návratnosti

Doba návratnosti  $T_p$  (*let*) (neboli *PBP – Pay Back Period*) vyjadřuje, jak dlouhou dobu je nutné provozovat daný kogenerační systém, aby došlo ke splacení počátečních investičních nákladů ( $N_{i,c}$ ). Velikost splátek se odvíjí od velikosti zisku nebo úspory nákladů vznikajících provozem daného systému.

$$T_p = \frac{N_{i,c}}{CF} = \frac{N_{i,c}}{V_c - N_c} \quad (\text{let})$$

Jedná se o nejvíce využívanou statickou kvantifikační metodu pro posouzení vhodnosti nasazení daného zdroje. Předpoklad pro tuto metodu je, že jsou konstantní zisky v každém roce. (11)

Ideální doba návratnosti se předpokládá do poloviny doby životnosti projektu a to do *10 let*. Pokud jsou do této doby investiční náklady splaceny, projekt je výhodný na realizaci.

### Výpočet doby návratnosti:

Doba návratnosti se vypočítá podílem celkových investičních nákladů  $N_{i,c} = 262,96 \text{ mil. Kč}$  a finančního toku  $CF = 37,62 \text{ mil. Kč}$ .

$$T_p = \frac{N_{i,c}}{CF} = \frac{262,96}{37,62} = \underline{7} \text{ let}$$

Doba návratnosti, za kterou se dané investiční náklady splatí, vyšla na *7 let* provozu zdroje. Tato doba vyšla nižší než polovina doby životnosti (*10 let*) projektu a tak je daný projekt výhodný a je možné jej realizovat.

## **Závěr**

Cílem této práce bylo posoudit a navrhnout nový zdroj tepla a elektřiny pro obecnou horskou lokalitu, u které je vyšší pravděpodobnost přerušení dodávek elektřiny a tepla. Sítě v horských oblastech jsou vystaveny náročným povětrnostním podmínkám, zejména v zimním období, a tak nejsou ojedinělé její výpadky. Běžné konvenční tepelné jednotky nejsou schopné bez zdroje elektřiny produkovat teplo. A tak je výstavba místního zdroje elektřiny a tepla perspektivní variantou, jak stabilizovat dodávky energií v daném regionu.

Vhodný zdroj pro tuto aplikaci byl hned od začátku kogenerační zdroj vyrábějící jak elektrickou, tak tepelnou energii. Variant kogeneračních zdrojů elektřiny a tepla je mnoho, a však pro náš návrh jsem zvolil zdroj využívající jako paliva biomasy v podobě dřevní štěpky, která je obecně v horských oblastech hojně dostupná.

Kogenerační jednotku pro výrobu energie jsem zvolil moderní ORC modul, který disponuje výbornou účinností, širokým regulačním rozsahem, dlouhou dobou životnosti, téměř bezúdržbovým provozem a ke svému provozu nepotřebuje zdroj vody a zařízení pro její úpravu. Dostupnost většího množství vody by mohla být v horské oblasti problematická. Výkon ORC modulu byl zvolen na *1 MW* elektrický a přibližně *4 MW* tepelné, tento výkonový rozsah je pro horskou oblast dostačující. Tepelným zdrojem pro tuto jednotku byl zvolen fluidní kotel o výkonu *7 MW*. Fluidní kotle dosahují výborných spalovacích vlastností s minimálním množstvím zbytků po vyhoření paliva a zejména disponují nízkými emisemi  $\text{NO}_x$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CO}$  a ostatních plynných látek. Hlavní kogenerační jednotku bylo nutné pro případ výpadku doplnit o další záložní zdroj elektřiny v podobě spalovacího motoru o výkonu *800 kW*, využívajícího jako palivo zemní plyn. Zatížení hlavního zdroje přes letní sezonu by kleslo pod mezní hodnotu regulace tohoto zdroje *20 %*, proto bylo nutné pro tuto sezonu navrhnout samostatný zdroj. Jako zdroj pro letní období byl zvolen teplovodní kotel od firmy Viessmann o výkonu *1,25 MW* tepelných produkující pouze tepelnou energii.

V závislosti na topných sezonách byly provedeny bilanční výpočty spotřeby paliva, palivových nákladů, množství vyrobené energie a výpočty elektrické, tepelné a celkové účinnosti pro jednotlivé zdroje.

*POSOUZENÍ VARIANT NOVÉHO ZDROJE TEPLA A ELEKTRINY PRO OBECNOU HORSKOU LOKALITU, U KTERÉ JE VYŠŠÍ PRAVDĚPODOBNOST PŘERUŠENÍ DODÁVEK TEPLA*

---

V ekonomickém zhodnocení byla stanovena cena koncového produktu, byli provedeny výpočty výnosů a nákladů v závislosti na množství vyrobené elektrické a tepelné energie v jednotlivých topných sezonách. Dále byly vypočteny ekonomické faktory, jako je čistá návratová hodnota (NPV), vnitřní úroková míra (IRR) nebo doba návratnosti, které určují, zda je výhodné do daného projektu investovat. Všechny tyto faktory vyšli pozitivně, a proto lze říci, že by se realizace tohoto projektu dle navrhovaných parametrů vyplatila.

## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD. [www.eru.cz](http://www.eru.cz). [Online] [Citace: 1. 2. 2017.] [http://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava\\_o\\_kvalite\\_2017.pdf/f63e1719-260b-4446-83e8-9088b34d5528](http://www.eru.cz/documents/10540/462796/Zprava_o_kvalite_2017.pdf/f63e1719-260b-4446-83e8-9088b34d5528).
- [2] ČEZ DISTRIBUCE. [www.cezdistribuce.cz](http://www.cezdistribuce.cz). [Online] [Citace: 5. 2. 2017.] <https://www.cezdistribuce.cz/cs/distribucni-soustava/uroven-kvality-distribuce-elektriny.html>.
- [3] MOJEENERGIE. [www.mojeenergie.cz](http://www.mojeenergie.cz). [Online] [Citace: 3. 3. 2019.] <http://www.mojeenergie.cz/cz/teplarenstvi-dodavka-energie>.
- [4] HÉGR, Aleš. *Optimalizace návrhu výtopenského zdroje spalujícího biomasu a zemní plyn*. Plzeň : ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ, 2017.
- [5] OENERGETICE. [oenergetice.cz](http://oenergetice.cz). [Online] [Citace: 15. 4. 2019.] <https://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/>.
- [6] TEPLÁRENSKÉ SDRUŽENÍ ČESKÉ REPUBLIKY. [www.tscr.cz](http://www.tscr.cz). [Online] [Citace: 25. 4. 2019.] <http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=05&1555758186#>.
- [7] QUASCHNING, Volker. *Obnovitelné zdroje energií*. Mnichov : Carl Hanser Verlag, Munich/FRG, 2008.
- [8] OENERGETICE. [Online] [Citace: 20. 3. 2019.] <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevahody/>.
- [9] MINISTERSTVO PRŮMYSLU A OBCHODU. [www.mpo.cz](http://www.mpo.cz). [Online] [Citace: 16. 4. 2019.] <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2018/11/Energeticka-bilance-OZE-2003-17.pdf>.
- [10] CHMELÍČEK, Jiří. *Kotle na biomasu velkých výkonů*. Brno : VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ, 2011.
- [11] DVORSKÝ, Emil a HEJTMÁNKOVÁ, Pavla. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha : BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-7300-118-7.
- [12] TZB-INFO. [www.tzb-info.cz](http://www.tzb-info.cz). [Online] [Citace: 20. 4. 2019.] <https://www.tzb-info.cz/2455-biomasa-efektivni-palivo-pro-orc-technologie>.



## Seznam obrázků, tabulek a grafů

OBRÁZEK 1.2.1: PODÍL KABELOVÉHO A VENKOVNÍHO VEDENÍ V ČR (1).....	15
OBRÁZEK 1.2.2: CHARAKTER PORUCH PRO SAIFI NA NN V ČR ZA 3 ROKY (2) .....	16
OBRÁZEK 1.2.3: CHARAKTER PORUCH PRO SAIDI NA NN V ČR ZA 3 ROKY (2).....	17
OBRÁZEK 1.2.4: ČASOVÝ VÝVOJ UKAZATELŮ NEPŘETRŽITOSTI DODÁVKY PRO JEDNOTLIVÉ SPOLEČNOSTI (1) 18	
OBRÁZEK 2.2.1: ZDROJE BIOMASY A JEJÍ ZPRACOVÁNÍ (7).....	23
OBRÁZEK 2.2.2: SPOTŘEBA BIOMASY V ROZMEZÍ 15 LET (9).....	26
OBRÁZEK 2.5.1: TERMODYNAMICKÝ OBĚH S PARNÍ TURBÍNOU (5) .....	32
OBRÁZEK 2.5.2: KOGENERAČNÍ CYKLUS S PROTITLAKOU PARNÍ TURBÍNOU .....	33
OBRÁZEK 2.5.3: KOGENERAČNÍ CYKLUS S KONDENZAČNÍ PARNÍ TURBÍNOU.....	34
OBRÁZEK 2.6.1: SCHÉMA KOGENERAČNÍHO ORC CYKLU (11).....	35
OBRÁZEK 2.6.2: ZÁVISLOST ZMĚNY ELEKTRICKÉ ÚČINNOSTI NA ZATÍŽENÍ ORC JEDNOTKY (11) .....	39
OBRÁZEK 2.8.1: TEPELNÝ OBĚH ZÁŽEHOVÉHO MOTORU (11) .....	44
OBRÁZEK 2.8.2: TEPELNÝ OBĚH VZNĚTOVÉHO MOTORU (11) .....	44
OBRÁZEK 2.8.3: SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY SE SPALOVACÍM MOTOREM (11) .....	47
OBRÁZEK 2.8.4: ZÁVISLOST ZMĚNY ZATÍŽENÍ NA ELEKTRICKOU ÚČINNOST ZÁŽEHOVÉHO MOTORU (11).....	51
OBRÁZEK 2.8.5: ZÁVISLOST ZMĚNY ZATÍŽENÍ NA ELEKTRICKOU ÚČINNOST VZNĚTOVÉHO MOTORU (11).....	51
OBRÁZEK 2.8.6: ZÁVISLOST VÝKONU SM NA OTÁČKÁCH A TYPU PALIVA (11).....	52
TABULKA 2.2.1: HRUBÁ VÝROBA ELEKTRICKÉ ENERGIE V ČR Z BIOMASY V ROZMEZÍ 10 LET .....	25
TABULKA 2.2.2: HRUBÁ VÝROBA TEPELNÉ ENERGIE V ČR Z BIOMASY V ROZMEZÍ 10 LET.....	26
TABULKA 2.6.1: PARAMETRY KOGENERAČNÍ JEDNOTKY S ORC MODULEM (11) .....	40
TABULKA 2.7.1: PARAMETRY TEPELOVODNÍHO KOTLE PRO LETNÍ SEZÓNU.....	42
TABULKA 2.8.1: EMISNÍ PARAMETRY SPALOVACÍCH MOTORŮ (11).....	49
TABULKA 2.8.2: PARAMETRY KOGENERAČNÍHO ZDROJE SE SPALOVACÍM MOTOREM (11) .....	53
TABULKA 2.9.1: PARAMETRY TEPELOVODNÍ SOUSTAVY .....	55
TABULKA 4.2.1: EMISNÍ PARAMETRY PŘI SPALOVÁNÍ DŘEVA (11) .....	58
TABULKA 4.4.1: EMISNÍ PARAMETRY SPALOVACÍHO MOTORU (11).....	59
TABULKA 5.1.1: ROZDĚLENÍ TOPNÝCH SEZÓN A PROCENTUÁLNÍ VYUŽITÍ ZDROJE V DANÉ SEZÓNĚ .....	60
TABULKA 5.1.2: VÝHŘEVNOST DŘEVNÍ ŠTĚPKY V ZÁVISLOSTI NA OBSAHU VLHKOSTI (11) .....	60
TABULKA 5.1.3: VÝKON A ÚČINNOST FLUIDNÍHO KOTLE NA BIOMASU .....	60
TABULKA 5.1.4: PARAMETRY TEPELOVODNÍHO KOTLE PRO VÝPOČET SPOTŘEBY PALIVA .....	64
TABULKA 6.1.1: CENY JEDNOTLIVÝCH ZAŘÍZENÍ TEPLÁRNY A CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY .....	76
TABULKA 6.4.1: CELKOVÉ INVESTIČNÍ NÁKLADY A VÝPOČET NPV PRO OBDOBÍ 20 LET.....	82
GRAF 6.4.1: INVESTIČNÍ NÁKLADY A PRŮBĚH HODNOTY NPV V JEDNOTLIVÝCH LETECH .....	83