

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Optimalizace návrhu výtopenského zdroje spalujícího biomasu
a zemní plyn

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Aleš HÉGR**

Osobní číslo: **E15N0102P**

Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**

Studijní obor: **Elektroenergetika**

Název tématu: **Optimalizace návrhu výtopenského zdroje spalující biomasu a zemní plyn**

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 :

1. Popište problematiku návrhu výtopenského zdroje, stručný popis dostupné technologie, srovnání výhod a nevýhod soustav DZT a CZT.
2. Navrhněte kritérium pro hodnocení ekonomické výhodnosti investic v rozvoji teplotnictví (TCO, NPV, cena koncového produktu, atd.).
3. Vytvořte model pro predikci hodinové křivky dodávek tepla a očekávané křivky čáry trvání výkonu.
4. Proveďte výpočet tepelného schématu zdroje s doplněním točivé redukce (malá kogenerace).
5. Vytvořte model pro optimalizaci instalovaného výkonu zdroje sestaveného z biomasového a plynového kotle.

Aplikujte model na vybrané lokalitě:

varianty stanovení výkonů pro základní a špičkový ohřev, provozní bilance zdroje, ekonomické posouzení.

Rozsah grafických prací: **podle doporučení vedoucího**

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

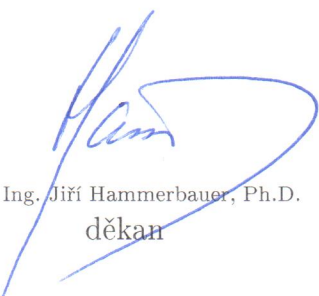
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

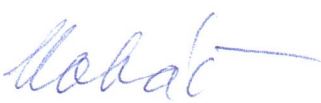
- 1. Určí vedoucí DP a konzultant na první schůzce.**
- 2. www stránky.**
- 3. Katalogové listy.**
- 4. Normy ČSN IEC.**

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Zbyněk Martínek, CSc.**
Katedra elektroenergetiky a ekologie

Datum zadání diplomové práce: **14. října 2016**
Termín odevzdání diplomové práce: **19. května 2017**


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




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

V Plzni dne 14. října 2016

Abstrakt

Předkládaná diplomová práce je zaměřena na optimalizování výtopenského zdroje. Řeší rozdělení výkonů kotlů spalujících biomasu a zemní plyn pro nalezení nejnižší ceny tepelné energie. Zabývá se predikcí tepelného zatížení výtopny s uvažováním povětrnostních podmínek a charakteru odběratelů.

Klíčová slova

Energetika, výtopna, model zátěžového diagramu, model rozložení výkonů, predikce zatížení, optimalizace výtopny.

Abstract

This diploma thesis is focused on the optimization of the heating power plant. It solves the distribution of biomass and natural gas boiler outputs to find the lowest price of thermal energy. Thesis deals with the prediction of the thermal load of the heating plant considering the weather conditions and the character of the customers.

Key words

Power engineering, heating plant, model of load diagram, power distribution model, load prediction, heating plant optimization.

Prohlášení

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

Prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 14.5.2017

Aleš Hégr

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Zbyňku Martínkovi, CSc. za metodické vedení práce, cenné profesionální rady a připomínky. Rád bych také poděkoval svému konzultantovi panu Ing. Jiřímu Benešovi, Ph.D. za čas, který mi věnoval, a za poskytnutí skutečných hodnot z reálného provozu výtopen.

Obsah

OBSAH	7
SEZNAM GRAFŮ, SCHÉMAT A TABULEK	8
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	9
ÚVOD	10
1 PROBLEMATIKA NÁVRHU VÝTOPENSKÉHO ZDROJE	11
1.1 PROBLEMATIKA NÁVRHU VÝTOPNY	11
1.2 DOSTUPNÁ TECHNOLOGIE VÝTOPEN	13
1.3 POROVNÁNÍ VÝHOD A NEVÝHOD DZT A CZT	23
2 KRITÉRIUM PRO HODNOCENÍ EKONOMICKÉ VÝHODNOSTI INVESTIC V ROZVOJI TEPLÁRENSTVÍ	26
2.1 ROZDĚLENÍ HODNOCENÍ EKONOMICKÝCH KRITÉRIÍ	26
2.2 ZHODNOCENÍ Z EKONOMICKÝCH KRITÉRIÍ.....	28
3 MODEL PRO PREDIKCI HODINOVÉ KŘIVKY DODÁVEK TEPLA A OČEKÁVANÉ KŘIVKY ČÁRY TRVÁNÍ VÝKONU	29
3.1 VSTUPNÍ HODNOTY MODELU	29
3.2 VÝPOČET TEPELNÉHO VÝKONU	34
3.3 VÝPOČET KŘIVKY TRVÁNÍ VÝKONU.....	38
3.4 VÝSTUPNÍ HODNOTY MODELU	38
3.5 ZHODNOCENÍ A DALŠÍ MOŽNOSTI MODELU	42
4 VÝPOČET TEPELNÉHO SCHÉMATU ZDROJE S DOPLNĚNÍM TOČIVÉ REDUKCE	43
4.1 VARIANTY TOČIVÉ REDUKCE.....	43
4.2 TERMODYNAMICKÝ VÝPOČET, TEPLÁRENSKÝ MODUL.....	43
4.3 ZHODNOCENÍ A VÝHODNOST TOČIVÉ REDUKCE.....	47
5 MODEL PRO OPTIMALIZACI ZDROJE SLOŽENÉHO Z BIOMASOVÉHO A PLYNOVÉHO KOTLE	49
5.1 MODEL OPTIMALIZACE INSTALOVANÉHO VÝKONU S APLIKACÍ V REÁLNÉM PROVOZU	49
5.2 VARIANTY STANOVENÍ VÝKONŮ PRO ŠPIČKOVÝ A ZÁKLADNÍ OHŘEV	54
5.3 PROVOZNÍ BILANCE A EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	54
ZÁVĚR	58
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	59
PŘÍLOHY	60

Seznam grafů, schémat a tabulek

GRAF 3.1 PŘÍKLAD DENNÍHO PRŮBĚHU TEPLOT	29
GRAF 3.2 PŘÍKLAD POŽADOVANÉ VNITŘNÍ PRŮMĚRNÉ TEPLoty	30
GRAF 3.3 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM ZÁKLADNÍ TEPELNÉ ZATÍŽENÍ - RODINNÉ DOMY	34
GRAF 3.4 TEPELNÉ ZTRÁTY PROUDĚNÍM - RODINNÉ DOMY	34
GRAF 3.5 TEPELNÝ SLUNEČNÍ ZISK – RODINNÉ DOMY	35
GRAF 3.6 TEPELNÝ LIDSKÝ VYZAŘOVANÝ VÝKON - ŠKOLY	35
GRAF 3.7 POMĚRNÁ CHARAKTERISTIKA PRO OHŘEV TUV	36
GRAF 3.8 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU PRO RODINNÉ DOMY	38
GRAF 3.9 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU PANELOVÉ DOMY	39
GRAF 3.10 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU OBCHODNÍ CENTRA	39
GRAF 3.11 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU SKLADIŠTĚ	39
GRAF 3.12 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU ŠKOLY	40
GRAF 3.13 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU ADMINISTRATIVNÍ BUDOVY	40
GRAF 3.14 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU CHLADÍRNÝ	40
GRAF 3.15 ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU OHŘEVU TUV	41
GRAF 3.16 VÝSLEDNÝ ZÁTĚŽOVÝ DIAGRAM S KŘIVKOU TRVÁNÍ VÝKONU	41
GRAF 5.1 ROZDĚLENÍ ŠPIČKOVÉHO A ZÁKLADNÍHO ZATÍŽENÍ VÝTOPNY	54
GRAF 5.2 VÝSLEDNÉ NPV PRO POČÍTANÉ VARIANTY	56
GRAF 5.3 PRŮMĚRNÁ CENA KONCOVÉHO PRODUKTU PRO POČÍTANÉ VARIANTY	56
GRAF 5.4 PRŮMĚRNÁ CENA KONCOVÉHO PRODUKTU PRO 60% VÝKON BIOMASOVÉHO KOTLE	57
TABULKA 3.1 ZADÁVÁNÍ VSTUPNÍCH HODNOT A VÝPOČET ZTRÁT OBJEKTU	33
TABULKA 5.1 ZADÁVÁNÍ VSTUPNÍCH HODNOT PRO OPTIMALIZAČNÍ MODEL INSTALOVANÉHO VÝKONU	52
TABULKA 5.2 VÝSTUPNÍ HODNOTY Z MODELU OPTIMALIZACE INSTALOVANÉHO VÝKONU BIOMASOVÉHO KOTLE	53
TABULKA 5.3 PROVOZNÍ BILANCE VÝTOPNY	55
SCHÉMA 3.1 POSTUP A VSTUPNÍ PROMĚNNÉ VÝPOČTU	37
SCHÉMA 4.1 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA VÝTOPNY S PARNÍM KOTLEM A TOČIVOU REDUKCÍ	48
SCHÉMA 4.2 ZJEDNODUŠENÉ SCHÉMA VÝTOPNY S HORKOVODNÍM KOTLEM	48

Seznam symbolů a zkratk

ERÚ	Energetický regulační úřad
TUV	Teplá užitková voda
DZT	Decentralizované zásobování teplem
CZT	Centralizované zásobování teplem
ARR	Průměrná výnosnost
IRR	Vnitřní úroková míra
NPV	Aktualizovaná hodnota
PBP	Doba návratnosti

Úvod

Předkládaná práce je zaměřena na dva modely optimalizující výtopenské zdroje. První model se zabývá výpočtem tepelného zatížení typově charakteristických odběrných objektů s uvažováním vnějších klimatických podmínek a možností predikování tepelného zatížení z meteorologické předpovědi za předpokladu známých vnitřních provozních hodnot. Druhý model je určen k hledání vhodného rozložení výkonů biomasového a plynového kotle pracujícího do jedné soustavy s užitím dynamického ekonomického hodnotícího kritéria zahrnujícího celé období provozu do první generální opravy.

Práce je rozdělena na pět částí. První část se týká problematiky návrhu výtopenského zdroje, druhá uvádí možnosti ekonomického posuzování pomocí ekonomických kritérií. Třetí kapitola je zaměřena na model pro predikci hodinové křivky spotřeby tepla a očekávanou křivku trvání výkonu. Čtvrtá část obsahuje tepelný výpočet pro točivou redukci. Poslední pátá kapitola řeší model pro optimální rozdělení výkonů biomasového a plynového kotle. Součástí je aplikace modelu skutečné výtopy s reálnými hodnotami, porovnání provozní a ekonomické bilance.

1 Problematika návrhu výtopenského zdroje

V následujících podkapitolách je stručně vysvětlena problematika výtopenského zdroje při jeho navrhování a popis dalších parametrů, které velmi ovlivňují výslednou realizaci.

1.1 Problematika návrhu výtopny

Návrh výtopenského zdroje není jednoduchá záležitost, protože pro uskutečnění výsledné realizace je zapotřebí předvídat velké množství údajů a znát legislativní prostředí, kterému se musíme podřídit. Záleží, jestli navrhujeme výtopenský zdroj zcela nový i včetně sítí, nebo se jedná o rekonstrukci nevhodného původního zdroje. Největším problémem v realizaci výtopenského zdroje jsou vysoké finanční náklady na výstavbu, které se vzhledem k době návratnosti musí přepočítávat na aktuální hodnotu s uvažováním inflace a s předpokládanou změnou energetického trhu, která při výraznější změně může celkovou investici totálně znehodnotit. Z toho důvodu je potřeba znát co nejvíce parametrů před tím, než se započne realizace. K tomu nám slouží mnoho ekonomických kritérií, které mají za účel hodnotit výhodnost investic a liší se podle počtů zahrnujících parametrů pro výpočet. Problémem je, že investice v energetice mají dlouhodobý charakter a obtížně se predikují. Jako příklad může posloužit výstavba paroplynové elektrárny na zemní plyn, kterou se po výrazném zdražení plynu nevyplatí provozovat.

Po prozkoumání možných odběratelů tepelné energie z výtopny je zapotřebí zjistit, jaké možnosti máme při výstavbě. Nejčastější problém s výstavbou nového zdroje je odpor ekologů, kteří bojují proti jednomu většímu ekologičtějším zdroji, než proti lokálním neekologickým zdrojům. S tím souvisí, jaké budeme moci použít palivo pro výrobu tepla. Vhodná je kombinace s obnovitelnými zdroji, jako je spalování biomasy, ze které je cena výsledné energie nižší než ze zemního plynu, případně jsou obnovitelné zdroje ještě dotovány. S tím souvisí použitá technologie a cena technologie. Abychom zajistili návratnost nákladné technologie, je zapotřebí zajistit přibližně vytíženost zdroje, zajistit si smluvně dodávky energií a ceny kupovaného paliva. Vytíženost zdroje v letních měsících mohou vylepšit dodávky chladu pro potravinářský průmysl. Nutnou podmínkou je volba technologií, které splní s rezervou stále se zpříšňující emisní limity.

Největší komplikací zůstávají právní předpisy a ekonomické vyhodnocení investice výstavby, většinou to je nepředvídatelné. Zisk velkého energetického zařízení je regulován

podle energetického zákona energetickým regulačním úřadem pomocí věcně usměrňovaných cen za tepelnou energii.

V následujícím textu je stručně shrnuto, jaké právní povinnosti musí splňovat výtopenské energetické zařízení pro tvorbu ceny za tepelnou energii.

Výrobcem tepelné energie může být fyzická či právnická osoba, kdy tepelnou energii čerpá z paliv nebo z jiných zdrojů a dále tepelnou energii distribuuje. Podnikání ve výrobě tepla je vázáno na licenci, kterou vydává ERU, nebo na koncesi podle živnostenského zákona se zjednodušenými požadavky.

Výtopna nebo teplárna je povinna dodržovat energetický zákon a nařízení z energetického regulačního úřadu. Ochrana spotřebitele nebo konečného zákazníka je zajištěna státní regulací, která zahrnuje regulaci ceny energie, která je většinou nejdůležitějším faktorem. Ochrana spotřebitele také zahrnuje možnost odpojit se od teplofikační soustavy a možnost volby, od jakého dodavatele bude energii odebírat. Ze zdrojů tepelné energie, které jsou šetrné k životnímu prostředí za splnění určitých podmínek, musí být jejich energie vykupována.

Ceny tepelné energie podléhají regulaci od ERU pro ochranu koncového spotřebitele tak, aby se výrobce nemohl chovat monopolně. ERU reguluje ceny pomocí cenových rozhodnutí, ve kterých se definují základní podmínky, postup pro vytváření a sjednávání ceny za tepelnou energii. Nařizují, že do ceny za tepelnou energii lze započítat ekonomicky oprávněné náklady, přiměřený zisk a daň z přidané hodnoty. Pro regulaci jsou definovány úrovně cen, které souvisí na předávací úrovni tepelné energie a na palivu, ze kterého je energie získána. Jsou definované pro uhlí a ostatní paliva. Při kombinaci paliv cenu přepočítáváme přes vážený průměr. Dále je k ceně zapotřebí přičíst meziroční nárůst ekonomicky oprávněných nákladů, do kterých spadají účetní odpisy majetku, náklady způsobené změnou zákonných předpisů, započítání míry inflace, náklady za dodavatelskou údržbu tepelného zařízení a náklady spojené s trvalou optimalizací tepelného zdroje. Cenové rozhodnutí také definuje závazný postup výpočtu ceny tepelné energie a je závislé na cenové lokalitě, která je určena podle místa tepelných zdrojů, podle paliva a dále podle propojenosti či nepropojenosti tepelných systémů v rámci jedné nebo více obcí.

Za stálé a proměnné oprávněné ekonomické náklady se považují: palivo, aditiva, doprava paliv a aditiv, energie potřebná pro přehřev paliva, tepelná energie nakoupená pro rozvod, spotřeba elektrické energie pro zajištění výroby a rozvodu tepelné energie, likvidace

popela, škváry a látek vytvořených odsířeními, vodu pro tepelnou technologii, včetně nákladů na čištění, finanční poplatky za znečištění ovzduší a finanční náklady na nákup emisních povolenek CO₂ v případě překročení ročních limitů. Za neoprávněné náklady se považují náklady, které nebyly zmíněné v oprávněných. Většinou se jedná o náklady, které nesouvisí přímo s dodávkou tepelné energie, nebo o náklady způsobené nedbalostí dodavatele tepelné energie. Jsou to například náklady na studenou vodu pro přípravu teplé užitkové vody, reprezentace podniku, odměny zaměstnanců, zaviněná manka, pokuty, poplatky z prodlení a jiné sankce, náklady na opakované opravy, rekonstrukce, další nepovolené odpisy a náklady.

Do kalkulace ceny za tepelnou energii patří proměnné náklady, stálé náklady a zisk. Proměnné náklady se skládají z nákladů na palivo, nákup /výkup tepelné energie, elektrickou energii, technologickou vodu, údržbu a z ostatních nákladů. Stálé náklady jsou tvořeny mzdami a zákonným pojištěním, odpisy, poplatky za nájem, leasing, zákonnými rezervami, výrobní režii, správní režii, dále úroky z úvěrů a ostatních stálých nákladů. Zisk je tvořen rozdílem celkových příjmů a celkových nákladů, mírou zisku může být i množství dodané energie. Standardně se cena uvádí v Kč/GJ (s, nebo bez, DPH). [1], [2], [4], [5]

1.2 Dostupná technologie výtopen

Kotle rozdělujeme podle použitého média, ze kterého získáváme tepelnou energii. Máme spalínové, nebo na odpadní teplo. Dále je dělíme podle použitého skupenského stavu paliva a podle použitého druhu ohniště. Další dělení je podle užití. Jsou to elektrárenské, teplárenské pro výtopny a pro spalovny. Výparní kotel může být velkoprostorový, článkový, strmotrubný bez nuceného oběhu a s nuceným oběhem vody, průtočný a další.

Kotle dělíme na teplovodní, horkovodní a parní, ty ještě rozdělujeme na nízkotlaké (do 2,5 MPa), středotlaké (od 2,5 MPa do 6,5 MPa), vysokotlaké (do 22,5 MPa) a kotle na nadkritické parametry páry (stav páry, kdy se při vysokém tlaku vyrovná měrný objem páry s měrným objemem vody). Teplovodní kotle jsou definovány maximální teplotou do 130 °C a používají se převážně v DZT, kdy se teplo nepřenáší na velké vzdálenosti. Tlaky v těchto systémech jsou zvoleny podle polohové dodávky vody a podle provozované teploty, aby nedocházelo ke zplynování vody v potrubních systémech. Většinou dodávají teplou vodu do otopného rozvodu se spádem teplot 90/70 °C. Mohou pracovat i do sítí bez přetlakové expanzní nádoby. Horkovodní jsou od 130 °C a používají se převážně v CZT a v průmyslu, kde jsou zapotřebí vyšší parametry topné vody. Měrná cena za výkon je vyšší v porovnání

s teplovodním kotlem a nižší v porovnání s parním nízkotlakým kotlem. Měrná tepelná akumulace kotlů vztahovaná na výkon je nejnižší u teplovodních, pak následuje horkovodní a poslední je parní. U parních se dále mění s tlakem páry. Velká tepelná akumulace může být při výpadku výhodná a při nájedzu, nebo pulzním provozu, nevýhodná. Cenu kotle u parního provedení samozřejmě ovlivňuje, zda je vybaven přehřívákem páry. Parní výtopenské a teplárenské kotle jsou většinou bubnového uspořádání s nuceným průtokem vody. U menších výkonů jsou s přirozeným oběhem. Průtlačné parní kotle se nepoužívají z důvodu vysoké pořizovací ceny a složitosti regulace. Další rozdělení je podle spalovací komory, která značně určuje cenu použité technologie. Nejlevnější je spalovací komora na plynná paliva. U malých výkonů do řádu stovek kilowattů se používají nízkotlaké plošně rozmístěné hořáky bez nuceného vhánění vzduchu. Pro větší výkony se používají trubicové hořáky s nuceným vháněním spalovacího vzduchu. Řešení s nuceným vháněním má vyšší vlastní spotřebu, ale je snáze regulovatelné a má vyšší měrný výkon na velikost celé spalovací komory. Kotle na plynná paliva mohou být tzv. kondenzační, kde se využívá větší teplotní spád spalin a hlavně kondenzační teplo zkapalněných spalin. Kondenzační kotel je vybaven komínem z odolného materiálu proti vznikající kyselině sírové ze spalin, která je následně ve sběrné jímnici neutralizována hydroxidem sodným.

Podstatně složitější je technologie spalování pevných a kapalných fosilních paliv, protože nám vzniká více odpadu ze spalování a hlavně nejde zajistit dokonalé promíchání se spalovacím vzduchem jako je tomu u plynného média. U hořáků, které spalují tuhá a vysoce viskózní kapalná paliva, jako je těžký topný olej a mazut, musíme palivo rozehtávat a vstříkovat s vodní párou do spalovací komory. Technologicky nejnáročnější spalování nastává u pevných fosilních paliv. Nejjednodušší systém spalování je povrchovým odhoříváním paliva bez pohyblivého roštu. Nejčastěji se jedná o schodovitý rošt, kde postupným odhoříváním se palivo dostává do spodních částí, až zůstane jen popel, případně škvára. Regulace spalování je pouze přísunem nového paliva a regulací množstvím vstupního vzduchu. U kotle s roštovou spalovací komorou nelze omezovat emise oxidů dusíku a oxidů síry přímo ve spalovací komoře. Při spalování nekvalitních paliv je nutné doplnit technologii o další zařízení na čištění spalin. Kotle s roštovým uspořádáním jsou nejjednodušší a nejlevnější z dostupné technologie pro výtopny. Roštový kotel lze velmi dobře použít pro spalování biomasy. Další možnost spalování je pomocí práškových hořáků, kdy se palivo před vstupem vysuší, rozeemele na prášek o možné nejmenší zrnitosti, smíchá se vzduchem a vhání se pod tlakem do spalovací komory. U práškového spalování se hůře provozuje kotel na malé zatížení. Vzhledem k vysoké teplotě hoření rozemletého prášku vzniká velké množství oxidů

dusíku a nelze je nijak omezit. Práškové spalování je ze všech typů spalování pevných paliv nejdynamičtější. Posledním významnějším typem spalování je spalování ve vztahu v tzv. fluidní vrstvě. Jedná se o prostornou spalovací komoru, kde se pomocí rychlosti a tlaku spodního vhněného vzduchu udržuje palivo v levitující vrstvě. Palivo se rozmístí do dílčích vrstev podle toho, jak odhořívá. Postupným odhoříváním se palivo dostává do vrchních vrstev, až se dostane mimo spalovací komoru už jako popel. Ten se filtruje v cyklónu a odvádí se zpět do prostoru kotle, tím se omezují ztráty úletem. Spaliny zbavené popílku se rozdělují. Menší část jde do vývodu spalin a zbytek se vrací přes hlavní ventilátor pod fluidní vrstvu. K oběhovým spalinám se přidává přesně potřebné množství čerstvého vzduchu. Tímto uspořádáním je docíleno rovnoměrné odhořívání paliva v prostoru. Díky velkému měrnému objemovému rozložení paliva nedochází ke vzniku vysokých teplot (do 1000 °C), a tím ke vzniku oxidů dusíku. Zároveň regulací vstupního vzduchu můžeme ovlivňovat množství oxidů dusíku a udržovat spalování na optimální úrovni pro dané fosilní palivo. Fluidní spalování je vhodné pro většinu pevných paliv a pro jejich kombinaci. Největší výhodou jsou nízké emise oxidů dusíku, dobrá účinnost kotle, univerzálnost použitých paliv a možnost odsíření spalin bez přídavných zařízení, pouze přidáváním rozemletého vápence přímo do fluidní vrstvy paliva. Nevýhodou fluidního kotle je vysoká měrná cena a složitost regulace kotle oproti předchozím popisovaným typům. [1], [2], [5]

Kogenerační jednotka se dělí podle použitého média, typu zařízení zajišťující výměnu energie a použitého elektrického stroje pro výrobu elektrické energie.

V dnešní době ještě nelze uvažovat s průmyslovým využitím přímé přeměny tepelné energie na elektrickou, nebo dokonce rovnou z chemické na elektrickou. Přeměna se provádí přes mechanickou energii a máme několik způsobů podle dostupných strojů. Plynové pístové motory lze použít do výkonů řádů MW a patří do skupiny strojů s přímým spalováním paliva. Použitelné palivo je samozřejmě pouze plynné, nebo kapalné. Lze použít pevná paliva, které lze zplynovat a dostatečně dobře vyčistit na požadovanou úroveň. Nevýhodou spalovacích motorů je omezená výstupní teplota vody, která může být dodávána pouze do teplovodní soustavy, další nevýhodou je značné opotřebávání stroje, nutné roční opravy a kontroly, což značně navyšuje provozní náklady. Výhodou je dobrá termodynamická účinnost přenosu energie. Pro větší výkony s vnitřním spalováním lze použít spalovací turbínu s další složitou technologií. Naskýtá se i možnost použití tepelného stirlingova motoru, který se vyrábí pouze pro malé výkony. Pokud potřebujeme doplnit stávající parní kotel o točivou redukci, volíme parní protitlakovou turbínu. Rotační stroje mají velkou výhodu v životnosti a ve výkonovém

rozsahu. Termodynamická účinnost závisí na vstupních parametrech páry. Vnitřní termodynamická účinnost závisí na provedení turbíny, jestli je přetlaková, nebo rovnotlaká, a na konstrukčním řešení. Obecně lze říci, že výkonnější stroje dosahují lepší účinnosti než méně výkonné stroje a podobně je tomu i u otáček. Vysokootáčkové turbíny dosahují lepší účinnosti. Pro parní stroje musí být technologie doplněna o přídavné redukční stanice pro případ, že dojde k poruše na parní točivé redukci tak, aby byla zachována dodávka tepla. Pro výkony od 500 kW se převážně používají synchronní generátory kvůli lepší účinnosti, možnosti regulovat účinník a lepší návratnosti investice do zařízení. [1], [4], [5]

Tepelnou akumulaci rozdělujeme podle média, do kterého se ukládá tepelná energie a podle času, na jaký je určena. Teplovodní či horkovodní akumulace je dostupná v provedení zaizolovaných nádrží, které můžeme paralelně spojovat pro docílení požadovaného množství akumulárního tepla. Při použití vodní akumulace je nutné technologii doplnit o řadu zařízení, jako jsou například přídavné kompenzátory objemu. Parní akumulaci lze provést dvěma způsoby. Páru o daných parametrech jen akumulujeme ve zvětšeném objemu tzv. parojemech, nebo v takzvaných ruthsových teplojemech, kdy skupenskou a tepelnou energii páry předáváme do vody, ze které se při odběru energie zase pára odpařuje. Teplojem má větší měrnou tepelnou kapacitu než parojem. Parní akumulace je technicky velmi náročná jednak z důvodu velkých teplotních rozdílů, což ovlivňuje maximální velikost akumulátorů, tak i v omezeném použití pouze pro nízkotlakové systémy. Tepelná akumulace se dá dobře využít, pokud chceme zlepšit zatěžovatele výtopenského zdroje, nebo pokud chceme zvýšit zisky za výrobu elektrické energie. Obecně lze říci, že jakákoliv akumulace je problém navíc, protože přináší další náklady provozu a zvyšuje ztráty tepelné energie. Tepelná akumulace se neprovádí běžně, jen v případech, že to požaduje odběratel tepelné energie, protože investiční náklady většinou převazují užitek akumulace. Tepelnou akumulaci rozlišujeme podle času, na který je určena. Nejčastější je krátkodobá, řádově jednotky hodin. [1], [2], [5]

Přenosové teplotní sítě se rozdělují podle používaného média, zajišťující přenos tepla a provozní teploty, dále dle směru média a podle stavebního uspořádání. Teplotní sítě můžeme mít venkovní a vnitřní. Venkovní sítě mají větší ztráty tepla z důvodu vystavení venkovním teplotám, ale jsou investičně nejlevnější. Vnitřní jsou buď umístěné v kolektoru, nebo jen zaizolované v zemi. Oproti venkovním vykazují při stejné tloušťce izolace menší ztráty, ale je nutno mít provedené kvalitní hydroizolace proti navlhání tepelné izolace od okolní země. Vnitřní tepelné sítě jsou několikanásobně dražší, ale v husté městské zástavbě je

to jediná možnost provedení. Pro malé vzdálenosti do jednotek kilometrů se používají teplovody. Teplovody jsou investičně nejméně náročné, zabírají méně místa z důvodu slabší izolace a menších dilatačních kompenzátorů. Dají se použít podélné vlnové kompenzátory, které nevybočují z profilu teplovodu. Horkovody se používají na velké vzdálenosti, řádově až desítky kilometrů. Maximální vzdálenost je omezena efektivitou přenosu, která závisí na účinnosti horkovodu. Účinnost závisí na hydraulických ztrátách horkovodu, na kvalitě a tloušťce izolace. Například ztráty městského horkovodu ve Dvoře Králové jsou 5-7 %. Pro větší vzdálenosti se musí ztráty kompenzovat vyšší vstupní teplotou nebo rychlostí proudění vody. Hlavní horkovody pro dlouhé trasy se vzhledem k provozované vyšší teplotě zásadně staví jako venkovní, z důvodu své velikosti potrubí (potrubí může dosahovat s izolací až 4 metry v průměru) a z důvodu použití dilatačních kompenzátorů „U“ nebo „S“ tvaru. Horkovodní místní sítě vystupující z předávacích stanic, ukládají se do země, nebo do kolektorů. Ve vodních tepelných přenosových soustavách vzniká problém při dopravě tepla mezi rozdílnými nadmořskými výškami. Velké tlaky v nižších polohách značně zvyšují cenu potrubí. Řešení lze provést pomocí čerpacích a redukčních stanic, které jsou umístěné na trase tepelné sítě. Aby se omezily přídatné ztráty čerpáním na minimum, je vhodné redukční a čerpací stanice uzpůsobit na rekuperace energie. Redukce musí potenciální energii odebrat a dodat čerpacímu agregátu. Rychlost proudění vody se pohybuje v řádech jednotek metrů za sekundy, takže při dlouhém horkovodu může najíždění trvat i několik hodin.

Horkovody a teplovody mají velmi velkou tepelnou kapacitu, která může být velmi výhodná pro proměnlivý odběr i výrobu, případně vykrývání krátkodobých výpadků výroby. Parovod se nejčastěji provozuje na nízkotlaké parametry páry a používá se spíše v průmyslových závodech, kde je potřeba technologická pára. Výhodou parovodu je, že tlak páry je mnohonásobně vyšší než tlak způsobený velkými rozdíly nadmořských výšek výroby a spotřeby a že nemusí být v místě výroby výměník tepla, pára proudí rovnou z kotle, nebo z turbíny do parovodu. Další výhodou parovodu je velký měrný výkon vztažený na prostor zabíraný parovodem, velký měrný výkon výměníků vztažený na velikost, a také to, že nemusí být doplněn o čerpací stanice, protože se pára šíří na úkor vnitřní energie. Rychlost šíření páry v parovodu je v desítkách metrů za sekundu, což značně navyšuje ztráty prouděním a může při nedokonalém odvodnění značně poškozovat potrubí kavitací. Proto se parovody zásadně provozují na přehřátou páru, aby se zabránilo kondenzování vody. Při najíždění se musí postupně odvodňovat. Nevýhodou je malá tepelná akumulace tepla a vyšší provozní teplota. Dále se v případě zpětného parního potrubí přichází o skupenské teplo páry, která kondenzační teplo ztrácí u výtopenského či teplotenského zdroje v kondenzátoru.

Účinnost parovodních sítí je špatná, například parovodní rozvod v Trutnově dosahuje 70%. V teplotních přenosových sítích ještě rozlišujeme, zda je průchod média jednosměrný, nebo obousměrný. U jednosměrného se po předání tepla u spotřebiče nevrací zpět a u obousměrného se vrací zpět ke zdroji k opakovanému použití. [1], [2], [5]

Provedení výměňkových stanic se liší podle použití předávacího média a podle technologického uspořádání. V teplárenství se využívá veškerá škála výměníků, jako jsou pára/voda, voda/voda, voda/vzduch. U parních výměníků můžeme rozlišovat, zda jsou s kondenzací, nebo bez kondenzace vstupní páry. Z technologické konstrukce výměníků rozlišujeme základní druhy: tzv. souproude, protiproude a křížené. Protiproude mají konstantní teplotní spád, a tím mají dobrou účinnost a malou ztrátu tepelného potenciálu. Souproude mají proměnný teplotní spád a dochází na nich ke ztrátě tepelného potenciálu. Jejich výhodou je menší velikost na stejný předávaný tepelný výkon protiproudeho výměníku. Kombinací souproudeho s protiproudým vzniká křížový, který kombinuje vlastnosti obou typů. Výměníky slouží k postupnému snižování parametrů dodávaného tepla na vhodné úrovně a výkony pro odběratele. To znamená, že do rodinného domku nebude zaveden horkovod, ale teplovod z výměňkové stanice napájecí další blízké objekty současně. Parametry přenášeného tepla se snižují i z bezpečnostních podmínek, protože jakýkoliv únik z horkovodu či z parovodu je životu nebezpečný. Výměníky se vstupním plynným médiem jsou méně prostorově náročné. [1], [5]

Bivalentní zdroje mohou být buď přídavné, nebo implementované do stejných kotlů. Například práškový, nebo mazutový kotel k najíždění používá plynové hořáky na zemní plyn, které mohou sloužit jako záloha při nedostatku primárního paliva. Přídavné zařízení tvoří pouze zálohu a v normálním stavu se nepoužívá. Může to být například plynový, nebo elektrický kotel. Dále se bivalentní zdroje rozdělují podle místa umístění. Můžeme je instalovat přímo u zdroje, a tím větší část technologie koncentrovat na jednom místě, nebo umístíme bivalentní zdroj blíže k odběrateli, například k první výměňkové stanici a využijeme možnosti dimenzovat zdroj na snížený výkon o ztráty v tepelné přenosové síti. Ve zvláštních případech můžeme bivalentní zdroje umístit přímo k odběratelům, kterým by v případě nedodávky tepelné energie vznikly velké finanční ztráty. Například na konci horkovodu z Mělníka do Prahy je umístěna plynová špičková výtopna pro případ, že by došlo k poruše elektrárny či horkovodu. [2], [5]

Regulování výtopenského a teplárenského systému není jednoduchá záležitost, protože obsahuje velké množství proměnných, které celý systém nenechají v ustáleném stavu. V teplárenské soustavě se snažíme regulovat tak, abychom dodrželi požadované parametry teploty teploty teploty v předávacím místě, a tím samozřejmě uspokojili poptávku odběratelů po teple, zároveň udrželi maximální hospodárnost celé teplofikační soustavy. Provádět regulaci výkonu výroby tepelné energie můžeme následujícími způsoby. Výkon v tepelné soustavě je dán teplotou teploty teploty a průtokem. Regulace změnou průtoku se nazývá kvantitativní a regulace změnou teploty je kvalitativní. Podle těchto dvou kritérií lze optimalizovat každou tepelnou soustavu. Nejjednodušší je regulace na konstantní teplotu v teplofikační síti. Regulace má velké časové konstanty na změnu odběru, takže má špatnou dynamiku. Tato regulace je energetickým zákonem zakázána, protože je neekonomická. Další možná regulace je takzvaná ekvitermní, která vyhodnocuje změnu venkovní teploty vzduchu, a tím částečně predikuje následující změnu tepelného odběru odběratelů s teplotní závislostí a upravuje teplotu v topném systému tak, aby byly menší ztráty v rozvodu. Samozřejmě musí být doplněna o zpětnou vazbu. S teplotou sjíždí až na teplotu, kdy dojde k zastavení vytápění a zůstane teplota pouze potřebná pro ohřev TUV. Ekvitermní regulace nejvíce využívá změnu teploty teploty teploty. Pro využití tepelné akumulace teplofikační sítě a výměníků se musí do regulace zahrnout další proměnné, aby nedošlo k narušení dodávky tepla. Nejlepší regulace lze docílit s velkým počtem měření umístěných na teplofikační síti odběratelů, včetně měření venkovních teplot s výpočetním programem na predikci tepelného zatížení, a tím snížení počtu neznámých, způsobující značné zásahy regulátoru do celé soustavy. [2], [5]

V dnešní době inteligentních technologií je automatizace provozu ve velkém rozmachu hlavně z důvodu snížení provozních nákladů na zaměstnance. Automatizace je nápomocný nástroj pro optimalizaci provozu, ale nemůže nahradit osobní pohled na zařízení, kdy zaměstnanec může detekovat poruchu dříve, než k ní dojde, a tím zabránit velkým škodám způsobených výpadkem. Dále osobní dozor a kontrola zařízení odhalí vnější vady a drobné nedostatky v technologii mnohem dříve než pravidelné povinné revize zařízení. Proto je nutné i při automatizovaném provozu zvážit velké výhody obsluhy, které mohou zabránit poměrně velkým finančním škodám vzhledem k jejich nákladům na mzdy a zároveň dělají ostrahu objektu, na kterou by musel být někdo nasazen. Dnes je k dispozici velmi dokonalá automatizace provozu, ale ve výtopně nebo v teplárně nelze dosáhnout bezobslužného provozu z důvodu bezpečnosti, protože ani automatika a výpočetní technika není na 100 %

spolehlivá. Automatizace poskytuje velké množství dat pro podrobnější analýzu systému a pomocí získaných informací lze dále optimalizovat celou teplofikační soustavu. [2], [5]

Náklady na údržbu souvisí s použitou technologií a jsou závislé na používaném palivu. Nejnižší náklady na údržbu mají teplovodní systémy spalující plynné média, protože plyn se dopraví na místo spotřeby plynovodem a vzhledem k čistotě plynu nedochází k výraznějšímu opotřebování hořáků a spalovacího prostoru kotle, včetně spalínového výměníku tepla. U spalování pevných a kapalných paliv nám vznikají dopravní vícenáklady, se kterými je nutno počítat. U pevných paliv dochází k zanášení kotle, což zvyšuje náklady na údržbu a čištění. U těchto zařízení jsou nutné častější prohlídky a generální opravy z důvodu agresivnějších spalin. Kotle na vyšší teplotu podléhají většímu opotřebení a jsou nutné častější kontroly a revize. [4], [5]

V dnešní době stálého zpříšňování emisních limitů jsme nuceni instalovat drahé technologie na čištění spalin, které ale nemusí stačit po určité době provozu. Nejjednodušší je použití zdrojů tepla spalující paliva, které netvoří velké množství zakázaných spalin. Jedná se především o zemní plyn, který je převážně tvořen metanem a podíl síry je velmi malý, takže není potřeba další technologie čištění. U kapalných paliv, jako lehký a těžký topný olej, také odpadá problém s pevnými částicemi, které jsou při dobrém spalování pod povolenými limity. Z pohledu tvorby oxidů síry záleží na podílu síry v kapalném palivu. Například liberecká teplárna kupuje topný olej z Francie s obsahem síry do 0,5%, případně si palivo míchá na přesnou hodnotu síry s nekvalitním tak, aby mohla provozovat technologii bez odsiřovacího zařízení a neporušovat emisní limity. U spalování pevných paliv vzniká velké množství popílku. Palivo může být tvořené až jednou třetinou popélou z celkové hmotnosti před spálením. Technologie pro čištění spalin od popílku můžeme rozdělit na tři typy podle principu oddělení mechanických částic ze spalin. Prvním typem je mechanické zachytávání nečistot, kdy spaliny proudí přes pevné látky, které mají menší zrnitost než zachytávaná částice popílku. Nejčastěji se jedná o tkaninové filtry, které musí být duální pro automatické čištění kvůli udržení dostatečné filtrační schopnosti s minimálními aerodynamickými ztrátami. Jedná se o nejlevnější variantu čištění spalin s přijatelnou účinností záchytu. Další možnou technologií pro odstranění popílku je cyklónový odlučovač, který pracuje na principu působení odstředivé síly na hmotnou částici popílku, která je vytlačena mimo proud spalin. Účinnost je lepší než u mechanické separace, technologie je jednoduchá a téměř bezúdržbová. Nevýhodou je energetická náročnost, způsobená vyžadovanou velkou rychlostí spalin

procházejících přes cyklónový odlučovač. Elektrostatický odlučovač využívá elektrostatické vlastnosti popílku. Spaliny prochází přes sršící a sběrné elektrody (deskové, tyčové). Nabitá částice popílku je přitažena ke sběrné uzemněné elektrodě a pomocí oklepávání je popílek sklepán do sběrného místa. Výhodou elektrostatických odlučovačů je téměř stoprocentní účinnost zachycení popílku a malá energetická náročnost, převážně z důvodu nízkých aerodynamických ztrát. Nevýhodou je vysoká měrná cena, která převyšuje ostatní způsoby čištění a větší prostorová náročnost. [1], [2], [5]

Záložní systémy výtopen a tepláren jsou důležitým prvkem pro přechod z havarijního a poruchového stavu do stavu klidu s omezením ztrát na minimum. Jedná se o zálohu napájení důležitých zařízení, které musí být i v případě výpadku elektrické energie dále napájeny. Zálohovat je nutné řídicí systémy a měření na dobu potřebnou pro odstavení zařízení z provozu. U kotlů musíme zajistit při výpadku oběhového čerpadla dodatečné dochlazení teplovodního výměníku, protože kotel má značnou tepelnou kapacitu. U parních turbín musíme zajistit po odstavení teplého stroje otáčení, aby nedošlo k prohnutí hřídele. Zálohu napájení pro řídicí systémy může tvořit bateriový zdroj s měničem, který pro větší výkony není z ekonomického hlediska vhodný a doplňuje se dieselagregátem. Jako pomocný záložní zdroj lze využít točivou redukci, nebo kogenerační plynovou jednotku, ale pouze v případě, že generátor je synchronní stroj. Záložní systémy zvyšují pořizovací náklady a náklady na údržbu, proto je nejlepší, když vlastní zdroj elektrické energie může zároveň tvořit zálohu napájení do ostrovního režimu. [2], [5]

Životnost zařízení je nejdůležitější parametr, který zásadně ovlivňuje výhodnost investice v oboru teplárenství. Životnost zařízení je samozřejmě daná konstrukcí zařízení, u kotlů je to především závislé na provozních teplotách a na kvalitě paliva, které spalujeme. Obecně životnost záleží na tom, jak je zařízení naddimenzováno a jak kvalitní materiály jsou použity k nejvíce exponovaným místům. V provozu pak má velký vliv na životnost zařízení správně provedená údržba a provoz zařízení v pracovním rozpětí garantovaným výrobcem. Při výstavbě výtopny nebo teplárny vyžadujeme životnost zařízení alespoň 20 let s garancí možných oprav. [4]

Úprava vody je důležitou součástí každého výtopenského nebo teplárenského zdroje. Požadavky kladené na kvalitu vody závisí na tom, v jakém systému bude voda cirkulovat. Do obvyčejné teplovodní soustavy vystačí mechanické zbavení nečistot a úprava tvrdosti vody.

U horkovodních systémů by bylo vhodné využít demineralizovanou vodu. U parních soustav je nutné použít demineralizovanou vodu, která neobsahuje žádné minerály, mechanické nečistoty, hlavně oxidy křemíku, které mohou značně zanášet výměníky kotlů a poškozovat lopatky turbín. Demineralizovanou vodu lze vyrábět demineralizační soustavou složenou z katexu a anexu, nebo pomocí reverzní osmózy. [1], [2], [5]

Přípravu teplé užitkové vody (dále TUV) lze provést několika způsoby. Nejlevnější variantou je, že ohřívák TUV je umístěn v poslední předávací stanici, kde ohříváme vodu pro více odběratelů najednou a TUV rozvádíme k jednotlivým odběratelům dalším rozvodem. Aby nedocházelo k odtáčení vychladlé vody v potrubí mezi předávací stanicí a odběrateli, doplňuje se rozvodné potrubí TUV vratným okruhem, ve kterém je pomocí čerpadla udržována voda v ohřátém stavu. Nevýhodou těchto systémů je velká energetická náročnost zvýšená o tepelné ztráty nadbytečného rozvodného systému. Dražší variantou je ohřev TUV přímo u odběratele, která má minimální energetické ztráty. Pro ohřev TUV můžeme využít akumulární boiler s tepelným výměníkem nebo protiproudé ohříváky. Akumulární boiler má nevýhodu ohřevu směřováním dvou kapalin. Lepším řešením je samostatný protiproudý výměník pro ustálený odběr a pro neustálený odběr doplněný o akumulární nádobu. [1], [2], [5]

Skladování paliva je vždy pro výtopnu nebo teplárnu komplikace navíc, která zvyšuje provozní stálé náklady jednak tím, že se provádí s palivem manipulace navíc, včetně potřeby dalších zaměstnanců. Dále pak je potřeba většího prostoru a technologie k ukládání paliv. Skladováním paliv může docházet k jejich degradaci, a to jak chemických, tak i materiálových vlastností. Skladování plynných paliv je velmi náročné na prostor při nezkapalněném médiu. U zkapalnění plynu lze prostor potřebný pro uložení velmi zmenšit, ale technologie stlačování je drahá a energeticky náročná. U skladování kapalných paliv záleží, jakou má palivo viskozitu. Vysoce viskózní paliva se skladují při vyšších teplotách tak, aby byla možná hydraulická přeprava s minimálními ztrátami. Udržení velkého množství paliva na vyšší teplotě zvyšuje náklady na skladování. Z důvodu bezpečnosti a ochrany životního prostředí je pod každou nádrží vyhrazen prostor na požití celého objemu při porušení stěny nádoby. Skladování pevných paliv může být provedeno zakryté nebo otevřené. U otevřeného skladu paliva dochází ke snadnému navlhávání. Biomasa se při skladování může znehodnotit navlháváním a vznikající anaerobní fermentací. Případně mohou vznikat různé plísně a může dojít k rozmožení škůdců, které lze zlikvidovat chemickým postřikem.

U skladování uhlí dochází ke drolení a při navlhnutí větší vrstvy uhlí může dojít k samozápalu. Největším problémem je ztráta výhřevnosti dlouhodobým skladováním, protože dochází k úniku prchavé hořlaviny do volného prostoru. V dnešní době není potřeba vytvářet velké sklady paliva, protože spolehlivost dodávky paliv je velmi vysoká. U vytopen či plynáren může dojít k přerušení dodávky pouze při přerušení přívodního plynovodu, protože plynovodná síť je zaokruhována a akumulace plynu je zajištěna pro celou republiku. Pro skladování kapalných paliv jsou nádrže navrženy podle cyklů a spolehlivosti dodávek. U pevných paliv je to podobné jako u kapalných, ale můžeme se setkat s případy záměrného skladování. Například, když cena biomasy je nízká, v letním období můžeme vytvořit zásoby na zimu. [1], [5]

1.3 Porovnání výhod a nevýhod DZT a CZT

Decentralizované zásobování tepla (dále DZT) je charakterizováno místní výrobou tepla přímo u spotřeby tzn. každý objekt nebo skupina objektů má vlastní zdroj tepla. Ve městech u DZT převládá vytápění zemním plynem a tepelnými čerpadly s primárním vzduchovým oběhem doplněným bivalentním zdrojem buď elektrickým, nebo plynovým. Na vesnicích se téměř vždy setkáme s DZT a převládá zde vytápění s pevnými fosilními palivy převážně s hnědým uhlím.

U větších objektů může být DZT provedeno kogenerační jednotkou, což z pohledu efektivnosti výroby energie jak tepelné tak elektrické je v současné době nejhospodárnější.

Výhodou DZT jsou nízké investiční náklady, protože kotle jsou na nižší výkony. Celá technologie je jednodušší a při použití zemního plynu se výrazně zjednodušuje automatizace provozu a je možnost téměř bezobslužného provozu. Dále jsou jednodušší opravy zařízení, které nejsou složité. Rychlost realizace je jedním z nejdůležitějších výhod DZT, které je velmi důležité pro průmyslové a komerční prostory. Další výhodou je nezávislost na vnějších podmínkách a spolehlivost výroby vlastní tepelné energie se blíží ke 100%. V případě DZT s kogenerační jednotkou je zároveň využívána velmi efektivně i elektrická energie. V tomto případě při návrhu výkonu jednotky záleží na možnostech dodávky elektrické energie do soustavy. Pokud má jednotka pokrývat jen vlastní spotřebu elektrické energie, doplňuje se bivalentním zdrojem tepelné energie. V režimu dodávky elektrické energie do soustavy lze využívat regulaci na tepelný výkon a přebytky elektrické energie dodávat do soustavy, tím může být výkon kogenerační jednotky vyšší. U DZT je velkou výhodou jednodušší právní a legislativní nařízení, například emisní limity se mění s výkonem zdroje a u malých kotlů na zemní plyn se emise nezjišťují, neměří se a neplatí se za ně. Podstatnou výhodou také je, že si

provoz vlastního tepelného zdroje určuje sám majitel podle potřeby a nemusí se ohlížet na další okolnosti.

Nevýhodou DZT je samozřejmě nižší účinnost zdrojů tepelné energie v porovnání se zdroji o několik řádů vyšších, dále buď špatná účinnost výroby elektrické energie, nebo bez výroby elektrické energie. Velkou nevýhodou DZT při použití pevných fosilních paliv dochází k velkému znečištění ovzduší ve městech, kde malé místní zdroje nejsou nijak vybaveny odsiřujícími a odpopelňujícími zařízeními pro snížení vlivu znečištění. Dále u DZT se neřeší emise oxidů dusíku a z důvodu nízkých komínových vývodů spalin dochází snáze k zamoření obydlených oblastí a narušení hygienických limitů ovzduší pro zdraví lidí.

Centralizované zásobování teplem (dále CZT) je charakterizováno centrální výrobou tepelné energie dodávající teplo do teplonosné přenosové soustavy a přenášením k jednotlivým odběratelům. Většinou se setkáme s uspořádáním: zdroj tepelné energie-výměník-horkovod-výměník-teplovod-odběratel. CZT je dále charakterizován možností spalování podřadnějších pevných fosilních paliv jako například hnědé uhlí, mazut, biomasa a u spalovny odpad.

Mezi významné výhody CZT patří vyšší účinnost kotlů a čištění spalin od škodlivých látek, které potom nevytváří znečištění městského prostředí. Možnost spalovat méně ušlechtilá paliva snižuje cenu nabízené energie. Další výhodou je, že palivo se nakupuje za velkoobchodní ceny, tím může být CZT snáze konkurenčně schopné místním zdrojům. Velkou výhodou může být i poměrně dobrá účinnost výroby elektrické energie, kdy celková účinnost výroby obou druhů energií se dostane přes 90%. Za výhodu se dá považovat i tepelná akumulace soustavy, kdy při krátkodobých výpadcích nedojde u spotřebitelů k narušení odběru tepelné energie. U CZT, kdy zdroj má více kotlů, se snáze dělá záloha na případnou poruchu či výpadek v technologii. Za výhodu lze považovat možnost v letních měsících prodávat teplo na výrobu chladu pro absorpční chladicí systémy.

Nevýhodou CZT jsou vysoké měrné náklady na výstavbu a delší likvidita investice. Nevýhodou jsou i složité právní a legislativní podmínky výstavby, které jsou největším problémem při každé realizaci. Snazší je to v případě modernizace a rozšiřování stávajícího CZT. Nevýhodou může také být nižší účinnost přenosu tepla na velké vzdálenosti, řádově desítky kilometrů, kdy řešení použitím účinnějších teplovodů je finančně neúměrné. Pro provozování CZT nelze vzhledem rozsahu technologie použít bezobslužný provoz, tím je kladen nárok na zaměstnance s technickými znalostmi. Nutnost zajišťovat stále nižší emise,

zvyšuje přídatné náklady na provoz a zhoršuje konkurenceschopnost vůči DZT. Neustálé snižování emisí posouvá některé zdroje za technicky neprovozovatelné. V případě nesplnění emisních limitů hrozí zdroji finanční penalizace. Značnou nevýhodou je nízká hodnota zatěžovatele přes letní měsíce, kdy výroba tepelné energie slouží většinou pouze pro výrobu teplé užitkové vody, a tím se provozní měrné náklady značně zvýší oproti zimní sezóně. Částečným řešením je dodávka tepla pro výroby chladu, čehož například mohou využívat velkochladírny a pivovary, pro které jen tento způsob chlazení levnější. [1], [2], [4], [5]

2 Kritérium pro hodnocení ekonomické výhodnosti investic v rozvoji teplárenství

2.1 Rozdělení hodnocení ekonomických kritérií

Výsledkem ekonomických hodnocení je nejlepší varianta investice, která zajistí nejvyšší zisk pro daný omezený objem vstupní investice. Při více technických variantách provedení slouží ekonomické hodnocení k porovnání a seřazení investic podle jejich efektivnosti. Porovnáváním více variant lze zajistit volbu nejvýhodnějšího zařízení.

Vzhledem k dlouhodobosti investice v oboru energetických zařízení je nutné respektovat zásady výpočtů v ekonomice. Jsou to hlavně výpočty peněžních toků, zahrnutí diskontu a ceny peněz, odchylky peněžních toků v budoucnosti, predikce změn příjmů a výdajů, vhodné volby času ekonomické investice, uvažování o likvidaci, nebo rekonstrukci po skončení životnosti, pohled na projekt jako na celek, nebo na dílčí investice, uvažováním úvěrů, obligací vlastních prostředků a také dotací, zahrnování daňových odpisů a úroků v době výstavby a daňové ztráty.

Ekonomická kritéria využívají statické a dynamické metody. Statické metody neuvažují proměnnou cenu peněz v plynoucím čase investičního období. Dynamické metody uvažují s touto proměnou hodnotou a jejich přesnost záleží na přesnosti odhadu dané časové změny ceny peněz. [4], [5]

Průměrná výnosnost investic (average rate of return - ARR)

Určuje podíl průměrného ročního zisku (během doby životnosti technologie) a vydaných investičních nákladů. Jedná se o snadný orientační způsob vhodný k porovnání různých variant technologie. [4], [5]

$$ARR = \frac{Z_{\text{průměrný, roční}}}{N_{\text{investiční, celkový}}} = \frac{\Delta N_{\text{celkový, průměrný, roční}}}{N_{\text{investiční, celkový}}} \quad (-) \quad (1)$$

Z = zisk

N = náklady

ΔN = rozdíl nákladů tedy úspora v důsledku ekonomizace

Doba návratnosti (pay back period - PBP)

Určuje, po jakou dobu je nutné udržet technologii v provozu, aby se splatila investovaná částka. Splátky jsou určeny úsporou nákladů, které vzniknou provozováním nové technologie, nebo velikostí zisku z provozu nové technologie. Tato kvantifikační statistická metoda není příliš vypovídající, protože se jedná o prostou dobu návratnosti bez uvažování času. Předpokládáme konstantní roční úspory, které technologie přináší (konstantní zisk z instalované technologie). [4], [5]

$$PBP = \frac{N_{\text{investiční, celkový}}}{Z_{\text{roční}}} = \frac{N_{\text{investiční, celkový}}}{\Delta N_{\text{celkový, roční}}} \quad (\text{čas v rocích}) \quad (2)$$

Čistá současná hodnota (net present value - NPV)

V této metodě výpočtu ekonomické výhodnosti zohledňujeme faktor času. NPV počítá s budoucím cashflow a udává nám, jaký objem finančních prostředků nám investice ve zvolené životnosti vydělá, nebo jakou částkou nás zatíží. V této metodě se neřeší hodnota společnosti, řeší se jen finanční tok, který nám investice přinese. Metoda NPV je prioritně pro krátkodobé až střednědobé hodnocení aktiv společnosti, není pro hodnocení strategických projektů.

Hodnota NPV je nejvíce ovlivněna zvolenou délkou životnosti investice. Posun v životnosti o několik let může změnit původně ztrátovou na ziskovou investici a i naopak. Volba a odhad doby životnosti je v této metodě klíčovým parametrem. Nejčastěji se uvažuje skutečná životnost technologie, nepočítá se s účetní dobou odpisu investice. Protože počítáme s budoucími finančními kroky, zohledňujeme i míru inflace a zhodnocení kapitálu. U výpočtu NPV budoucí finanční toky ponížujeme o diskont. Teoretický diskont nám udává nejvyšší možný výnos alternativní investice (např. dluhopisy, fondy, půjčky) k investici posuzované. V podstatě se jedná o výnos, o který přicházíme při realizaci uvažované investice v porovnání s jinou investicí. [4], [5], [6]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (3)$$

CF_t = je celkový peněžní tok v daném období

r = je diskont

t = dané časové období

n = doba životnosti

Vnitřní úroková míra (internal rate of return - IRR)

IRR nám udává, kolik vyděláme procent na sledované investici při zohlednění časové hodnoty financí.

Pokud dosadíme $NPV = 0$, IRR je pak diskontem pro danou investici. Metodu výpočtu lze použít pouze pro případ, kdy záporné finanční toky přecházejí v kladné pouze jednou. Znaménko souhrnných finančních toků se může měnit po dobu uvažované investice pouze jedenkrát. Pro IRR je rovněž zásadní správný odhad budoucích finančních toků vyplývajících z uvažované investice. [4], [5], [7]

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1 + IRR)^t} - IN = 0 \quad (4)$$

IN = je vstupní investice

2.2 Zhodnocení z ekonomických kritérií

Z vybraných ekonomických kritérií pro posouzení ekonomické návratnosti investic jsem vybral metodu NPV, protože investice do výtopy je velmi nákladná a dlouho trvajícího charakteru. Předpokládáme pro výpočet minimálně 15 let do první velké generální opravy. Vzhledem k dlouhé době investičního období je nutné použít dynamické metody s uvažováním změny hodnoty peněz v čase. Dále je nutné uvažovat rostoucí náklady se stářím zařízení a náklady na udržení efektivnosti a ekologičnosti.

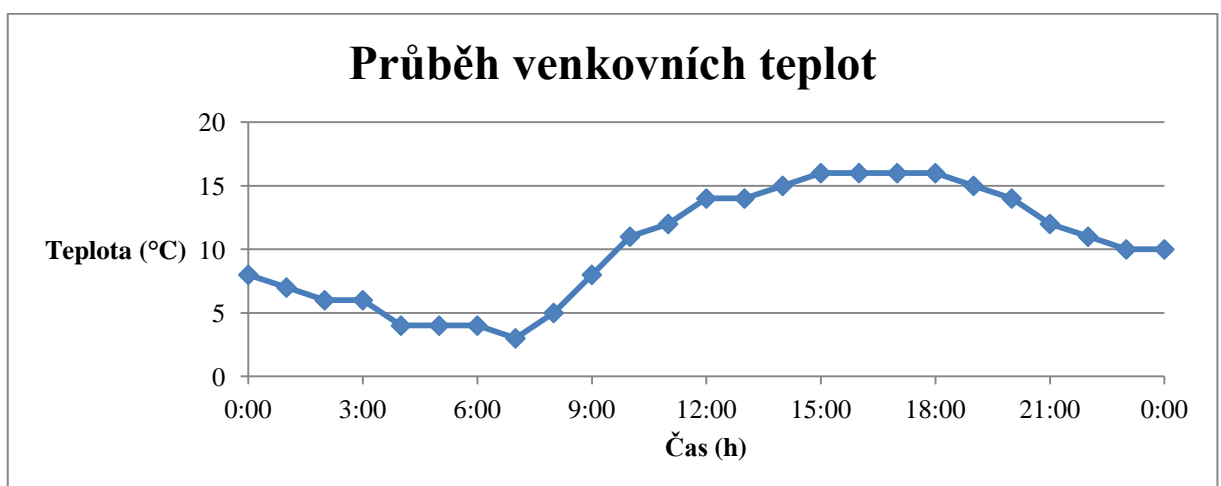
3 Model pro predikci hodinové křivky dodávek tepla a očekávané křivky čáry trvání výkonu

Model predikce odběru tepelného výkonu slouží pro lepší předvídatelnost očekávaného výkonu potřebného pro koncové odběratele zahrnující důležité faktory způsobující nepravidelnost odběru tepelného výkonu. Model je uzpůsoben pro zadávání nejznatelnějších proměnných faktorů, jak vnějších klimatických jevů, tak požadavky odběratelů. V modelu jsou simulovány nejzákladnější typizované odběry jako jsou rodinné domy, panelové domy, obchodní centra, školy, administrativní budovy, skladiště, chladírny, mrazírny a odběry TUV. Doladění jednotlivých typů odběratelů lze pomocí násobících koeficientů. Modelem lze nasimulovat libovolný den pro libovolné vnější a vnitřní podmínky, lze využít i předpovědi meteorologů k lepší a přesnější predikci očekávaného tepelného zatížení.

3.1 Vstupní hodnoty modelu

Veškeré vstupní proměnné hodnoty se zadávají do modelu v denním diagramu po hodinovém odstupňování.

Základním proměnným vstupním vnějším parametrem je venkovní teplota, která se může zadávat z naměřených hodnot nebo z meteorologické předpovědi. Dalším vstupním proměnným parametrem je rychlost větru. Hodinová intenzita slunečního záření je vstupním parametrem, který je dále ovlivňován ročním obdobím a zadává se i hodinová oblačnost.

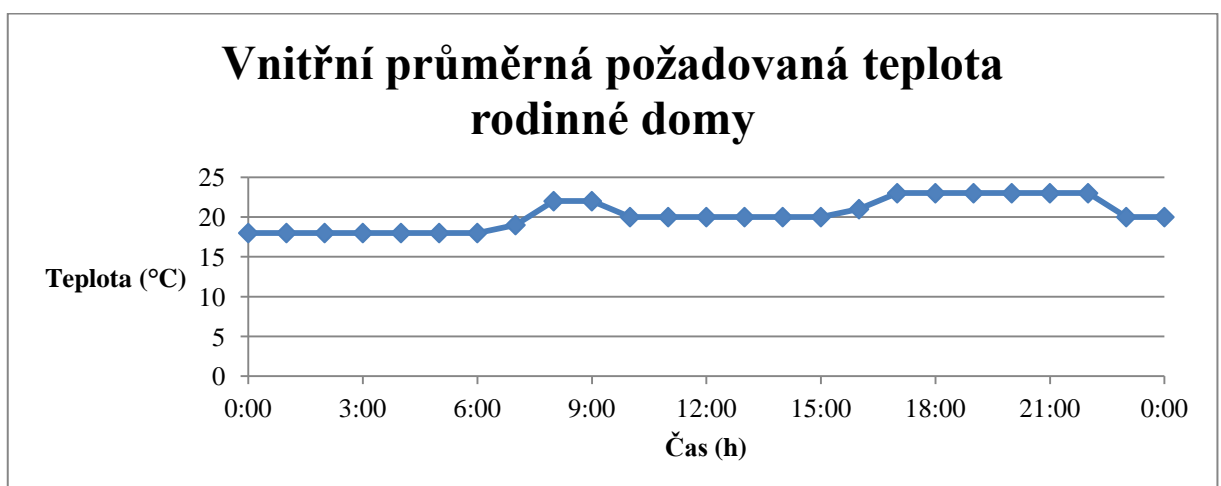


Graf 3.1 Příklad denního průběhu teplot

Základním proměnným vstupním vnitřním parametrem je požadovaná vnitřní teplota vytápěného objektu. Pro výpočet tepelného zatížení je zadáván neproměnný vstupní parametr tepelného příkonu objektu při venkovní teplotě -20°C a vnitřní teplotě 20°C s nulovou rychlostí vzduchu bez přídavků tepelného výkonu ze slunečního záření. U vybraných objektů s velkou hustotou lidí je navíc uvažován lidský vyzařovaný výkon. Dále jsou vnitřní parametry doplněny o koeficienty vlivu ztrát prouděním a koeficientem přídavku slunečního záření, které respektují odlišnosti jednotlivých objektů. U chladírny, případně mrazírny, je to koeficient absorpčního chlazení.

V modelu jsou typizované základní druhy objektů, které může výtopna zásobovat teplem. Každý z těchto objektů má různý požadavek na množství tepla v různém čase a jinak závislé průběhy tepelných ztrát na venkovních podmínkách. V modelu jsou typizované objekty brány jako soustava většího množství dílčích typizovaných objektů a vstupní hodnoty jsou průměrované, jelikož nás zajímá celkový výkon pro výtopnu, nikoliv dílčí výkon konkrétního rodinného domu.

Rodinný dům je charakteristický proměnnou požadovanou teplotou dle požadavků lidí podle jejich vlastní tepelné pohody s možností vypínání topení, nebo jeho omezení v době jejich nepřítomnosti. Například je charakteristický i menším koeficientem ztrát prouděním, který je menší z důvodu výšky stavby, tak i dokonalejší izolaci.



Graf 3.2 Příklad požadované vnitřní průměrné teploty

Panelové domy jsou charakteristické méně proměnnou vnitřní teplotou, která se většinou reguluje na dvě hodnoty: noční a denní. Velké rozdíly teplot mezi byty mohou narušovat tepelnou pohodu ostatních nájemníků, jelikož vytápěcí soustava byla navržena jako celek s uvažováním ztrát tepla pouze vnějšími stěnami. Koeficient ztrát prouděním bude výrazně větší vzhledem k výškám objektů. Koeficient vlivu přídavného slunečního záření bude větší vzhledem k větší ozařované ploše. Vliv natočení budovy není zapotřebí uvažovat, jelikož se opět jedná o množství objektů, které jsou libovolně natočené, a tím nám stačí průměrný koeficient.

U obchodního centra se vzhledem k malému počtu objektů koeficienty musí upravit podle příslušného provedení objektu. Vzhledem k velké návštěvnosti je nutné uvažovat lidský vyzařovaný výkon, který je dán aktivitou a biologickou funkcí lidského těla. Pro lepší odhad je potřeba znát průměrnou návštěvnost v hodinách a průměrný lidský vyzařovaný výkon při chůzi.

Škola je další případ budovy, kde je zapotřebí zahrnout lidský vyzařovaný výkon. U škol vzhledem k povinné docházce lze celkem snadno odhadnout množství žáků, průměrný vyzařovaný výkon se určí podle typu školy. Průběh požadovaných vnitřních teplot je charakteristický dobou výuky.

Administrativní budovy, jako například kanceláře a úřady, jsou charakteristické danou denní pracovní dobou a množstvím zaměstnanců. Doplňujícím faktorem pro zpřesnění tepelného výkonu je nutno uvažovat, že každý zaměstnanec v administrativní budově má svůj vlastní počítač o minimálním výkonu 100 wattů. Výsledný výkon není zanedbatelný.

Skladiště je poměrně jednoduše predikovatelné, protože se vytápí na konstantní teplotu a koeficienty ztrát prouděním závisí nejvíce na typu střechy a jejím zaizolování.

Výrobní závody jsou těžko předvídatelné a jejich odběr tepla závisí na využívání tepla. Pokud průmyslový závod využívá teplo pro výrobní účely, je částečným měřítkem spotřeby tepla průměrná denní výroba výrobků, ke které je zapotřebí započíst tepelné ztráty budovy. Průmyslové závody, směnné nebo nesměnné, většinou znají svůj průběh požadovaného tepelného odběru na výrobu, a tak se do modelu zadává přímo charakteristika podle režimu výroby. Ztráty tepla budovy se počítají stejně, ale je nutné odečíst teplo uvolněné z výrobních procesů, které tyto ztráty snižují.

Zvláštním odběrným objektem jsou chladírny a mrazírny, které jsou vybaveny absorpční jednotkou a odebírají teplo za účelem výroby chladu. Výhodou je průběh diagramů tepelného odběru, jelikož množství tepla potřebné pro chlazení roste s rostoucí venkovní teplotou opačně, než je tomu u ostatních objektů, kde požadovaná teplota je značně vyšší. Například u chladírny může dojít v jednom dni k využívání tepla pro vytápění přes noc a přes den pro chlazení. Pokud je do teplofikační soustavy připojena chladírna nebo mrazírna, může zvýšit zatěživost soustavy. Je nutné uvažovat koeficient respektující účinnost absorpční jednotky. Sluneční energie v případě vyšších teplot než jsou požadované, zvyšuje potřebný chladicí výkon a v tomto případě ztráty prouděním zase snižují potřebný chladicí výkon.

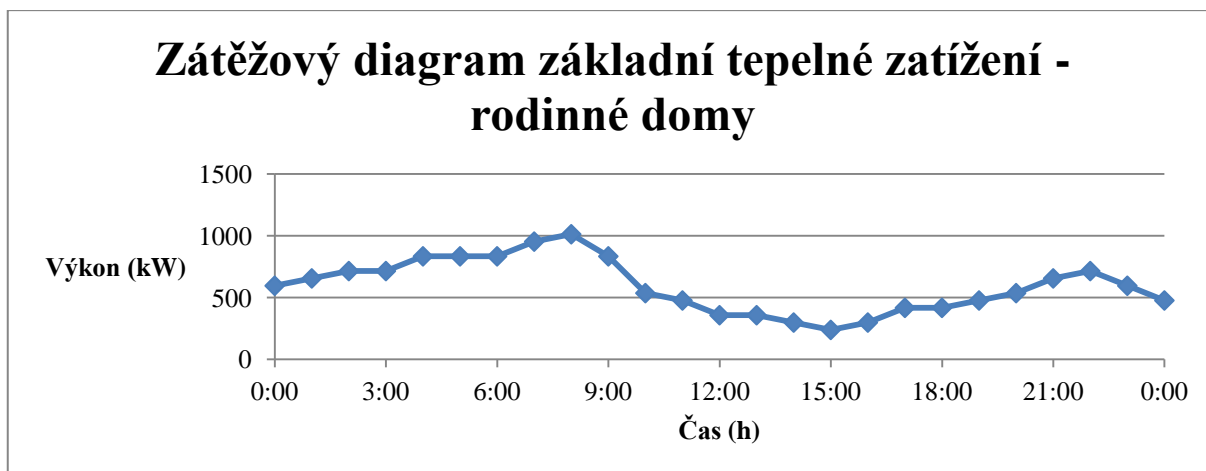
Zadávání vstupních parametrů																										
Čas	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
Venkovní teplota (°C)	8	7	6	6	4	4	4	3	5	8	11	12	14	14	15	16	16	16	16	16	15	14	12	11	10	10
Rychlost větru (m/s)	1	2	2	1	2	2	2	2	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2
Obláčnost	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,75	0,5	0,5	0,5	0,75	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Doba slunečního svitu	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,6	0,8	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0,8	0,6	0,3	0	0	0	0

Rodinné domy																										
Čas	0:00	1:00	2:00	3:00	4:00	5:00	6:00	7:00	8:00	9:00	10:00	11:00	12:00	13:00	14:00	15:00	16:00	17:00	18:00	19:00	20:00	21:00	22:00	23:00	0:00	
Venkovní teplota (°C)	8	7	6	6	4	4	4	3	5	8	11	12	14	14	15	16	16	16	16	16	15	14	12	11	10	10
Rychlost větru (m/s)	1	2	2	1	2	2	2	2	2	3	4	5	5	5	5	5	5	5	4	4	4	3	3	2	2	2
Vliv slunečního záření	0	0	0	0	0	0	0	0,3	0,6	0,8	1	1	1	0,75	0,5	0,5	0,75	1	1	0,8	0,6	0,3	0	0	0	0
Vytápěné na teplotu (°C)	18	18	18	18	18	18	18	19	22	22	20	20	20	20	20	20	21	23	23	23	23	23	23	20	18	18
Maximální tepelné ztráty (kW)	2500																									
Koeficient ztrát prouděním	0,2																									
Koeficient slunečního záření	0,15																									
Cellkové ztráty (kW)	607	681	743	729	867	867	867	867	947	959	743	385	324	180	233	218	149	159	233	225	339	440	634	757	619	495

Tabulka 3.1 Zadávání vstupních hodnot a výpočet ztrát objektu

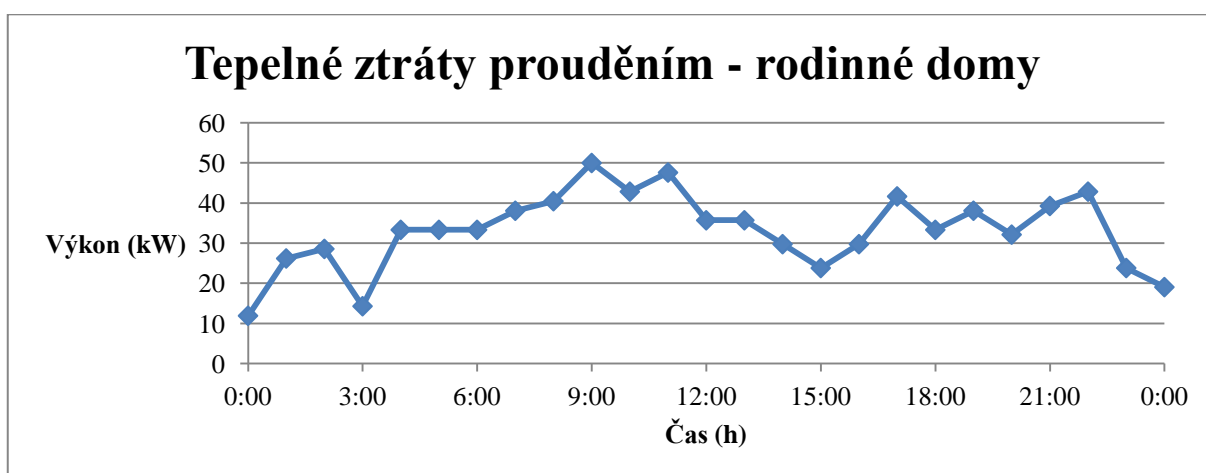
3.2 Výpočet tepelného výkonu

Základní výpočet tepelného výkonu je prováděn ze známé hodnoty tepelných ztrát objektů pro danou venkovní a vnitřní teplotu. Model maximální ztráty přepočítává podle skutečného teplotního spádu dané skutečnou venkovní teplotou a požadovanou vnitřní teplotou v hodinových intervalech. Závislost ztrát na rozdílu teplot je lineární, protože se nepožaduje absolutní přesnost.



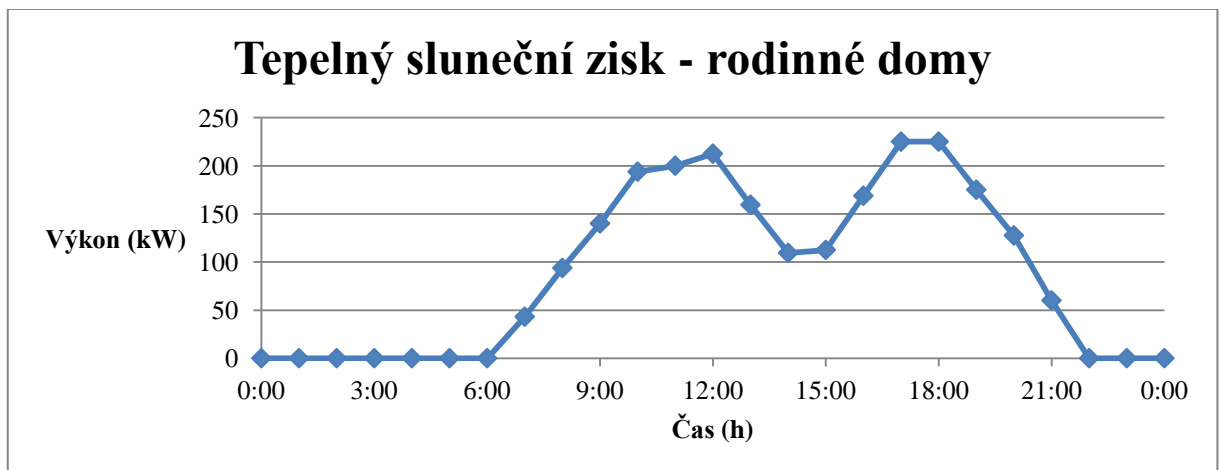
Graf 3.3 Zátěžový diagram základní tepelné zátěží - rodinné domy

Ztráty prouděním jsou pak dle zkušenosti upravovány koeficientem ztrát prouděním. Ztráty prouděním jsou závislé na rychlosti větru. V základu je nastaveno, že s jedním metrem za sekundu rychlosti větru rostou základní ztráty objektu o jedno procento. Za situace, kdy venkovní teplota je vyšší než požadovaná vnitřní, tak ztráty prouděním se odečítají od slunečního energetického zisku.



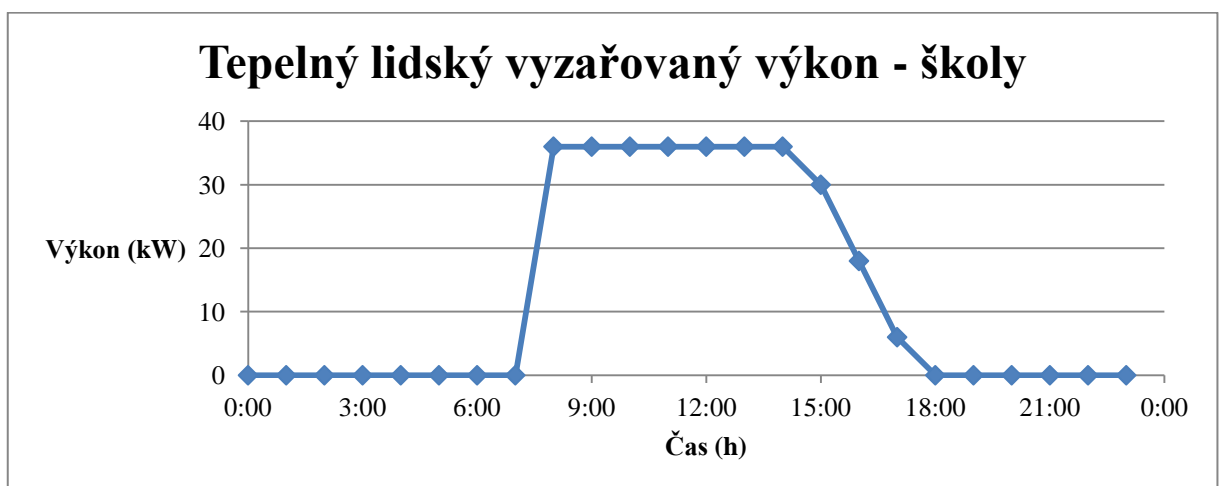
Graf 3.4 Tepelné ztráty prouděním - rodinné domy

Přídavek od slunečního záření je závislý na průběhu slunce, tedy na ročním období a dále na oblačnosti, která případné přídavky velmi snižuje. U výpočtu je sluneční přídavek počítán ze základního zatížení násoben koeficientem intenzity slunečního záření, dále pak násoben výslednou oblačností s uvažováním průběhu slunce a v poslední části násoben poměrnou hodnotou vztaženou na skutečnou a maximální venkovní teplotu. Poměrná hodnota se rovná jedné při venkovní teplotě 40 °C. Výsledná poměrná hodnota je linearizována do nejnižší uvažované teploty -20 °C. Tímto zjednodušením lze respektovat po zadání správných koeficientů sluneční tepelné přídavky.



Graf 3.5 Tepelný sluneční zisk – rodinné domy

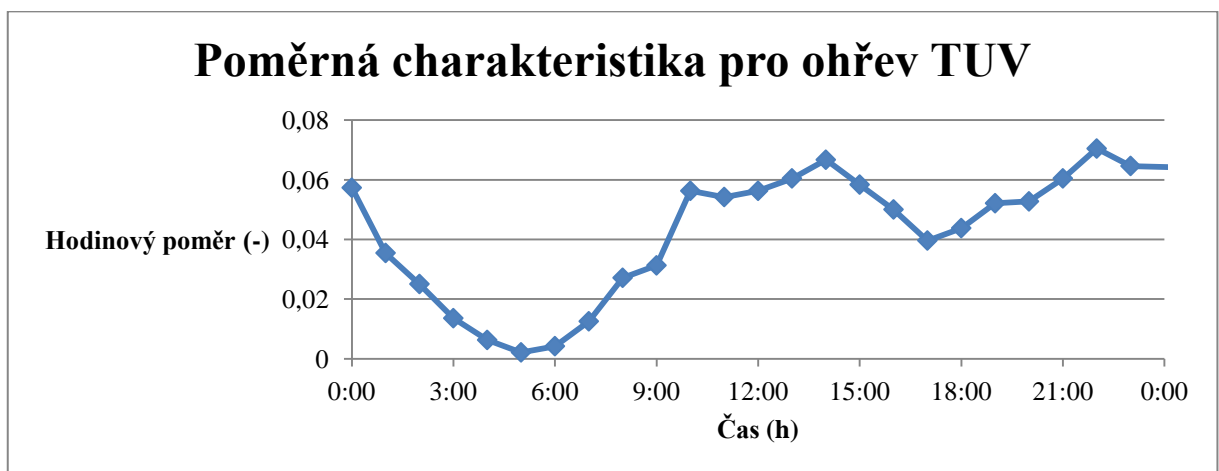
Dále pro zpřesnění odběru tepelného výkonu jsou u budov zahrnuty přídavky tepelného lidského vyzařovaného výkonu, které jsou počítány z průměrné hodnoty vyzařovaného výkonu násobené průměrnou hodinovou návštěvností. U administrativních budov je k vyzařovanému výkonu zaměstnanců připočítán i výkon jejich osobního pracovního počítače.



Graf 3.6 Tepelný lidský vyzařovaný výkon - školy

Pro výpočet u chladírny (mrazírny) s absorpčním chlazením je zahrnuta účinnost absorpční jednotky zadávána v koeficientu absorpčního chlazení. Výsledná hodnota výkonů může být pro stejný tepelný spád rozdílná mezi chlazením a vytápěním.

Pro výpočet tepelné energie pro ohřev teplé užitkové vody byla použita poměrná charakteristika odběru z reálného provozu a použita hodnota průměrné spotřeby tepelné energie na ohřev TUV na obyvatele za den. Za průměrnou hodnotu bylo uvažováno 5 kWh tepelné energie na osobu na den. Výsledný graf vypočítaný z poměrné charakteristiky je v podkapitole výstupní hodnoty.



Graf 3.7 Poměrná charakteristika pro ohřev TUV

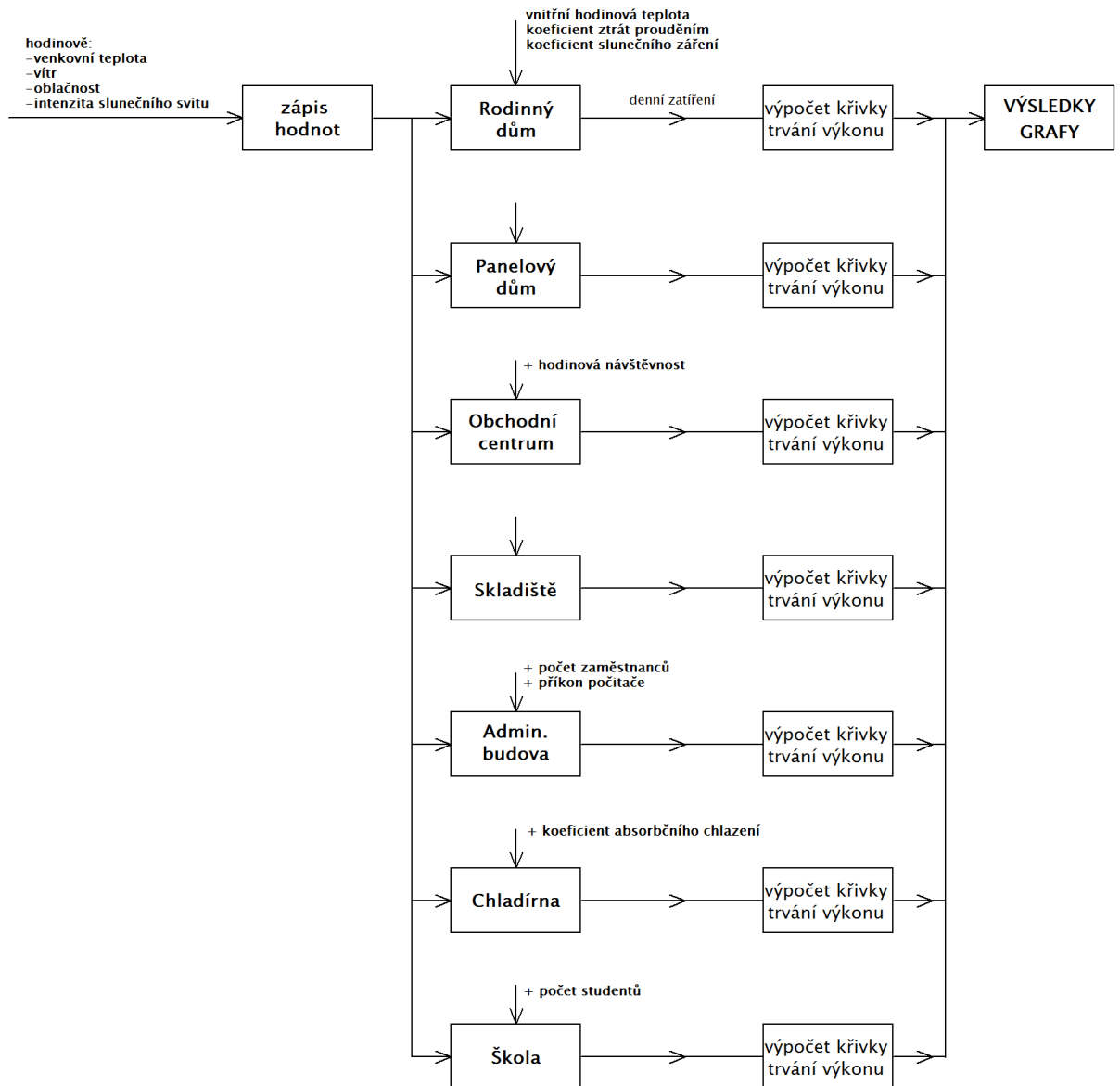


Schéma 3.1 Postup a vstupní proměnné výpočtu

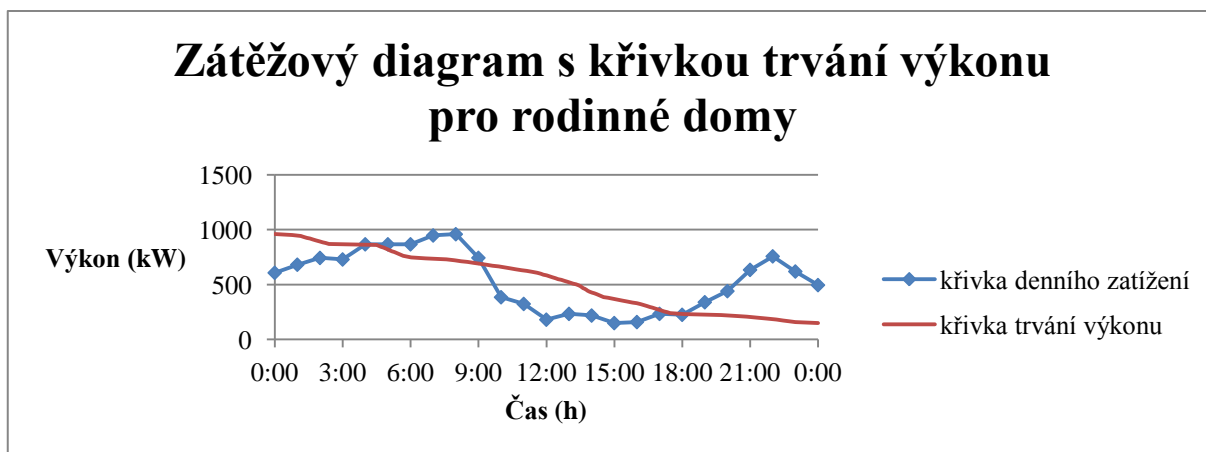
3.3 Výpočet křivky trvání výkonu

Z výpočtů tepelných ztrát objektu jsou hodnoty zobrazeny ve výsledných denních diagramech zatížení. Diagramy mají 25 hodnot, které jsou mezi sebou lineárně propojené. Ze 24 linearizovaných úseků je pomocí výpočetní metody soustavy dvou rovnic o dvou neznámých vypočtena obecná rovnice přímky. Z obecné rovnice přímky je pak získáno pro každou přímku po roznásobení lineárně odstupňovanými hodnotami větší množství bodů tak, aby se bez velké chyby dala provést integrace sečtením bodů o známých časových délkách. Množství bodů je porovnáváno s hodnotami mezi maximem a minimem zadaných hodnot. Hodnoty, které jsou menší, než je porovnávaná hodnota, se načtou a příslušný počet se vynásobí časovou velikostí daného bodu. Pro jednotlivé body od maxima do minima s příslušnými hodnotami času vynesou do grafu, který vykresluje křivku trvání výkonu. Veškeré výpočty, zadávání hodnot a vykreslování grafů je provedeno v nástroji MS-excel s použitím vnitřních funkcí a programového vybavení.

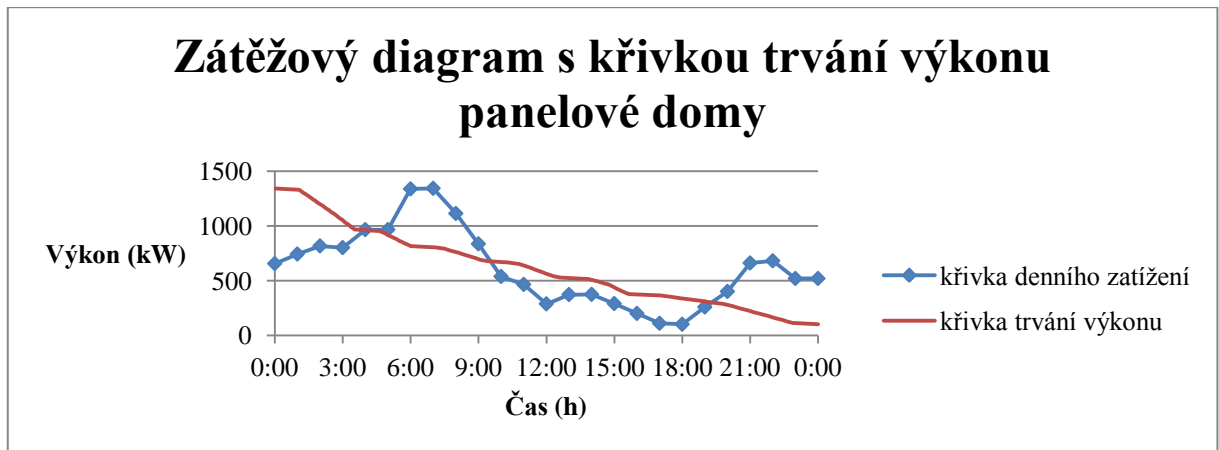
3.4 Výstupní hodnoty modelu

V této podkapitole je popis výstupních hodnot modelu pro jedno vstupní zadání.

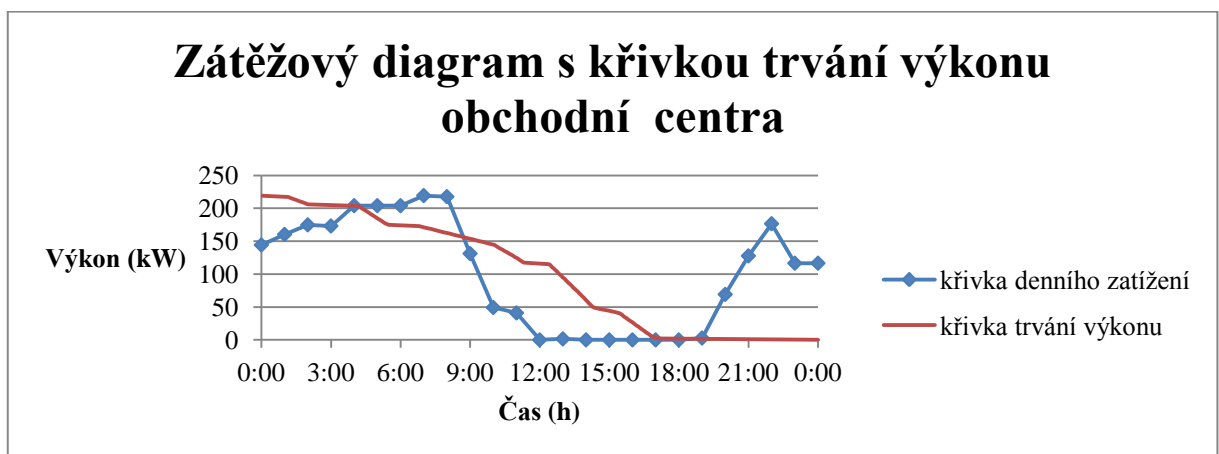
Následující výsledky jsou vymodelovány pro zadané vstupní parametry objektů o příslušných ztrátových tepelných výkonech a vstupní hodnoty venkovní teploty, oblačnosti a rychlosti větru jsou vzaté z předvídaných hodnot pro skutečný den z internetového portálu norského hydrometeorologického ústavu www.yr.no. [8]



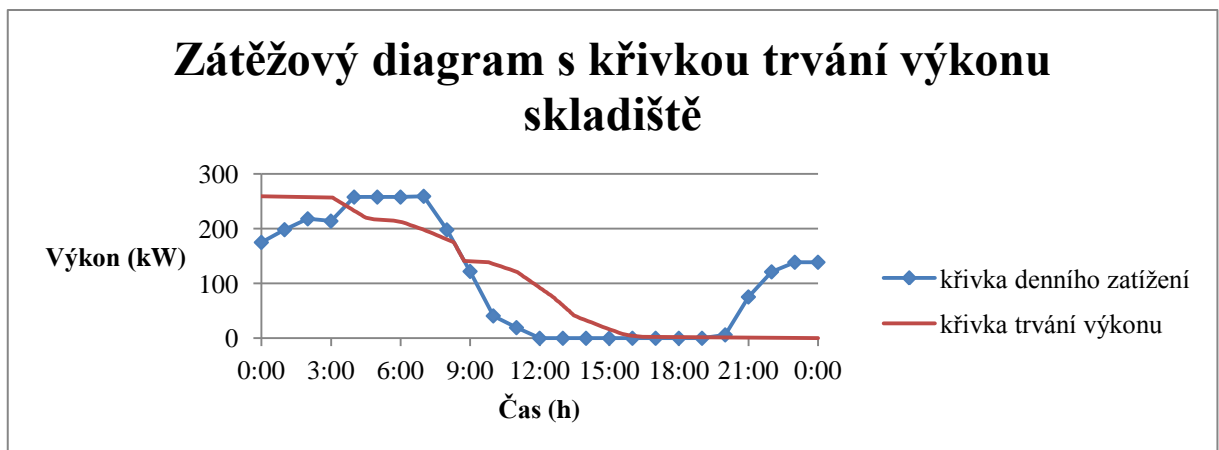
Graf 3.8 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu pro rodinné domy



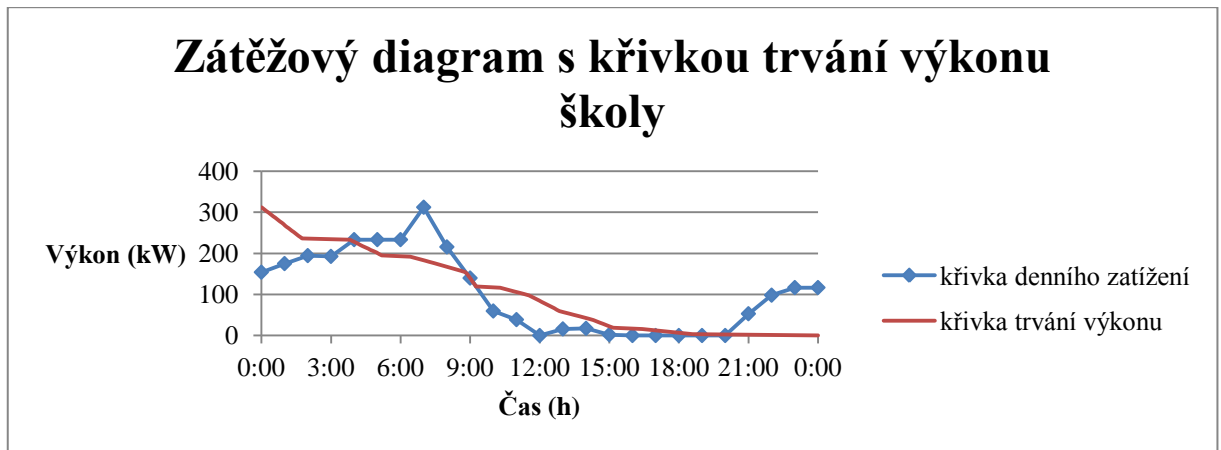
Graf 3.9 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu panelové domy



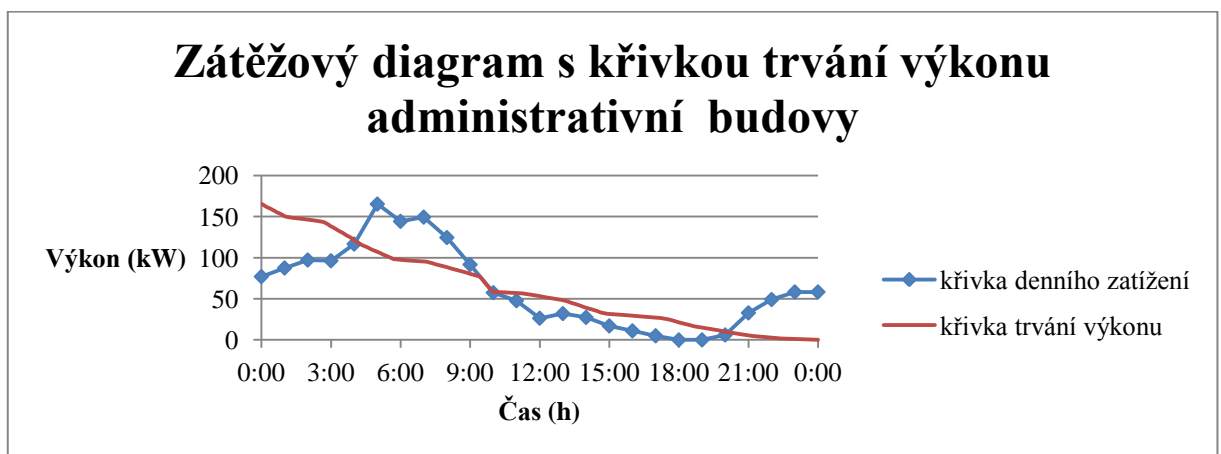
Graf 3.10 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu obchodní centra



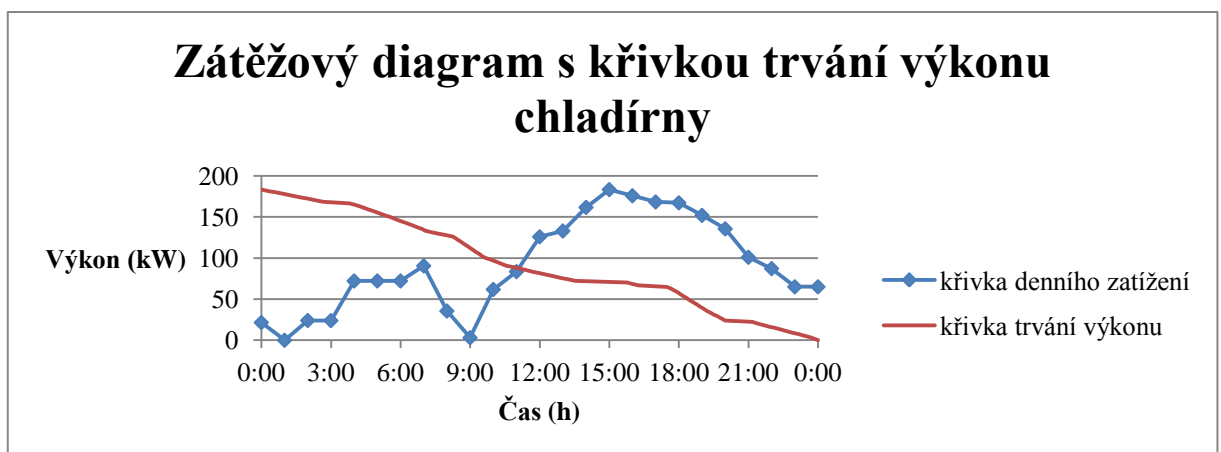
Graf 3.11 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu skladiště



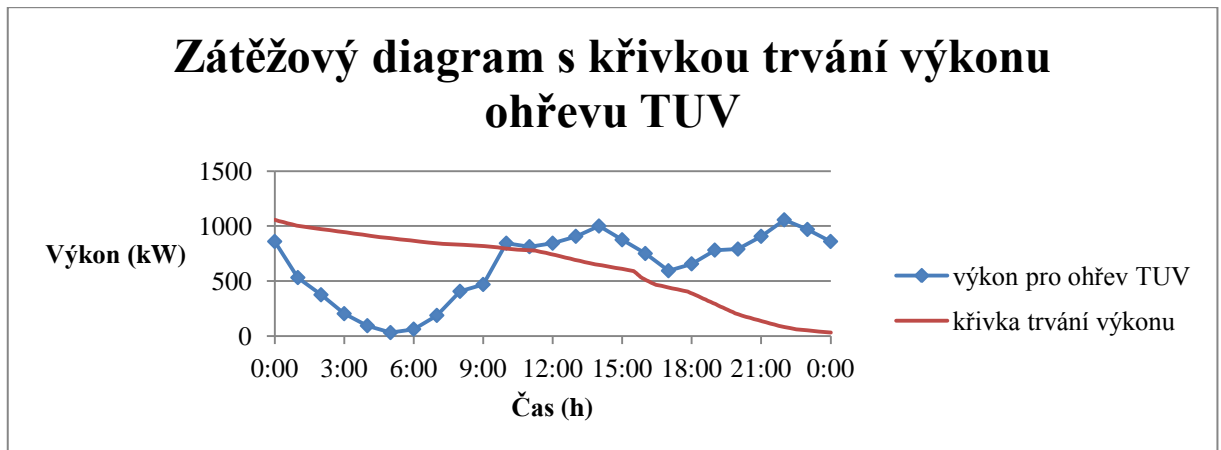
Graf 3.12 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu školy



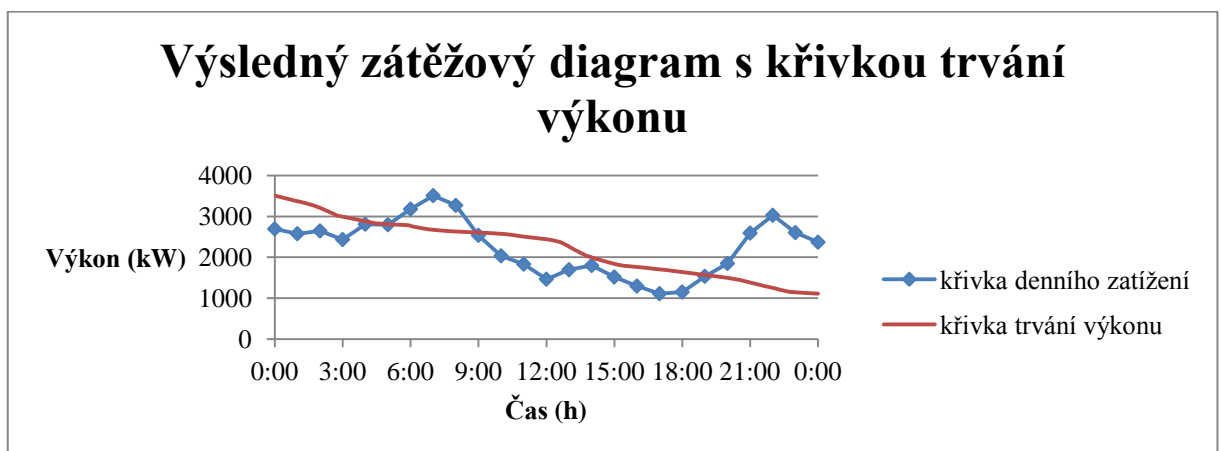
Graf 3.13 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu administrativní budovy



Graf 3.14 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu chladírny



Graf 3.15 Zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu ohřevu TUV



Graf 3.16 Výsledný zátěžový diagram s křivkou trvání výkonu

3.5 Zhodnocení a další možnosti modelu

Model pro predikci tepelného zatížení je nástroj, který může zlepšit efektivitu výtopny ať z pohledu využívání akumulace teplofikační sítě, nebo přídavné akumulace, tak i možnosti včasného najíždění a odstavování kotlů za účelem provozu kotle s nejnižší výrobní cenou za tepelnou energii. Přesnost modelu závisí na množství ovlivňujících faktorů a respektování mnoha stochastických jevů, které mohou a nemusí mít mezi sebou vzájemné vazby. Přesnost samozřejmě závisí na určení průměrných vstupních hodnot a na správných údajích od odběratelů. Důležitou částí je pak doladování modelu pomocí poměrných koeficientů z reálných naměřených hodnot. Modelem musíme respektovat pracovní dny, pracovní den před víkendem, nebo svátkem, soboty, neděle a svátky. Model neuvažuje ztráty v teplofikační síti včetně výměníků a ztráty větráním. Ztráty větráním jsou v dnešní době řešeny rekuperačními výměníky vzduchu, které se instalují převážně do velkých budov a zčásti i do rodinných domů. V modelu neuvažují vliv vlhkosti venkovního vzduchu na ztráty objektů a vliv změn tlaku vzduchu. Model nepočítá s akumulací budov, vypočítává okamžitou hodnotu podle tepelného spádu ve stěnách a zahrnuje další vlivy, které jsou popsány v této kapitole. Model počítá hodnoty po hodinách a výsledky jsou mezi hodinami lineárně aproximované, což na orientační modelování plně dostačuje.

Další možností nastavby modelu je rozšíření o pravděpodobnostní model, který bude respektovat údaje z naměřených hodnot a vzájemné vazby mezi vstupními parametry, které se mohou mezi sebou ovlivňovat.

4 Výpočet tepelného schématu zdroje s doplněním točivé redukce

4.1 Varianty točivé redukce

Točivá redukce zajišťuje snižování tlaku a teploty páry na požadovanou úroveň. Odebranou energii dostaneme v podobě mechanické energie na hřídeli turbíny. Točivou redukcí můžeme použít jako cílenou redukcí parametrů páry, která se původně redukovala nevhodně škrcením a ochlazováním vstřikem vody, nebo lze točivou redukcí použít jako levnější točivý stroj pro pokrytí vlastní spotřeby výtopny vybavené parním kotlem. Točivá redukce je konstruována jako rychloběžná turbína malých rozměrů, která je většinou jednotělesová a zpracovává celý tepelný spád na jednom stupni. Jedná se o Lavalovu turbínu, která je rovnotlaká. Z důvodu potřebné velké úhlové rychlosti oběžných lopatek k zajištění dostatečné termodynamické účinnosti turbíny, je většinou mezi turbínou a generátorem převodovka, zajišťující přímé připojení generátoru na síť. Bezpřevodovková varianta je možná s vysokofrekvenčním generátorem, který pak musí být připojen k síti přes výkonový frekvenční měnič. [2], [3], [5]

4.2 Termodynamický výpočet, teplotní modul

Výstupní parametry páry z kotle jsou:

Tlak páry	$p_1=3$ MPa
Teplota páry	$t_1=350$ °C
Entalpie páry	$i_1=3116$ kJ/Kg
Tep. výkon	$P_{tep}=10,7$ MW

Vstupní parametry vody do kotle jsou:

Teplota vody	$t_{vv}=75$ °C
Entalpie vody	$i_{vv}=315$ kJ/kg

Parametry výměníku:

teplota výstupní vody	$t_{v1}=160$ °C
teplota vstupní vody	$t_{v2}=70$ °C

Hodnoty entalpií jsou získány z i-s diagramu, který je přiložen v příloze a překontrolovány v programu TVVP. Pro následující výpočet je na konci kapitoly přiloženo zjednodušené tepelné schéma. [9]

Z entalpií vstupní vody a výstupní páry z kotle vypočítáme entalpický spád na kotli.

$$\Delta i_K = i_1 - i_{vv} \text{ (kJ/kg)} \quad (5)$$

Kde: i_1 = entalpie výstupní páry z kotle

i_{vv} = entalpie vstupní vody do kotle

Δi_K = entalpický spád předaný vodě a páře v kotli

$$\Delta i_K = 3116 - 315 = 2801 \text{ kJ/kg}$$

Z rozdílové entalpie a tepelného výkonu kotle určíme hmotnostní průtok výstupní páry.

$$M_K = \frac{P_{tep} \cdot 3600}{\Delta i_K} \text{ (kg/h)} \quad (6)$$

Kde: M_K = hodinový hmotnostní průtok páry z kotle

P_{tep} = tepelný výkon kotle (kW)

$$M_K = \frac{10700 \cdot 3600}{2801} = 13752 \text{ kg/h}$$

Z vypočítaného hodinového hmotnostního průtoku určíme při známém elektrickém požadovaném výkonu asynchronního motoru spojeným s točivou redukcí a známých účinností soustrojí, ideální hodnotu entalpického spádu respektující výsledný tlak za turbínou při polytropické expanzi na turbíně. [3,9]

$$\Delta i^{ad} = \frac{P_g \cdot 3600}{\eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{TD} \cdot M_K} \text{ (kJ/kg)} \quad (7)$$

Kde: η_m = mechanická účinnost respektující ztráty v ložiskách a v převodovce

η_g = elektrická účinnost generátoru

P_g = elektrický výkon na svorkách generátoru (kW)

η_{TD} = termodynamická vnitřní účinnost parní turbíny

Δi^{ad} = ideální entalpický spád při adiabatické expanzi

$$\Delta i^{ad} = \frac{200 \cdot 3600}{0,93 \cdot 0,97 \cdot 0,5 \cdot 13752} = 116,1 \text{ kJ/kg}$$

Po odečtení ideálního adiabatického spádu od vstupní entalpie získáme výslednou entalpii páry po adiabatické expanzi v turbíně.

$$i_2^{ad} = i_1 - \Delta i^{ad} \text{ (kJ/kg)} \quad (8)$$

Kde: i_2^{ad} = hodnota entalpie ideální adiabatické expanze

$$i_2^{ad} = 3116 - 116,1 = 2999,9 \text{ kJ/kg}$$

Skutečnou hodnotu výstupní entalpie z turbíny po polytropické expanzi získáme po odečtení zužitkovaného tepelného spádu v turbíně od vstupní entalpie turbíny.

$$i_{2 \text{ skut}} = i_1 - \eta_{TD} \cdot \Delta i^{ad} \text{ (kJ/kg)} \quad (9)$$

Kde: $i_{2 \text{ skut}}$ = skutečná hodnota výstupní entalpie z turbíny

$$i_{2 \text{ skut}} = 3116 - 0,5 \cdot 116,1 = 3057,95 \text{ kJ/kg}$$

Pro hodnotu i_2^{ad} odečteme v i-s diagramu hodnotu tlaku páry, která je $p_2 = 1,915$ MPa. Z hodnoty tlaku a entalpie na výstupu z turbíny zjistíme na i-s diagramu příslušnou skutečnou výstupní teplotu páry, která činí $t_2 = 313,7$ °C.

Výpočet tepelné účinnosti na výrobu elektrické energie bez uvažování kompresní práce napáječky a při uvažování polytropické expanzi v turbíně. [3,9]

$$\eta_{\text{tepelná}} = \frac{i_1 - i_{2 \text{ skut}}}{i_1 - i_{vv}} \text{ (-)} \quad (10)$$

Kde: $\eta_{\text{tepelná}}$ = účinnost přeměny tepelné energie na elektrickou energii

$$\eta_{\text{tepelná}} = \frac{3116 - 3057,95}{3116 - 315} = 0,02 \text{ (-)}$$

Měrná spotřeba páry na výrobu elektrické energie je dána podílem hmotnostního hodinového průtoku páry a elektrickým výkonem generátoru.

$$m_p = \frac{M_K}{P_g} \quad (\text{kg/kWh}) \quad (11)$$

Kde: m_p = měrná spotřeba páry na vyrobenou elektrickou energii

$$m_p = \frac{13752}{200} = 68,76 \text{ kg/kWh}$$

Měrná spotřeba tepla pro výrobu elektrické energie udává množství tepelné energie potřebné pro výrobu jedné kilowatthodiny.

$$q_e = m_p \cdot \Delta i^{ad} \cdot \eta_{TD} \quad (\text{kJ/kWh}) \quad (12)$$

Kde: q_e = měrná spotřeba tepla na výrobu jedné kilowatthodiny

$$q_e = 68,76 \cdot 116,1 \cdot 0,5 = 3991,5 \text{ kJ/kWh}$$

Potřebný hmotnostní průtok v sekundárním okruhu výměníku vypočítáme z teplotních rozdílů vstupní a výstupní vody a z předávaného tepelného výkonu z primární části okruhu se započítáním ztrát tepelného spádu. [3,9]

$$M_h = \frac{(i_{2 \text{ skut}} - i_{vv}) \cdot M_K \cdot \eta_v}{c_v \cdot (t_{v1} - t_{v2})} \quad (\text{t/h}) \quad (13)$$

Kde: M_h = hmotnostní průtok vody přes sekundární okruh výměníku

η_v = účinnost výměníku

c_v = tepelná kapacita vody

t_{v1} = teplota výstupní vody z výměníku

t_{v2} = teplota vstupní vody do výměníku

$$M_h = \frac{(3057,95 - 315) \cdot 13,752 \cdot 0,99}{4,180 \cdot (160 - 70)} = 99,2 \text{ t/h}$$

Teplárenský modul je ukazatel poměrné výroby elektrické energie k tepelné energii.

$$\sigma = \frac{P_g}{P_{tk} \cdot \eta_r - \frac{P_g}{\eta_m \cdot \eta_g}} \quad (-) \quad (14)$$

Kde: σ = teplárenský modul

P_{tk} = tepelný výkon kotle

η_r = účinnost tepelných rozvodů ve výtopně zahrnující ztráty včetně výměníku

$$\sigma = \frac{200}{10700 \cdot 0,96 - \frac{200}{0,97 \cdot 0,93}} = 0,02 \quad (-)$$

4.3 Zhodnocení a výhodnost točivé redukce

V tomto případě se jedná o instalaci točivé redukce pro krytí vlastní spotřeby, kvůli které by bylo nutné vybavit výtopnu parním kotlem místo horkovodního. Patříčnou technologii je potřeba doplnit dalšími zařízeními, které musíme do ekonomického zhodnocení započítat. Pro parní kotel je nutná kvalitnější úpravna vody než pro horkovodní, výtopna musí být vybavena výměníkem pára/horká voda, redukční stanicí pro případ, že bude točivá redukce v poruše. Nutné je i pořízení dražší napáječky místo jednoho oběhového čerpadla a doplnění oběhového čerpadla do sekundárního horkovodního rozvodu za výměníkem. Cena parního kotle je vyšší než horkovodního a údržba je nákladnější.

Pro daný případ, kdy je možnost dodávat technologickou páru pro průmyslový odběr, je varianta s parním kotlem proti horkovodnímu jednoznačně výhodná. Cena tepla v technologické páře je přibližně 300 Kč/GJ, protože výroba páry by v průmyslovém podniku probíhala v parním kotli na zemní plyn, kde by cena výroby byla mnohem vyšší než je tomu u parního biomasového kotle. Důležitá je garance odběru.

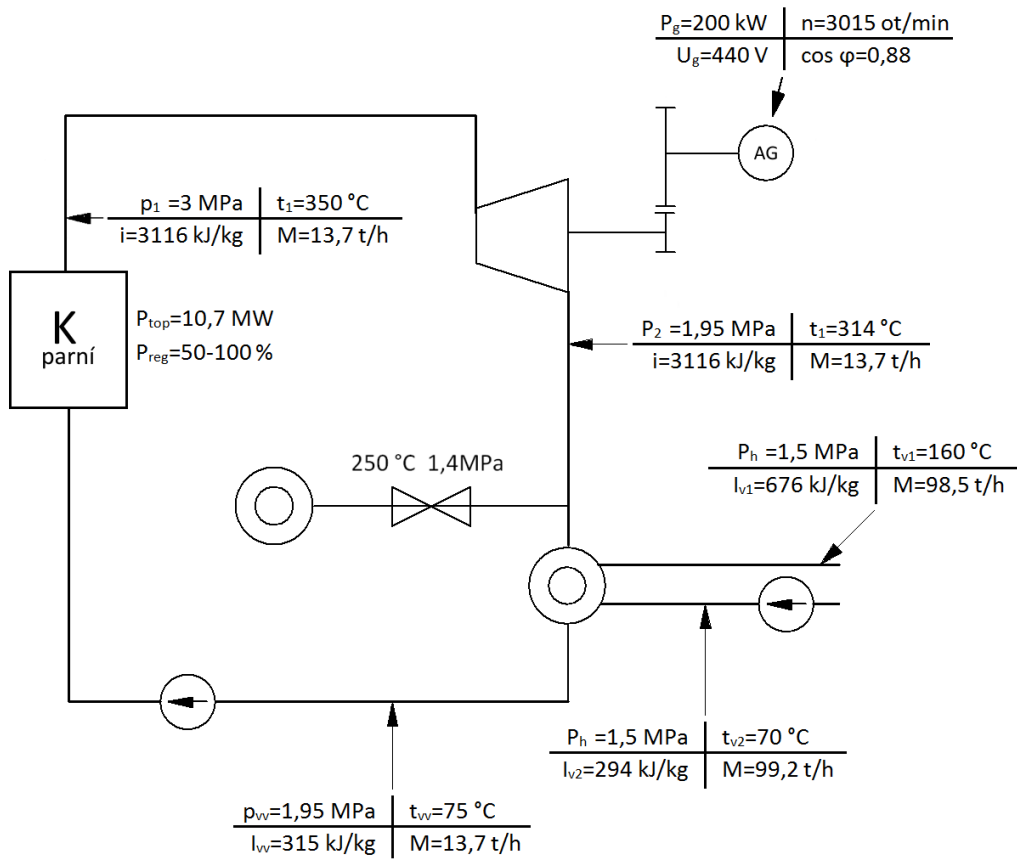


Schéma 4.1 Zjednodušené schéma výtopny s parním kotlem a točivou redukcí

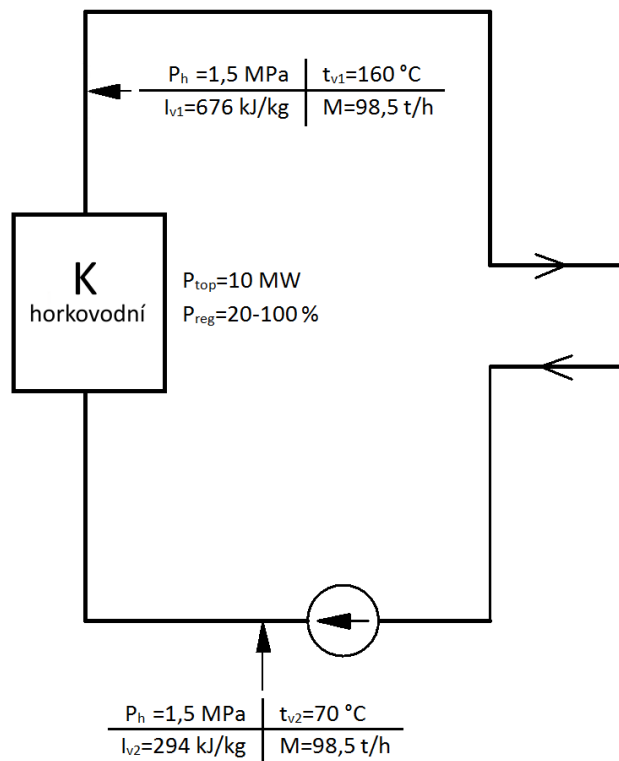


Schéma 4.2 Zjednodušené schéma výtopny s horkovodním kotlem

5 Model pro optimalizaci zdroje složeného z biomasového a plynového kotle.

Model slouží pro hledání ekonomicky výhodného rozložení výkonů instalovaných kotlů s rozdílnými výrobními cenami tepelné energie a s rozdílnou možností regulování výkonů kotlů.

5.1 Model optimalizace instalovaného výkonu s aplikací v reálném provozu

Model je určen pro vyhledání nejvýhodnější varianty výkonů kotlů s rozdílným druhem spalovaného paliva, a tím i rozdílnou výrobní cenou tepelné energie. Model dále uvažuje rozdílné ceny kotlů. Z důvodu vysokých nákladů a dlouhotrvajícím investicím je nutno využít dynamických ekonomicky hodnotících kritérií s uvažováním rostoucích nákladů na opravy a údržbu zařízení, také uvažovat s časovou hodnotou peněz. Uvažujeme i s dalšími podmínkami a finančními náklady spojenými s instalací daného zdroje.

Vstupy se do modelu zadávají prostřednictvím tabulky. Tabulka se vstupními hodnotami je přiložena na konci této podkapitoly. Základním vstupem jsou průměrné hodnoty výkonu, měřené hodinově z reálné výtopny za celé roční období, což je 8760 hodnot, které se zadávají do samostatné tabulky. Dalším vstupem je maximální výkon, který se zadává podle maximálního zatížení výtopny. Následujícím vstupem je cena za rezervovanou kapacitu plynu, která je definovaná na rok a jednu MW výkonu v zemním plynu. Dále se zadává cena vyrobeného tepla ze zemního plynu a z biomasy v korunách za GJ. U spalování biomasy se musí ještě zahrnout dotace na výrobu tepla z biomasy, která je vztažena na vyrobený GJ tepelné energie. U plynu je nutné zadat cenu za vybudování plynové přípojky. U biomasy je doprava paliva zahrnuta v ceně za vyrobené teplo. Poslední vstupní hodnoty se týkají pořizovacích cen kotlů. U plynového kotle lze definovat poměrnou cenu vztaženou na výkon, jelikož je nárůst ceny s výkonem lineární. U biomasového kotle tomu tak není, protože jeho součástí je další příslušenství. V modelu je zadávání měrné ceny biomasového kotle rozděleno do tří linearizovaných úseků, a to pro 10%, 30%, 50% jmenovitého výkonu výtopny. Pro biomasový kotel je nutno zadat minimální provozovatelný procentuální výkon kotle, pro který je ještě ekonomicky a technicky provozuschopný. U plynového kotle se minimální výkon nezadává, protože celkový výkon v plynu se skládá ze soustavy plynových kotlů, které v případě malého zatížení najíždí postupně. V případě, že je výkon mimo regulační rozsah, je jeden kotel provozován v pulzním režimu.

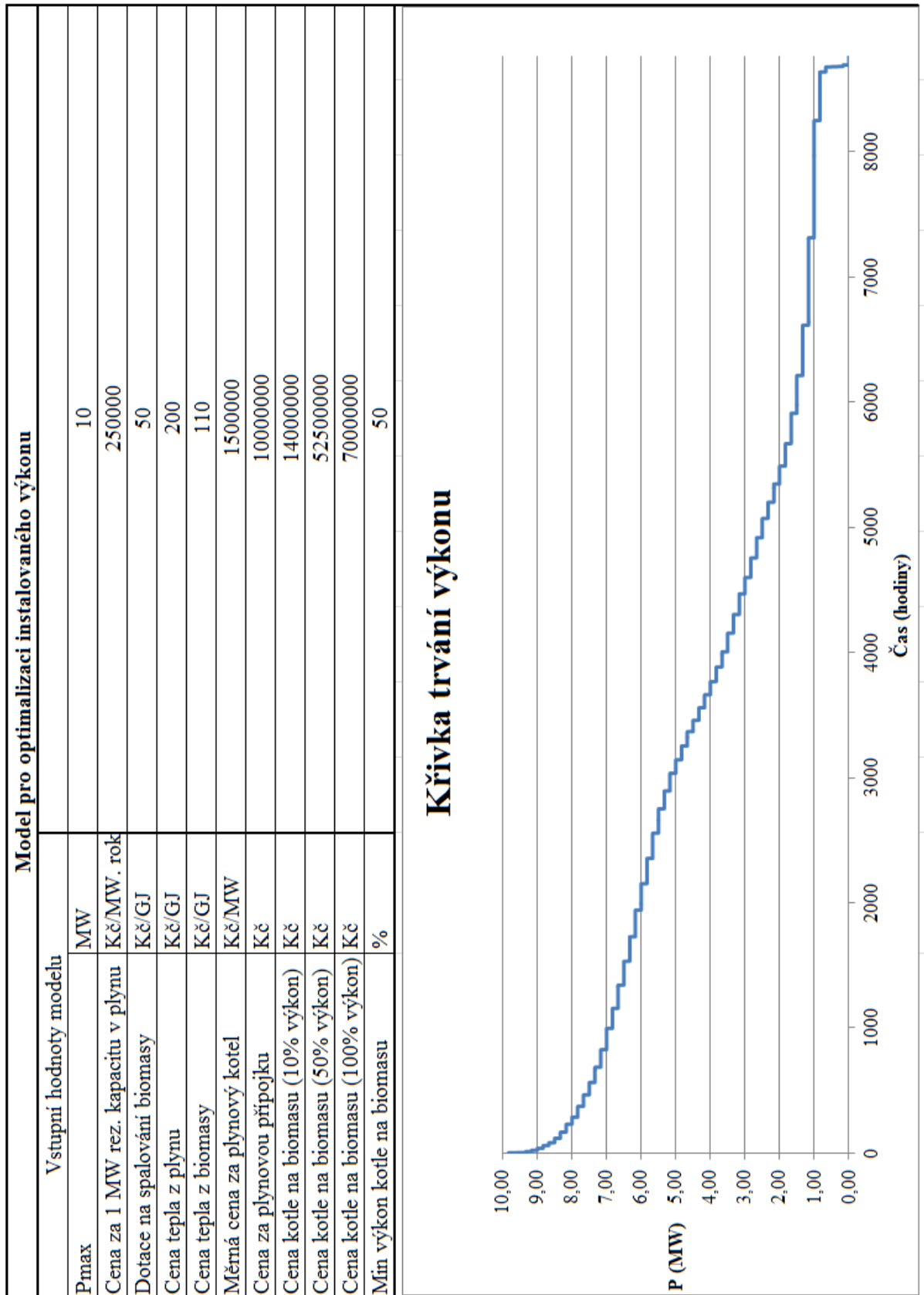
Modelem lze zjistit optimální výkon biomasového kotle při podmínce, že celkový dosažitelný výkon obou kotlů bude roven jmenovitému výkonu výtopny nebo lze zjistit optimální výkon biomasového kotle při požadavku na záložní výkon plynového kotle na jmenovitý výkon výtopny.

Výstupními hodnotami modelu jsou vyrobené energie z biomasy a ze zemního plynu. Dále jsou mezi výstupními hodnotami jednotlivé výsledné ceny za rezervovanou kapacitu plynu, výsledná cena za plynový a biomasový kotel. Celkové náklady jsou rozděleny do dvou kategorií: na náklady investiční (na pořízení daného zařízení) a na náklady provozní (na výrobu dané tepelné energie). Z těchto dvou hodnot je vypočítána nejdůležitější výstupní hodnota pro posouzení optimálního výkonu biomasového kotle, a to je hodnota NPV s časovým horizontem 15 let. Ve výpočtech NPV neuvažuje zisky, pouze náklady, a tedy nejlepší variantou je hodnota s nejnižšími náklady. Jako bonusová hodnota je průměrná cena koncového produktu, která nám říká, jaká by musela být cena energie, aby investice nebyla ztrátová. Cena koncového produktu je zpracována graficky, jak pro varianty výkonu biomasového kotle, tak pro nejlepší variantu zobrazenou v časovém horizontu 15 let s a bez započítání investičních nákladů.

Výpočty v modelu probíhají následujícím postupem. Ze zadaných hodnot se vytvoří seřazením od nejvyšší po nejnižší hodnotu křivka trvání výkonu, se kterou se dále provádí výpočty. Z hodnoty křivky trvání výkonu se porovnávají v tabulkách pomocí excelovských příkazů s hodnotami zadávanými ve vstupních hodnotách. Jako prioritní zdroj tepelné energie je brán biomasový kotel, který obecně má nízkou výrobní cenu tepelné energie. Zadaný vstupní celkový výkon výtopny je rozpočítán na 11 hodnot, se kterými model pracuje, a to od 0% po 10% do 100% jmenovitého výkonu výtopny pro biomasový kotel. Dílčí hodnoty výkonů jsou porovnávány v tabulkách, jelikož se jedná o hodinové průměrné hodnoty, tak jedna hodnota přímo odpovídá energii, kterou lze sečíst. Například pro hodnotu 40% jmenovitého výkonu výtopny provede porovnání s naměřenými hodnotami, které jsou větší nebo rovny zmíněným 40%, vygeneruje do dalšího sloupce jedničky. U hodnot, které odpovídají méně než 40%, vygeneruje nuly. Následující sloupec dvouhodnotových hodnot sečteme do buňky pod sloupcem, která zobrazuje počet hodin, kdy byl výkon 40 a více procent. Tento počet hodin vynásobíme 40% výkonem výtopny, a tím dostaneme energii prvního obdélníku pod křivkou trvání výkonu. Z důvodu možné regulace biomasového kotle

dle zadaných vstupních hodnot je nutné započítat další energii za tímto obdélníkem. Model vypočítá ze vstupní podmínky minimálního výkonu hodnotu minimálního výkonu, tu dále porovnává s naměřenými hodinovými hodnotami. Do dalšího sloupce generuje hodnoty jedniček, pokud jsou naměřené hodnoty v rozsahu menší, než je jmenovitá hodnota, do minimálního možného výkonu včetně. Výsledný sloupec se násobí se skutečnými hodnotami do následujícího sloupce. V případě, že hodnoty byly násobeny jedničkou, přenesou se skutečné naměřené hodnoty do sloupce, kde po vertikálním sečtení dostáváme energii pod křivkou do hodnoty minimálního provozovatelného výkonu biomasového kotle. Po sečtení energie dostaneme celkovou energii vyrobenou v biomasovém kotli pro daný procentuální výkon. energii vyrobenou z plynového kotle dostaneme prostým odečtením energie z biomasového kotle od celkové energie. Celkovou energii dostaneme po sečtení všech 8760 hodinových hodnot. Model počítá zvlášť pro všechny varianty investiční náklady, jako je cena kotle pro různý výkon a výstavba plynové přípojky. U ceny biomasového kotle je nutné vzhledem k nelineární měrné ceně namodelovat křivku pomocí tří přímek odstupňovaných od 10%, 30%, 50%. Údaje pro linearizaci získáváme ve vstupních parametrech.

Z vypočítaných hodnot energií se dopočítají náklady na výrobu energií z obou typů zdrojů, u plynu se přidá cena za rezervovanou kapacitu výkonu. Pro následující výpočet NPV jsou investiční náklady uvažovány v prvním roce a pak následující roky pouze náklady na výrobu. V patnáctiročním výpočtu NPV je uvažováno s klesající hodnotou peněz, dále se vzrůstajícími náklady na údržbu a provoz zařízení. Cena koncového produktu je vypočítána přes soustavu rovnic, kdy je hledána taková hodnota zisků, aby NPV se rovnalo nule. Výsledná hodnota zisků je vydělena celkovou vyrobenou energií, a tím dostáváme průměrnou cenu koncového produktu v Kč/GJ .



Tabulka 5.1 Zadávání vstupních hodnot pro optimalizační model instalovaného výkonu biomas. kotle

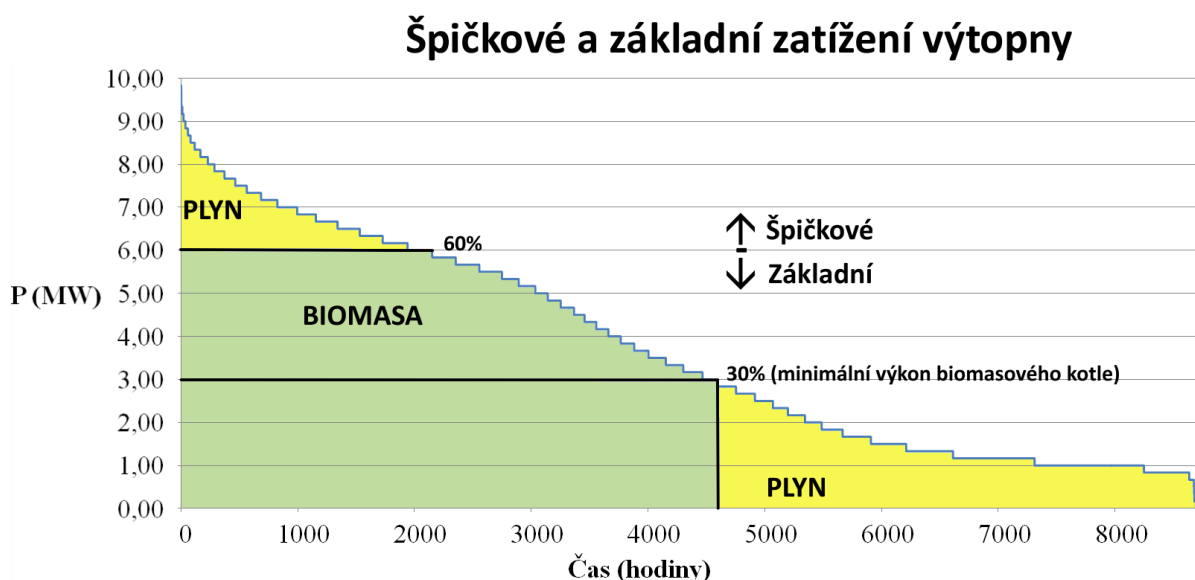
P _{biomasa}	(%)	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
P _{plyn}	(%)	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
P _{biomasa}	(MW)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
P _{plyn}	(MW)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
W biomasa prodaná	(GJ)	0	30960	52018	61713	72187	81196	86104	86233	83062	78843	73544
W plyn prodaná	(GJ)	115231	84271	63214	53518	43044	34036	29128	28998	32170	36388	41687
Cena energií z biomasy	(Kč/GJ)	110										
Dotace na biomasu	(Kč/GJ)	50										
Cena energií z plynu	(Kč/GJ)	200										
Cena za rezervovanou kapacitu	(mil.Kč/rok)	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Cena za plynovou přípojku	(mil.Kč)	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Cena kotle na biomasu	(mil.Kč)	0,00	14,00	23,63	33,25	42,88	52,50	56,00	59,50	63,00	66,50	70,00
Cena kotle na plyn	(mil.Kč)	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Výsledné náklady plyn	(mil.Kč)	50,5	44,4	40,1	38,2	36,1	34,3	33,3	33,3	33,9	34,8	35,8
Výsledné náklady biomasa	(mil.Kč)	0,0	15,9	26,7	37,0	47,2	57,4	61,2	64,7	68,0	71,2	74,4
Celkové náklady investiční	(mil.Kč)	25,0	39,0	48,6	58,3	67,9	77,5	81,0	84,5	88,0	91,5	95,0
Celkové náklady stálé za výrobu	(mil.Kč)	25,5	21,2	18,3	16,9	15,4	14,2	13,5	13,5	13,9	14,5	15,3
Celkové náklady v prvním roce	(mil.Kč)	50,5	60,2	66,9	75,2	83,3	91,7	94,5	98,0	101,9	106,0	110,3
Celkové náklady ve zbývajících letech	(mil.Kč)	25,5	21,2	18,3	16,9	15,4	14,2	13,5	13,5	13,9	14,5	15,3
NPV (15let)	(mil. Kč)	-267	-236	-216	-210	-204	-200	-196	-198	-206	-214	-224
Průměrná cena koncového produktu	(Kč/GJ)	240	212	194	189	183	179	176	178	185	193	202

Tabulka 5.2 Výstupní hodnoty z modelu optimalizace instalovaného výkonu biomasového kotle

5.2 Varianty stanovení výkonů pro špičkový a základní ohřev

Z výsledků modelu optimalizace instalovaného výkonu vychází, kolik tepelné energie se vyrobí z každého typu paliva. Pro základní ohřev využijeme zdroj tepelné energie s nejnižší výrobní cenou tepla, kterým je biomasový kotel. Základní výkon prioritně hradí biomasový kotel od výkonu, který vyjde jako ekonomicky výhodná varianta po jeho minimální provozovatelný výkon, který je zadán vstupními hodnotami. Špičkový výkon nad hodnotou biomasového kotle přebírá tedy plynový kotel až do maximálního výkonu a zároveň je jako záložní pro výrobu tepelné energie v základním části výkonu, když je výkon pod minimem biomasového kotle. Plynový kotel současně může tvořit zálohu pro celou výrobu, pokud jeho instalovaný výkon je nadimenzován na celkový výkon výtopny.

V následujícím grafu roční křivky trvání výkonu z 8760 hodnot je příklad rozdělení na špičkové a základní zatížení včetně rozlišení, z jakého zdroje se daná tepelná energie vyrobila.



Graf 5.1 Rozdělení špičkového a základního zatížení výtopny

5.3 Provozní bilance a ekonomické zhodnocení

Provozní bilance výtopny je dalším výstupem modelu v podobě tabulky. V provozní bilanci je zobrazena výsledná výroba energií pro nejlepší variantu rozdělení výkonu, a to jak v GJ tak kWh_{tep} pro biomasu a zemní plyn. Dále je z hodnot energií vypočítána přes účinnost jednotlivých typů kotlů celková spotřeba paliva pro zadanou výhřevnost paliva. Pro přehled o využití instalovaného výkonu je vypočítána hodnota v procentech, která zároveň charakterizuje odběrnou síť. Další hodnota, která se zadává, je vlastní spotřeba tepelné energie výtopny, ta se odečítá od celkové vyrobené tepelné energie. Hodnota dodávky tepla za

rok je bez vlastní spotřeby tepla. Poslední výstupní hodnoty udávají souhrn spotřeby elektrické energie potřebné pro čerpací práci v teplofikační soustavě a spotřeby elektrické energie biomasového a plynového kotle.

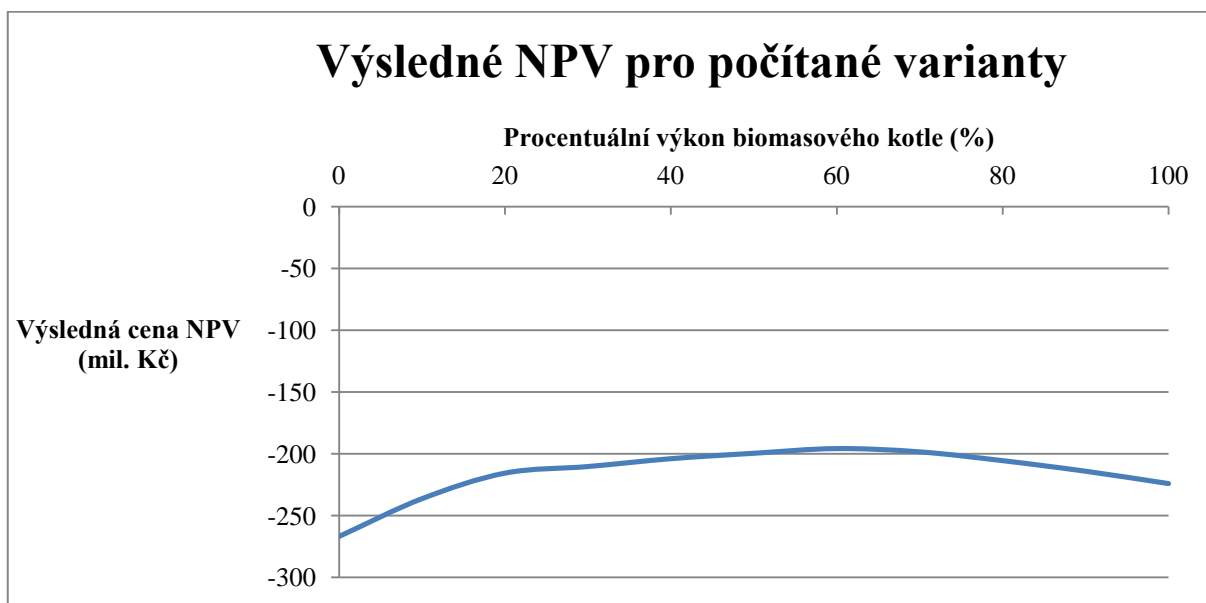
Provozní bilance výtopny				
Spotřeba paliva biomasa	Vyrobená energie	MWh _t	23918	
		GJ	86104	
	Měrná výhřevnost	MJ/kg	10	
	Účinnost kotle	%	86	
	Palivové množství	t	10012	
Využití instalovaného výkonu biomasového kotle	%			46
Spotřeba paliva plyn	Vyrobená energie	MWh _t	8091	
		GJ	29128	
	Spalné teplo (*)	MJ/m ³	37	
	Výhřevnost	MJ/m ³	34	
	Účinnost kotle	%	94	
	Palivové množství	tis. m ³	911	
Využití instalovaného výkonu plynového kotle	%			9
Výroba tepla za rok	GJ			115231
Vlastní spotřeba	%			5
Dodávka tepla za rok	GJ			109470
Spotřeba elektrické energie	Spotřeba čerpací práce pro CZT	měrná	kWh/GJ	7
		celková	kWh	806618
	Plynový kotel	měrná	kWh/GJ	2
		celková	kWh	43691
	Biomasový kotel	měrná	kWh/GJ	12
		celková	kWh	990191

* hodnota spalného tepla při teplotě 15°C a tlaku 101 kPa

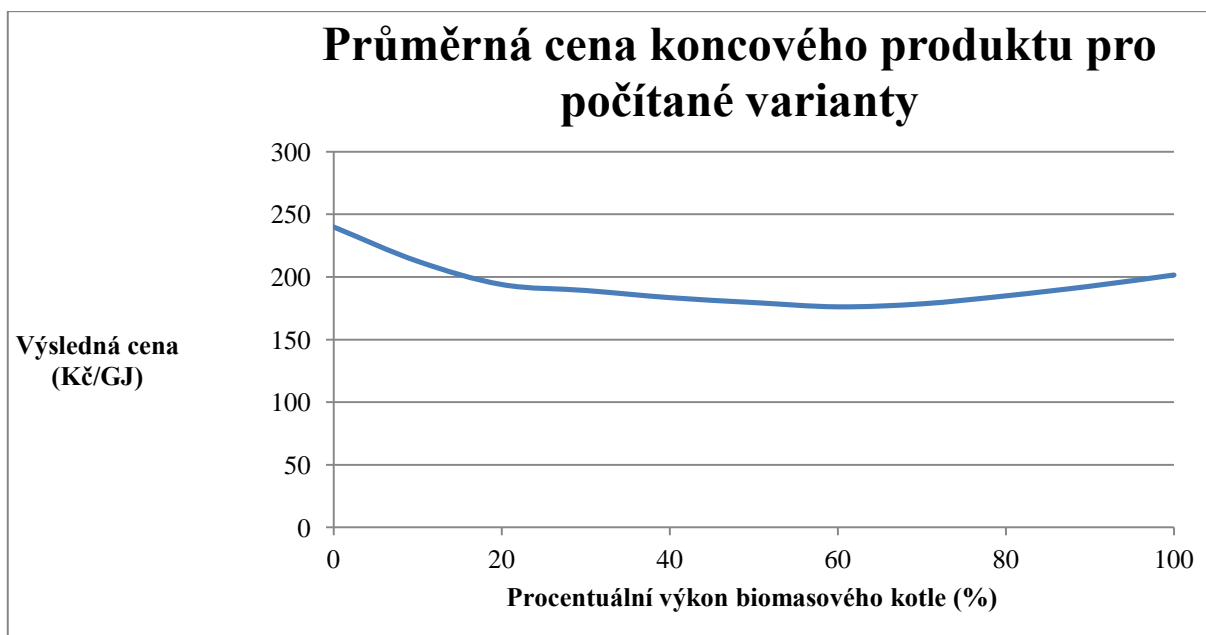
Tabulka 5.3 Provozní bilance výtopny

Z výsledků modelů pro zadané reálné hodnoty výtopny vychází následující ekonomické hodnocení. Pro 100% plynovou zálohu je nejvíce výhodná varianta s doplněním o biomasový kotel s 60% jmenovitého výkonu výtopny, přičemž je využit za celý rok na výrobu pouze 46% z možné vyrobené energie. Kaskáda plynových kotlů vyrobí pouze 9% energie ze své maximální výroby. Hodnota je velmi nízká z důvodu zálohy celého výkonu výtopny, který by byl potřeba v případě poruchy biomasového kotle. Hodnota nákladů vypočítaná pomocí ekonomického kritéria NPV za 15let dosahuje nejnižších nákladů 196 milionů korun. Je nutné zmínit, že výběr definitivní hodnoty instalovaného výkonu kotle se může volit větší o deset procent, kdy nedojde ještě k nepřiměřenému nárůstu investičních nákladů, a tím umožnit lepší

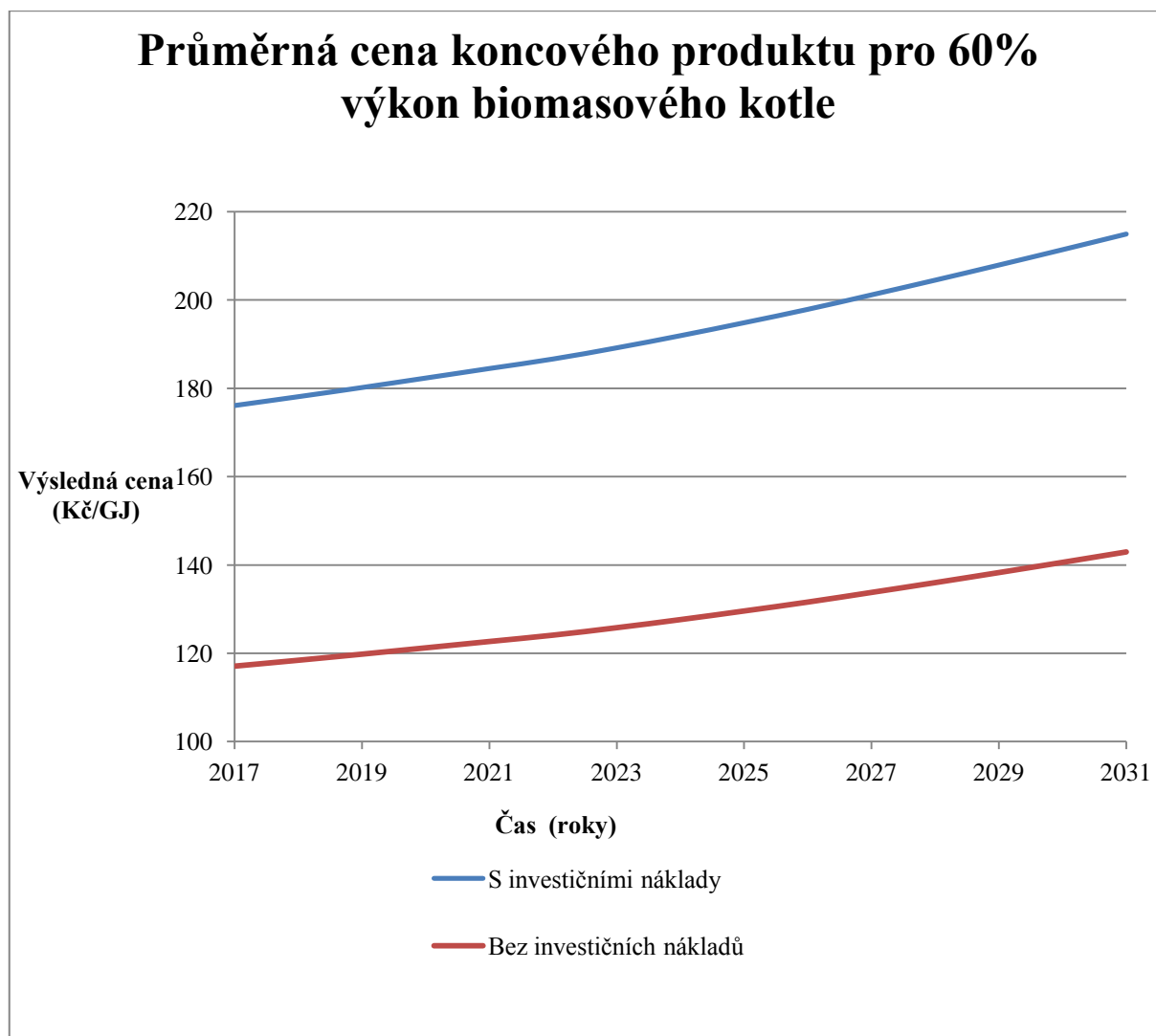
využití biomasového kotle v případě dalšího připojování odběratelů v následujících letech. Dalším ekonomickým ukazatelem je průměrná cena koncového produktu, která je zpracována do dvou grafů. V jednom grafu pro různé varianty výkonu biomasového kotle a v druhém pro vybranou variantu s časovým horizontem 15 let s a bez započítání počáteční investice do zařízení.



Graf 5.2 Výsledné NPV pro počítané varianty



Graf 5.3 Průměrná cena koncového produktu pro počítané varianty



Graf 5.4 Průměrná cena koncového produktu pro 60% výkon biomasového kotle

Závěr

Z výsledků diplomové práce jsou nejdůležitější dva modely pro výtopny případně teplárny, kvůli kterým byla práce zadána od firmy ČEZ. Důvodem požadavku na vytvoření modelu predikce tepelného zatížení bylo, že v současné době mají jen obyčejnou krátkodobou predikci podle ekvitemní křivky. Modelem lze například predikovat tepelné zatížení následujícího dne, po zadání meteorologických údajů (venkovní teplota, rychlost větru, oblačnost, čas slunečního svitu), známého chování odběratelů s respektováním proměnných parametrů pro různé dny v týdnu (vnitřní požadovaná teplota u různých typů objektů, vlivů jako například počet návštěvníků, počet zaměstnanců a studentů), koeficienty ovlivňující ztráty prouděním a energetické zisky ze slunce. Přesnost modelu souvisí na stupni mikrotizace odběratelů, na správnosti zadaných průměrných hodnot teplot a koeficientů. Při správném nastavení bude dosahovat mnohem lepších výsledků než odhad podle ekvitemní křivky a porovnáváním údajů s historickými naměřenými hodnotami. Přesnou predikci tepelného zatížení můžeme využít pro optimalizaci provozu výtopny způsobem včasného najíždění kotlů (zvláště u kotlů na pevná paliva), dále optimálně využívat větší akumulaci v teplofikační síti, nebo v přídavných teplojemech. Lze rovněž předvídat, zda bude možno následující den provést drobnou denní opravu bez přídavných ekonomických ztrát. Model je možné rozšířit o další typizované odběratele a o pravděpodobnostní model, který by vyhodnocoval vzájemné vazby mezi vstupními proměnnými. Druhý model má za účel ze zadaných základních finančních a technických vstupů najít optimální variantu hodnoty výkonu biomasového kotle ke kotlům na zemní plyn, které jsou buď navrženy na 100 % výkon výtopny jako záloha, nebo až na výkon, kdy je splněna provozovatelnost obou kotlů dohromady. Pro ekonomické posouzení byla vybrána metoda NPV s časovým rozmezím 15 let a bylo uvažováno pouze s náklady. V časovém rozmezí 15 let bylo uvažováno s časovou hodnotou peněz a s rostoucími náklady na údržbu a provoz zařízení. Výsledkem modelu pro zadané parametry je výtopna s biomasovým kotlem o 60 % výkonu a s 100 % plynovou zálohou.

Modely jsou velmi šikovným a praktickým nástrojem. Doufám, že se dále rozšíří, budou mít využití v praxi pro snížení nákladů a zhospodárnění provozu. Velké energetické podniky disponují vlastními meteorology, kteří by mohli s tímto modelem pracovat.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] ŠŤASTNÝ, Vítězslav a Jaroslav BÁRTA. *Praktická příručka pro energetiky: plynárenství, teplárenství, elektroenergetika*. Praha: Dashöfer, c2002-2009. ISSN 18017959.
- [2] KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. *Průmyslová energetika*. Brno: PC-DIR, 1996. ISBN 8021408316.
- [3] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN - technická literatura, 2003. ISBN 8073000970.
- [4] DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 8073001187.
- [5] IBLER, Zdeněk. *Technický průvodce energetika*. Praha: BEN - technická literatura, 2002. ISBN 8073000261.
- [6] Hodnocení investic: Čistá současná hodnota (NPV) stručně a jasně. *BusinessVize.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-cista-soucasna-hodnota-npv-strucne-a-jasne>
- [7] Hodnocení investic: Vnitřní výnosové procento (IRR). *BusinessVize.cz* [online]. 2010 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <http://www.businessvize.cz/rizeni-a-optimalizace/hodnoceni-investic-vnitri-vynosove-procento-irr>
- [8] Předpověď počasí. *Yr.no* [online]. 2017 [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: <https://www.yr.no/>
- [9] I-s diagram vodní páry. <http://ottp.fme.vutbr.cz> [online]. 2017 [cit. 2017-03-20]. Dostupné z: <http://ottp.fme.vutbr.cz/skripta/termomechanika/Is.gif>

Přílohy

Příloha A – i-s diagram vodní páry [9]

