



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta elektrotechnická
Katedra elektroenergetiky

Kogenerace s akumulací tepla

Cogeneration using accumulation of heat

Diplomová práce

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management

Studijní obor: Elektroenergetika

Vedoucí práce: doc. Dr. Jan Kyncl

Aleš Popelka

Praha 2014

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická
katedra elektroenergetiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: **Bc. Aleš Popelka**

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Elektroenergetika

Název tématu: **Kogenerace s akumulací tepla**

Pokyny pro vypracování:

1. Seznamte se s legislativním rámcem a technickými aspekty kogenerační výroby elektrické energie a tepla
2. Vytvořte model práce kogeneračních jednotek vybavených akumulací tepla do soustavy CZT
3. Vytvořený model implementujte v SW Mathematica.

Seznam odborné literatury:

- [1] P. Masný a kol.: Obnovitelné zdroje elektrické energie
- [2] Lienhard IV, John H. "JH Lienhard V, A heat transfer textbook." (2003).

Vedoucí: doc.Dr. Jan Kyncl

Platnost zadání: do konce letního semestru 2014/2015

prof. Ing. Josef Tlustý CSc.
vedoucí katedry



prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 12. 2. 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci na téma *Kogenerace s akumulací tepla* vypracoval samostatně, jen za odborného vedení vedoucího práce doc. Dr. Jan Kyncla a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám žádné námitky k půjčování, zveřejnění a dalšímu využití závěrečné práce, pokud s tím bude souhlasit katedra elektroenergetiky ČVUT FEL.

V Praze, dne 1. května 2014

.....
Podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Janu Kynclovi a Ing. Vlastimilovi Dvořákovi z firmy ENA, s.r.o za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce, kterými přispěli k vypracování této závěrečné práce. Děkuji také svým rodičům za podporu v celém průběhu studia.

V Praze, dne 1. května 2014

Aleš Popelka

Abstrakt

V této práci se zabývám vytvořením modelu práce kogeneračních jednotek s akumulací tepla na síti centrálního zásobování teplem (CZT) v softwaru Mathematica. V prvních kapitolách se seznámíme s kogeneračními jednotkami a jejich legislativou. Následující část práce ukazuje teoretické předpoklady vytvoření modelu práce kogeneračních jednotek a potřebné technické údaje. Předposlední část práce se zabývá vytvořeným modelem v softwaru Mathematica a popisem funkce jednotlivých částí modelu. V poslední kapitole se práce zabývá hledáním optimálního řízení kogeneračních jednotek pro nejlepší ekonomické hodnocení projektu. Na konci práce jsou zobrazeny dvě modelové situace a následné srovnání jejich řídicích strategií. Tato práce a tím i vytvořený model slouží především k nalezení optimálního řízení kogeneračních jednotek a to například podle ceny elektřiny na spotovém trhu, kde obchodujeme s námi vyrobenou elektřinou a následnému nalezení optimální velikosti akumulčních nádrží podle ekonomických ukazatelů.

Abstract

In this thesis, the model of performance of cogeneration units with heat storage in the district heating network has been developed using the software Mathematica. In the first chapter, we introduce the cogeneration units and their specifications. The following passage shows the theoretical assumptions, essential for the created model of performance of cogeneration units and the necessary technical data. The last but one section deals with the created model in Mathematica software and describes functions of each part of the model. The last chapter of this thesis deals with the search for the optimum management of cogeneration units for the best economic evaluation of the project. At the end of the paper two different scenarios and comparison of their management strategies are presented. This work and the created model is primarily used for finding the optimal management of cogeneration units, for example by the price of electricity on the spot market, where we do business with electricity produced by us and the subsequent finding of the optimal size of the storage tanks according to economic indicators.

Obsah

Seznam použitých zkratk	7
Úvod	8
1 Kogenerace	10
1.1 Úvod	10
1.2 Druhy spalovacích kogeneračních jednotek	11
2 Legislativa pro kogenerační jednotky	14
2.1 Zelené bonusy a jejich podmínky	14
2.2 Stanovení účinnosti kogenerační jednotky	18
2.3 Stanovení úspory primární energie UPE	19
3 Trh se silovou elektřinou	23
3.1 Organizovaný dlouhodobý trh	23
3.2 Organizovaný krátkodobý trh	24
3.3 Neorganizovaný trh s elektřinou	26
4 Teoretický rozbor navrhovaného modelu	27
4.1 Kogenerační jednotky se spalujícím motorem na zemní plyn	28
4.2 Kotel spalující zemní plyn	29
4.3 Akumulační nádrže	31
4.3.1 Ztráty v zásobníku	33
4.4 Práce kogeneračních jednotek s akumulací tepla na síti CZT	37
4.5 Kritéria ekonomické hodnocení investice	39
4.5.1 Provozní cash flow - CF	39
4.5.2 Diskontovaný cash flow – DCF	41
4.5.3 Investiční výdaje projektu - IN	42
4.5.4 Kritérium prosté doby splacení - PP	42
4.5.5 Kritérium diskontované doby splacení - P _p	42
4.5.6 Čistá současná hodnota - NPV	43
4.5.7 Vnitřní výnosové procento – IRR	43

5	Model vytvořený v softwaru Mathematica	44
5.1	Vstupní data	46
5.1.1	Teploty v dané oblasti	46
5.1.2	Požadavek tepla	47
5.1.3	Ceny elektřiny na spotovém trhu	47
5.1.4	Technická data o kogeneračních jednotkách a kotle	48
5.1.5	Technická data o zásobnících teplé vody	49
5.1.6	Ekonomické vstupy	50
5.1.7	Údaje o zapnutí/vypnutí kogeneračních jednotek	52
5.2	Oprava dat	53
5.3	Model zásobníku	54
5.4	Tělo programu	57
5.5	Výpočet vyrobených energií a ekonomické hodnocení	61
5.6	Vykreslení výsledků	62
6	Hledání optimálního spínání kogeneračních jednotek	67
	Závěr	73
	Literatura	74
	Seznam příloh	76
	Přílohy	77

Seznam použitých zkratk

AKU.....	Zásobníky teplé vody
BT	Blokový trh
CF.....	Peněžní tok (CF – cash flow)
CZT.....	Centrální zásobování teplem
ČKMBK	Českomoravská komoditní burza Kladno
DCF.....	Diskontovaný peněžní tok (DCF – discounted cash flow)
DT	Denní trh
ERÚ	Energetický regulační úřad
ES.....	Elektrizační soustava
IN	Investiční výdaje
IRR.....	Vnitřní výnosové procento (IRR – Internal Rate of Return)
KJ.....	Kogenerační jednotky
KOG.....	Kogenerační jednotky
KOT	Kotel spalující zemní plyn
KVET.....	Kombinovaná výroba elektřiny a tepla
NPV	Čistá současná hodnota (NPV – Net Present Value)
OTC	Over the counter
OTE	Operátor trhu s elektřinou
PP.....	Prostá doba splacení
P _p	Diskontovaná doba splacení
PXE.....	Power Exchange Central Europe
SEK.....	Státní energetická koncepce
ÚPE.....	Úspora primární energie
VDT	Vnitrodenní trh

Úvod

Na zemi se elektřina považuje za nejčistší a nejuniverzálnější formu energie, kterou lze nejnadhěji transportovat v požadovaném množství do místa spotřeby. S rozvojem naší společnosti spotřeba elektrické energie stále roste a tím vyvstává otázka, z jakých zdrojů bude uspokojena poptávka po ní. Proto vytvoření Státní energetické koncepce a tím určení směru vývoje české energetiky se stalo velmi aktuálním tématem a to i z důvodů dosluhujících starých elektráren či tepláren a nedostatku různých primárních paliv jako je např. uhlí. Ve Státní energetické koncepci se především pojednává o snížení podílu uhelných elektráren a tepláren na výrobě elektrické energie. Tím tedy před námi stojí otázka, jakými jinými zdroji můžeme nahradit tyto stávající zdroje, které budou postupně zastaralé a podle Státní energetické koncepce nevhodné pro výrobu elektrické a tepelné energie.

Jedna z více možností jsou kogenerační jednotky na bázi motoru spalující plyn. Jak už název napovídá, tyto jednotky jsou schopny přeměňovat energii v plynu na energii elektrickou a tepelnou. Tím je tedy dosaženo vysoké účinnosti a můžeme využít až téměř 95 % energie uložené v plynu. S vysokou účinností využití paliva a velmi nízkými výrobními ztrátami je úzce spjato i snížení emisí CO₂, které se pohybuje řádově v tunách na každou vyrobenou MWh elektřiny oproti běžné oddělené výrobě elektřiny z fosilních paliv. Navíc díky výrobě elektřiny v místě její spotřeby odpadají další ztráty způsobené jejím přenosem a distribucí. To má samozřejmě pozitivní dopad na kvalitu životního prostředí. Kogenerační způsob výroby elektřiny je podporován v celé Evropské unii. V České republice mají provozovatelé vysoce účinných kogeneračních jednotek nárok na tzv. zelený bonus, jehož výši každoročně stanovuje Energetický regulační úřad podle velikosti a způsobu provozu kogenerační jednotky.

Dominantním palivem pro pohon kogeneračních jednotek na bázi spalovacího motoru je zemní plyn. V posledních letech také prudce stoupá počet zařízení, které spalují bioplyn, skládkový plyn, čistírenský plyn nebo jiná alternativní paliva, jako např. dříví plyn.

Kogenerační jednotky je možné využít ve všech objektech s celoročními nároky na odběr tepla. Jsou to především nemocnice, domovy důchodců, plovárny, lázně, zimní stadiony, komunální výtopy, hotely a penziony, obchodní domy či průmyslové závody, v případě využití bioplynu pak čistírny odpadních vod, zemědělské podniky a skládky

komunálního odpadu. Také mohou být použity jako náhrada dosluhujících tepláren. Tímto se tyto kogenerační jednotky stávají decentralizovanou výrobou elektrické a tepelné energie, což přináší řadu výhod.

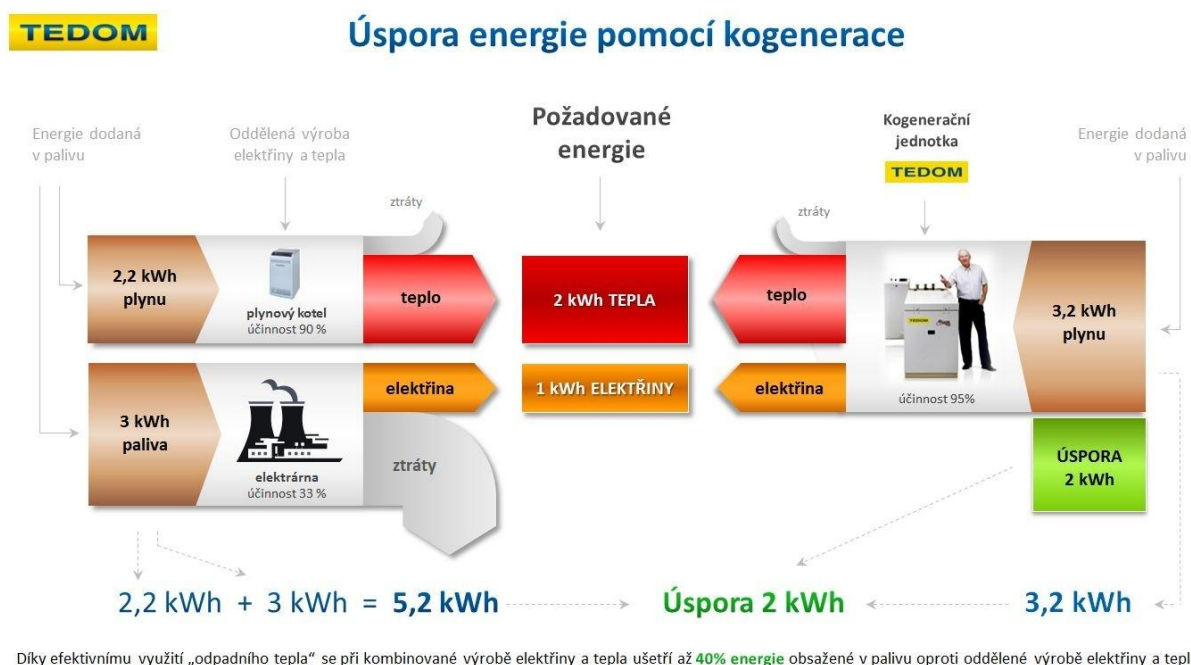
Je také možné vzniklé teplo pomocí absorpčního chladiče v procesu kogenerace využít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci. V takovém případě hovoříme o trigeneraci, kombinované výrobě elektřiny, tepla a chladu.

1 Kogenerace

1.1 Úvod

Kogenerace je společná výroba elektrické energie a tepla a přináší nezpochybnitelné úspory primárních energetických zdrojů oproti oddělené výrobě obou energetických produktů. Je to dáno vysokou účinností přeměny energií a to až 95 %. Při výrobě elektřiny ve velkých uhelných a jaderných elektrárnách se využije 30 až 42 % energie obsažené v palivu. Zbytek se bez užitku odvádí do vzduchu chladicími věžemi. Na druhou stranu u nás existují tisíce městských vytopen a větších kotelen, které z uhlí vyrábějí pouze teplo, ačkoliv by mohly produkovat i elektřinu.

V teplárnách a jiných kogeneračních zařízeních, kde energie z neobnovitelných fosilních paliv je přeměněna na elektrickou energii a tepelnou energii, dochází k úspoře primárních paliv oproti oddělené přeměně energie. Tomu také odpovídá snížení emisí škodlivin ze zdrojů energie v globálním měřítku. Při použití kogeneračních zařízení dochází také k decentralizaci výroby elektřiny a tím se snižují ztráty s přenosem elektrické energie a zvyšuje se spolehlivost dodávky.



Obr. 1.1 Příklad úspory energie pomocí kogenerace [1]

Nyní se budeme zabývat především kogeneračními jednotkami, které spalují fosilní paliva ve skupenství plynném (zemní plyn, bioplyn – skládky, důlní plyny, kalové plyny z čističek odpadních vod) nebo kapalném (nafta, bio-rostlinné oleje).

1.2 Druhy spalovacích kogeneračních jednotek

Kogenerační jednotky, spalující kapalně a plynně primární palivo, se vyrábějí ve velkém rozsahu tepelných výkonů od desítek kW až jednotek MW. Velikost tepelného výkonu a poměr mezi výkonem elektrickým a tepelným bude záležet na technologii spalování jednotlivých jednotek a uspořádání segmentu kogenerační jednotky.

Mikrokogenerace

Jsou speciální jednotky navržené pro pokrytí tepla pro objekty velikosti rodinného domu nebo řemeslnické dílny s elektrickým výkonem od 1kW až do 50 kW. [1] Díky výrobě tepla v místě spotřeby odpadají ztráty v tepelných sítích. Velikost jednotky je dána tepelným příkonem objektu a elektrický výkon je dán pouze poměrem teplotního modulu pro daný druh tepelného motoru. Zatím se pro mikrokogeneraci využívají téměř jen spalovací motory s vnitřním spalováním a na použití ušlechtilého plynného paliva a to především zemního plynu.

Níže si uvedeme rozdělení jednotek podle způsobu spalování primárních paliv a následné přeměny na elektrickou a tepelnou energii:

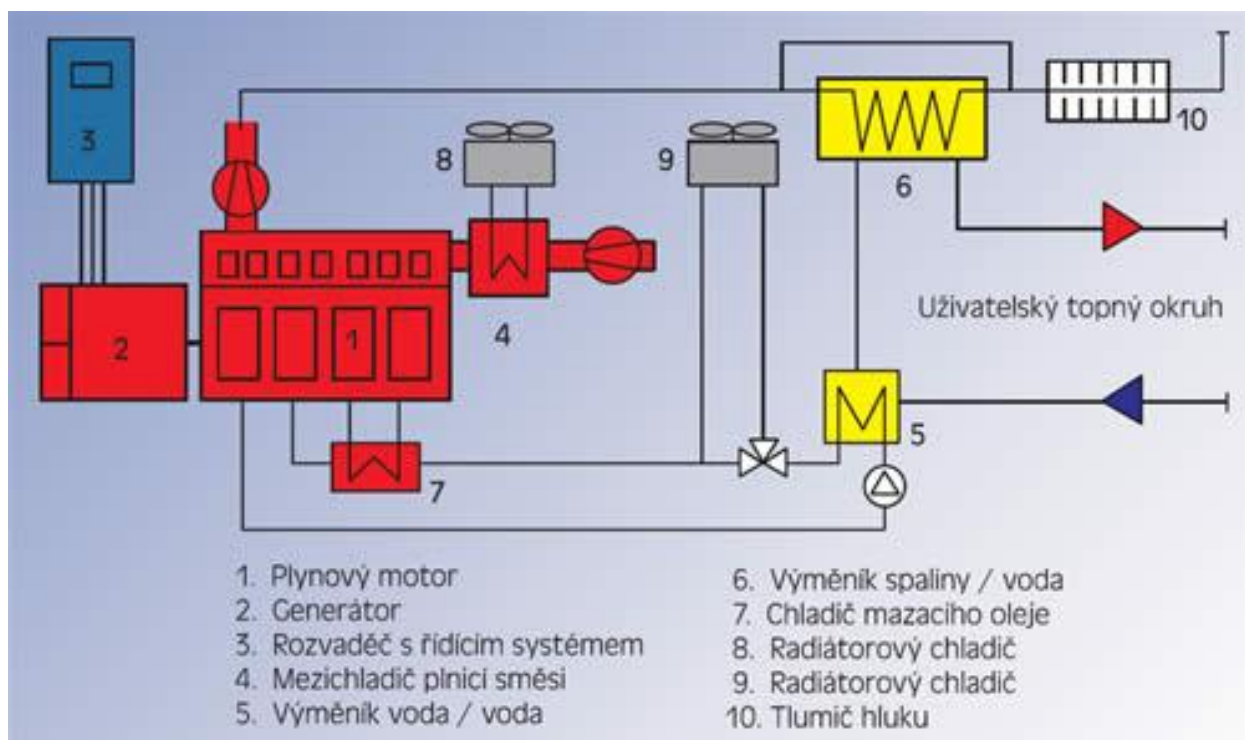
a) Kogenerační jednotky se spalovacím motorem

Kogenerační jednotka se **spalovacím motorem** se skládá ze zážehového spalovacího motoru pohánějícího přímo alternátor vyrábějící elektřinu a výměníků pro využití odpadního tepla z motoru. Odpadní teplo z motoru je odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a z oleje na úrovni cca 80 až 90 °C. Druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalin o teplotě cca 400 až 500 °C. Výměníky jsou z hlediska průtoku teplotního média zapojeny do série. Obvykle jsou kogenerační jednotky koncipovány pro dodávku tepla do teplovodního systému 90/70 °C, méně již do systému 110/85 °C resp. 130/90 °C. [2]

Výhodou této jednotky je její rychlá reakce na spínání. Jednotky můžeme kdykoliv zapnout a vypnout, aniž bychom poškodili jakoukoliv technologickou část. Na druhou stranu

v praxi se tyto jednotky provozují jen jako vypnuto nebo zapnuto tedy 0 % nebo 100 % výkonu. Je to dáno tím, že při jejich regulaci se prudce snižuje účinnost jednotky a to je pro nás z hlediska úspory primární energie nevýhodné.

Kogenerační jednotky se zážehovými spalovacími motory se dodávají o elektrických výkonech v rozsahu od cca 20 kW do 5000 kW.



Obr. 1.2 Blokové schéma kogenerační jednotky se spalovacím motorem[2]

b) Kogenerační jednotky s plynovou turbínou

Tyto jednotky jsou méně využívané oproti jednotkám se spalovacím motorem a to díky tomu, že soustrojí pracuje s vysokými otáčkami a vyžaduje vysokofrekvenční generátor a měnič frekvence. Plyné palivo musíme stlačovat do spalovací komory (přídavná práce), ale přitom spalování probíhá při vyšších teplotách a tím naproti tomu zvyšujeme účinnost. Výhodou je širší rozsah použitých paliv, kde spalování probíhá kontinuálně a tím jsou emise znečišťujících látek NO_x cca 10x nižší než u spalovacích motorů. Také jednotka disponuje větší životností než jednotka se spalovacím motorem.[2]

c) Kogenerační jednotky s Rankinovým cyklem

Použité palivo do cyklu je téměř bez omezení. Jedná se o tepelný stroj s vnějším spalováním a tím dochází ke kontinuálnímu procesu spalování v kotli, možnosti řízení a omezení emisí. Regulace výkonu jednotky je možná klouzavými parametry páry. V tomto cyklu je nízkootáčkový generátor přímo spojen s parním motorem bez převodovky.

Možnost uplatnění parního stroje malého výkonu v kombinovaném cyklu s pístovým spalovacím motorem ("pístový" paroplynový oběh) - zejména pro bioplynové stanice a skládky tuhého komunálního odpadu, kde kogenerační jednotky se spalovacím motorem nemají zajištěn dostatečný odvod zbytkového tepla.

Nevýhodou je složitá technologie - úprava vody, napájecí nádrž a čerpadlo, obvykle kvalifikovaná obsluha. [2]

2 Legislativa pro kogenerační jednotky

Součástí hospodářské politiky státu, která se snaží ovlivnit vývoj ekonomiky změnami výše je struktura veřejných výdajů a daní. Stát analyzuje vývoj trhu a stimuluje investory, aby investovali do projektů podporovaných státem.

Státní energetická koncepce (SEK) počítá s úbytkem kondenzačních elektráren, tepláren a výtopen spalující uhlí, které mají nízkou účinnost. Za to SEK počítá s nárůstem obnovitelných, jaderných a efektivnějších zdrojů spalující fosilní paliva jako další směr k vývoji KVVET (kombinovaná výroba elektřiny a tepla). Kombinovaná výroba elektřiny a tepla tedy představuje nejen možnost efektivně využít zbylý potenciál našich domácích surovin, ale i prostředek k podstatnému zvýšení kvality ovzduší. Proto se stát ve vyhlášce č.453/2012 rozhodl zavést podporu KVVET a to formou zelených bonusů. Tento bonus je vyplácen operátorem trhu za každou vykázanou MWh vyrobené elektřiny. Jeho výše je stanovena prostřednictvím ERÚ (Energetický regulační úřad) v jeho cenovém rozhodnutí pro daný rok.

2.1 Zelené bonusy a jejich podmínky

V této části můžeme vidět část cenového rozhodnutí pro rok 2014 zahrnující zelené bonusy pro kogenerační jednotky spalující různé druhy plynu a jejich možné kombinace s jinými zdroji. Roční zelené bonusy se skládají ze dvou sazeb a to ze sazby základní a doplňkové.

V případě kogeneračních jednotek do výkonu 5 MW se zelené bonusy určují podle počtu provozních hodin v roce a zelené bonusy pro kogenerační jednotky nad 5 MW se určují podle ÚPE (úspora primární energie) a celkové účinnosti výroby tepla a elektrické energie.

Je-li v rámci výroby elektřiny uveden do provozu další výrobní zdroj elektřiny nebo více výrobních zdrojů, nebo splňuje-li jeden či více výrobních zdrojů elektřiny v rámci jedné výroby elektřiny podmínky pro uplatnění odlišných podpor, může výrobce uplatňovat odlišnou podporu pro jednotlivé výrobní zdroje elektřiny za předpokladu, že zajistí samostatné měření výroby elektřiny vyrobené z každého výrobního zdroje elektřiny v souladu vyhlášky č. 82/2011 Sb. V případě neosazení samostatného měření může výrobce elektřiny

uplatňovat za celou výrobu elektřiny pouze nejnižší výši podpory při výběru z více možných podpor [7].

Účinnost výroby energie se pro všechny výrobní elektřiny stanoví podle vzorce uvedeného v příloze č. 4 bod a) odst. 3 vyhlášky č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie nebo v této práci v kapitole 2.2.

Způsob určení poměrné úspory primární energie (ÚPE) je stanoven podle vyhlášky č. 453/2012 Sb., o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů nebo v této práci v kapitole 2.3.

Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu pro výrobu KVET s instalovaným výkonem do 5 MW (včetně):

Druh podporovaného zdroje (výrobní)	Instalovaný výkon výrobní [kW]		Provozní hodiny [hod/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do (včetně)		
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla s výjimkou výroben uplatňujících podporu podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou spalování komunálního odpadu	0	200	3 000	1 610
	0	200	4 400	1 150
	0	200	8 400	220
	200	1 000	3 000	1 150
	200	1 000	4 400	750
	200	1 000	8 400	140
	1 000	5 000	3 000	800
	1 000	5 000	4 400	470
Kombinovaná výroba elektřiny a tepla současně uplatňující podporu podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a spalování komunálního odpadu	0	5 000	8 400	45
	0	5 000	8 400	45

Tab. 2.1 Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu pro výrobu KVET s instalovaným výkonem do 5 MW (včetně) pro rok 2014[7]

Z tabulky (Tab. 2.1) se bodem (1)a v cenovém rozhodnutí ERÚ jedná o zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů a v bodě (2.1.) se jedná o bonusy ze spalování důlního plynu z uzavřených dolů a degazačního plynu.

Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu pro výrobu KVET s instalovaným výkonem od 5 MW:

Druh podporovaného zdroje (výrobný)	Instalovaný výkon výrobný		ÚPE [%]		Účinnost výrobní energie [%]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	
Kombinovaná výrobní elektřiny a tepla	5 000	-	10	15	-	-	45
	5 000	-	15	-	-	45	60
	5 000	-	15	-	45	75	140
	5 000	-	15	-	75	-	200
Nová nebo modernizovaná kombinovaná výrobní elektřiny a tepla	5 000	-	15	-	45	-	200

Tab. 2.2 Základní sazba ročního zeleného bonusu na elektřinu pro výrobu KVET s instalovaným výkonem od 5 MW pro rok 2014 [7]

Modernizovanou kombinovanou výrobní elektřiny a tepla z tabulky (Tab. 2.2) se rozumí stávající výrobní kombinované výroby elektřiny a tepla, na které byla provedena a dokončena po 1. lednu 2013 včetně rekonstrukce nebo modernizace zařízení výrobní kombinované výroby elektřiny a tepla s investicí do všech hlavních částí výrobní kombinované výroby elektřiny a tepla, kterými se rozumí kotel, turbína, generátor a parní rozvody, které ovlivňují vysoceúčinnou kombinovanou výrobu elektřiny a tepla, úsporu primární energie a zvyšují technickou, provozní, bezpečnostní a ekologickou úroveň výrobní kombinované výroby elektřiny a tepla na úroveň srovnatelnou s nově zřizovanými výrobními kombinované výroby elektřiny a tepla [7].

Novou kombinovanou výrobní elektřiny a tepla se rozumí výrobní, která byla uvedena do provozu po 1. lednu 2013 včetně postupem podle vyhlášky č. 478/2012 Sb., o vykazování a evidenci elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů a biometanu, množství a kvality skutečně nabytých a využitých zdrojů a k provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie [7].

Doplňková sazba I k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET:

Druh podporovaného zdroje (výrobný)	Datum uvedení výrobný do provozu		Instalovaný výkon výrobný [kW]		Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
	od	do (včetně)	od	do (včetně)		
Výrobná elektřiny spalující čistou biomasu	1. 1. 2013	31. 12. 2013	0	5 000	O	100
	1. 1. 2014	31. 12. 2014	0	5 000	O	455
Výrobná elektřiny spalující (samostatně) plyn ze zplyňování pevné biomasy	1. 1. 2013	31. 12. 2013	0	2 500	O	455
	1. 1. 2014	31. 12. 2014	0	2 500	O	755
Výrobná elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici	1. 1. 2013	31. 12. 2013	0	2 500	AF	455
Nová výrobná elektřiny spalující bioplyn v bioplynové stanici splňující podmínku bodu (3.5.2.)	1. 1. 2014	31. 12. 2014	0	550	AF	900
Výrobná elektřiny spalující dříví nebo degazační plyn	1. 1. 2013	31. 12. 2014	0	5 000	-	455
Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31. 12. 2012	0	5 000	-	155
Výrobná elektřiny spalující (samostatně) zemní plyn	-	31. 12. 2014	0	5 000	-	455

Tab. 2.3 Doplnková sazba I k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET pro rok 2014 [7]

Celková sazba zeleného bonusu pro základní a doplňkovou sazbu I se pak vypočte dle následujícího vztahu [7]:

$$C_{Zb} = E_{kvet} \cdot (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl.1}) \quad (2.1)$$

C_{Zb} celková výše podpory KVET [Kč]

E_{kvet} množství elektřiny vyrobené KVET [MWh]

$ZB_{zakl.sazba}$ základní sazba zeleného bonusu [Kč/MWh]

$ZB_{dopl.1}$ doplňková sazba I k základní sazbě zeleného bonusu [Kč/MWh]

Doplňková sazba II k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET:

Druh podporovaného zdroje (výrobný)	Kategorie biomasy a proces využití	Zelené bonusy [Kč/MWh]
Společné spalování biomasy a neobnovitelného zdroje energie	S1	940
	S2	520
	P1	940
	P2	520

Tab. 2.4 Doplňková sazba II k základní sazbě ročního zeleného bonusu za veškerou elektřinu z KVET pro rok 2014 [7]

Celková sazba zeleného bonusu pro základní a doplňkovou sazbu II se pak vypočte dle následujícího vztahu [7]:

$$C_{zbsp} = E_{kvet} \cdot ZB_{zakl.sazba} + E_{Bkvet} \cdot ZB_{dopl.II} \quad (2.2)$$

C_{zbsp} celková výše podpory KVET při společném spalování [Kč]

E_{kvet} množství elektřiny vyrobené v KVET [MWh]

$ZB_{zakl.sazba}$ základní sazba zeleného bonusu [Kč/MWh]

$ZB_{dopl.II}$ doplňková sazba II k základní sazbě zeleného bonusu [Kč/MWh]

E_{Bkvet} množství elektřiny vyrobené v KVET připadající na biomasu ($E_{Bkvet} \leq 0,75 \cdot E_{kvet}$) [MWh]

2.2 Stanovení účinnosti kogenerační jednotky

V této části se budeme zabývat výpočtem účinnosti pro všechny výrobní elektřiny podle tabulky (Tab. 2.2), které se stanoví podle vzorce uvedeného v příloze č. 4 bod a) odst. 3 vyhlášky č. 441/2012 Sb., o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie.

Účinnost výroby energie η_{et} pro kogenerační jednotky se stanoví jako poměr fyzikálního ekvivalentu vyrobené elektřiny měřené na svorkách generátoru E_{sv} [MWh] a užitečného tepla dodaného z výrobní Q_{tep} [GJ] k energii paliva spotřebovaného na jejich výrobu Q_{pal} [GJ] za stejnou dobu [4]:

$$\eta_{et} = \frac{3,6 \cdot E_{sv} + Q_{tep}}{Q_{pal}} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.3)$$

- η_{et} účinnost výroby energie [%]
 E_{sv} výroba elektřiny měření na svorkách generátoru [MWh]
 Q_{tep} tepelná energie dodaná z výroby (užitečné teplo) [GJ]
 Q_{pal} energie paliva spotřebovaného v kotlích ke krytí výroby elektřiny a tepla [GJ]

2.3 Stanovení úspory primární energie UPE

Způsob určení poměrné úspory primární energie (UPE) je stanoven v příloze č. 2 vyhlášky č. 453/2012 Sb., o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny, tepla a elektřině z druhotných zdrojů.

Výše úspory primární energie UPE při kombinované výrobě elektřiny a tepla se vypočte podle vzorce [3]:

$$UPE = \left(1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_r^V} + \frac{\eta_e^T}{\eta_r^E}} \right) * 100 \quad [\%] \quad (2.4)$$

přičemž dílčí účinnosti výroby tepla η_q^T a elektřiny η_e^T se stanoví podle vzorců [3]:

$$\eta_q^T = \frac{Q_{už}}{Q_{PAL\ KVET}} \quad [-] \quad (2.5)$$

$$\eta_e^T = \frac{E_{KVET}}{Q_{PAL\ KVET}} \quad [-] \quad (2.6)$$

- η_q^T účinnost dodávky tepla z kombinované výroby elektřiny a tepla [-]
 η_e^T elektrická účinnost kombinované výroby elektřiny a tepla [-]
 η_r^V výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla [-]

η_r^E	výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny [-]
E_{KVET}	množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla [MWh]
$Q_{UŽ}$	množství užitečného tepla
$Q_{PAL KVET}$	spotřeba energie v palivu v procesu kombinované výroby elektřiny a tepla [MWh]

Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny v procentech vztahující se k výhřevnosti paliva, teplotě prostředí 15 °C, atmosférickému tlaku 1,013 barů (1013 hPa), relativní vlhkosti 60 % stanoví tabulka v příloze (Tabulka 1). Tato harmonizovaná referenční hodnota účinnosti se použije v období deseti let od roku uvedení do provozu kogenerační jednotky. Rokem uvedení do provozu kogenerační jednotky se rozumí kalendářní rok, ve kterém byla zahájena výroba elektřiny.

Pokud se pro kogenerační jednotku využívá pouze jeden druh paliva, dosadí se za hodnotu η_{rpal}^E přímo hodnota η_{ripal}^E z tabulky v příloze (Tabulka 1). V případě společného využívání více druhů paliv se stanoví výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny jako vážený průměr vztažený na jednotlivá množství energie v palivu [3].

$$\eta_{rpal}^E = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{pal,i} \cdot \eta_{ripal}^E)}{\sum_{i=1}^n Q_{pal,i}} \quad [\%] \quad (2.7)$$

$Q_{pal,i}$	podíly energie v palivu jednotlivých druhů paliva spotřebovaného pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla [MWh]
η_{ripal}^E	harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny uvedené v tabulce v příloze (Tabulka 1) pro jednotlivé druhy paliva [%]

Harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny se zvyšuje o korekční faktor pro klimatické podmínky $\Delta \eta_{rtep}^E$, který je pro území České republiky stanoven ve výši + 0,7 %. Faktor pro klimatické podmínky se nepoužije pro kogenerační jednotky založené na palivových člácích. Harmonizovaná referenční hodnota

účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny se dále upraví v závislosti na síťových ztrátách, které přímo souvisí s napěťovou úrovní připojení kogenerační jednotky pomocí korekčního faktoru napěťové úrovně připojení k_{nap} . Pokud kogenerační jednotka dodává elektřinu do jedné napěťové úrovně, dosadí se za hodnotu k_{nap} . Pokud kogenerační jednotka dodává elektřinu do jedné napěťové úrovně, dosadí se za hodnotu k_{nap} přímo hodnota k_{inap} z tabulky (Tab. 2.5) uvedenou níže [3].

Napětí	Hodnota korekčního faktoru napěťové úrovně připojení k_{inap}	
	Elektřina dodávána do přenosové nebo distribuční soustavy	Elektřina dodávána pro vlastní spotřebu nebo přímým vedením
>200 kV	1,000	0,860
100 – 200 kV	0,985	0,925
50 – 100 kV	0,965	0,945
0,4 – 50 kV	0,945	0,925
< 0,4 kV	0,925	0,860

Tab. 2.5 Korekční faktory napěťové úrovně připojení [3]

V případě, že kogenerační jednotka dodává elektřinu do více napěťových úrovní, korekční faktor napěťové úrovně připojení se vyhodnotí na základě váženého průměru dodávané elektřiny [3].

$$k_{nap} = \frac{\sum_{i=1}^n (k_{inap} \cdot E_i)}{\sum_{i=1}^n E_i} \quad [-] \quad (2.8)$$

E_i jednotlivé podíly množství elektřiny dodané do odlišných napěťových úrovní [MWh]

k_{inap} hodnoty korekčního faktoru napěťové úrovně připojení [-]

Výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny pro výpočet úspory primární energie v rovnici (2.4) se stanoví podle vzorce [3]:

$$\eta_r^E = \frac{(\eta_{rpal}^E + \Delta \eta_{rtep}^E) \cdot k_{nap}}{100} \quad [-] \quad (2.9)$$

Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu tepla v procentech vztahující se k výhřevnosti paliva, teplotě prostředí 15 °C, atmosférickému tlaku 1,013 barů (1 013 hPa), relativní vlhkosti 60 %, stanoví tabulka v příloze (Tabulka 1).

Pokud se pro kogenerační jednotku využívá pouze jeden druh paliva, dosadí se za hodnotu η_r^V přímo hodnota η_{ripal}^V z tabulky v příloze (Tabulka 1). V případě společného využívání více druhů paliv se stanoví výsledná harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny jako vážený průměr vztažený na jednotlivá množství energie v palivu [3].

$$\eta_r^V = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{pal,i} \cdot \eta_{ripal}^V)}{100 \cdot \sum_{i=1}^n Q_{pal,i}} \quad [-] \quad (2.10)$$

$Q_{pal,i}$ podíly energie v palivu jednotlivých druhů paliva spotřebovaného pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla [MWh]

η_{ripal}^V harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny uvedené v tabulce v příloze (Tabulka 1) pro jednotlivé druhy paliva [%]

3 Trh se silovou elektřinou

V této kapitole se budeme blíže zajímat, jak funguje trh se silovou elektřinou v České republice. Tímto tématem se budeme blíže zabývat, protože po sestavení modelu práce KJ na síti CZT budeme zkoumat, jak se budou měnit kritéria ekonomického hodnocení projektu při změně zapínání kogeneračních jednotek podle ceny silové elektřiny na spotovém trhu. Pro úplnost se seznámíme se všemi možnostmi jak obchodovat se silovou elektřinou.

Výrobce prodává závazek dodat do ES elektrickou energii v určitém množství a čase a protistrana uzavřeného kontraktu se zavazuje dané množství komodity v určitém čase a množství z ES odebrat. Nakupujícím může být konečný spotřebitel nebo obchodník, který elektrickou energii dále prodává. Obchodování se dělí dle toho, zda se strany samy dohodnou na množství a ceně (neorganizovaný trh) nebo se cena a velikost kontraktu stanovuje, dle předem daných pravidel (organizovaný trh). Organizovaný trh se dále dělí na krátkodobý (organizátorem je OTE) a dlouhodobý (organizátorem je energetická burza). Výhodou dlouhodobého organizovaného trhu je možnost uzavřít kontrakt s finančním vypořádáním, u kterého se nepředpokládá, že by elektřina byla do / z ES dodána / odebrána.

Jak bylo výše uvedeno, máme tedy tři možnosti prodeje silové elektřiny na trhu. V naší práci nás nejvíce bude zajímat prodej silové elektřiny na spotovém trhu (organizovaný krátkodobý trh), protože pro tento případ byl především model práce KJ na CZT navržen. V následujících odstavcích si, ale řekneme o všech možnostech, jak lze silovou elektřinu na trhu prodat.

3.1 Organizovaný dlouhodobý trh

Na českém trhu existují dva organizátoři dlouhodobého trhu s elektřinou. Jednou z nich je Českomoravská komoditní burza Kladno (ČKMBK) a druhým je Power Exchange Central Europe (PXE). Působnost ČKMBK je pouze v České republice, zatímco PXE zprostředkovává obchody s místem dodání elektřiny v České republice, v Maďarsku a na Slovensku. Dále se budeme zabývat jen společností PXE, která je majoritní společností v organizovaném dlouhodobém trhu s elektřinou.

Vstup na burzu je podmíněn splněním několika požadavků, které jsou přesně určeny v dokumentu Pravidla účasti, jež společnost vydává. Předmětem obchodování na burze

je elektrická energie o hodinovém výkonu 1 MWh ve všech hodinách všech dnů v rámci sjednaného dodávaného období s místem dodání do české, slovenské či maďarské elektrizační soustavy. Rozlišujeme několik typů kontraktů, s kterými se na burze obchoduje. Jedná se o kontrakty spotové, futures (derivátové) s fyzickým vypořádáním a futures (derivátové) s finančním vypořádáním (ty jsou možné pouze v rámci trhu ČR). Kontrakty futures existují ve dvou verzích. Verze Base Load zahrnuje dodávku ve všech hodinách, všech dnech dodávkového období a verze Peak Load je dodávka od pondělí do pátku v čase od 8:00 do 20:00. Délka stanoveného období futures je měsíční, čtvrtletní či roční. [8]

Na burze jsou rozlišeny dva základní typy obchodů – automatizované a registrované. Automatizovaný obchod je anonymní a v jeho rámci účastníci zadávají jednotlivé objednávky do systému Trayport GlobalVision. Účastníci zadávají nabídky a poptávky do tohoto systému a v případě, že se cena na nákup a prodej kryje, objednávky se průběžně párují. Druhý typ obchodu (registrovaný) je na burze umožněn od poloviny roku 2008. Kontrakt je uzavřen mimo burzu bilaterálně (mezi dvěma účastníky) či prostřednictvím brokera. Burza pak slouží jako prostředek pro následnou registraci a vypořádání takto uzavřených obchodů (tzv. OTC clearing). [8]

3.2 Organizovaný krátkodobý trh

Na krátkodobém trhu se silovou elektřinou mají prodávající a kupující dvě možnosti, jak uzavřít smlouvu na krátkodobou dodávku. Nejkratší období je jedna hodina a nejdelší je jeden den. Kontrakty zprostředkovává burza PXE a operátor trhu s elektřinou (OTE). V roce 2009 došlo k propojení platforem PXE a OTE, čímž se dva spotové trhy organizované v České republice vedle sebe spojily a účastníci energetické burzy získali prostřednictvím terminálů PXE přístup na denní trh OTE. [8]

Organizátorem krátkodobého trhu s místem dodání v České republice se po propojení stal výhradně operátor trhu. Trh se dělí na blokový trh (BT), denní trh (DT) a vnitrodenní trh (VDT), přičemž největší podíl nakoupené a prodané množství elektrické energie je na trhu denním. Účastníci spotového trhu zadávají skrze centrální informační systém OTE své nabídky a poptávky. Měna pro denní trh je daná v EUR/MWh a pro BT a VDT v Kč/MWh. [9]

Na blokovém trhu se obchoduje s následujícími bloky:

- 1) BASE: dodávka ve všech hodinách dne dodávky
- 2) PEAK: dodávka v pracovních dnech v době od 8:00 do 20:00
- 3) OFF PEAK: dodávka v pracovních dnech v době od 0:00 do 8:00 a od 20:00 do 24:00

Obchodování s jednotlivými typy bloků pro daný den dodávky je zahájeno 5 dní před dnem dodávky a je ukončen 1 den před dnem dodávky elektřiny. Po zadání nabídek/poptávek do systému dochází ke vzájemnému anonymnímu automatickému přiřazení poptávek k nabídkám (tzv. spárování). Ke spárování dochází v případě překrytí limitních cen. V případě poptávek je limitní cenou cena, za kterou jsou kupující elektřinu ochotní nakoupit. Nabídková limitní cena je cena, za kterou jsou prodávající elektřinu ochotní prodat. [10]

Na denním trhu se obchoduje s elektřinou na den D (den dodávky elektřiny do ES) 24 hodin předem (nebo v nejbližším předchozím pracovním dni). Nejkratší obchodovatelnou jednotkou je jedna hodina (obchodní hodina). Trh se uzavírá dle platného harmonogramu, tedy v 11:15. [9]. Samotné obchodování probíhá formou dvoustranné aukce, kdy je cena pro odběratele stanovena jako cena mezní (ta je stanovena Operátorem trhu dle planých obchodních podmínek). Výsledkem je tak jediná cena, která platí jak pro dodavatele, tak i pro odběratele. [9] [10]



Obr. 3.1 Ukázka výsledku denního trhu se silovou elektřinou na den (28.3.2014) 24 hodin předem [9]

Vnitrodenní trh se otevírá po skončení denního trhu, konkrétně v 15:00. Je postupně po hodinách uzavírán, přičemž doba uzavírky je 60 minut před hodinou dodávky. Každá nabídka/poptávka obsahuje množství a cenu, za kterou jsou účastníci ochotni prodat/koupit dané množství elektrické energie [9]. Nabídky/poptávky se v případě vnitrodenního trhu

automaticky nespárují, účastníci dané nabídky/poptávky skrze centrální informační systém operátora trhu s elektřinou akceptují. [10]

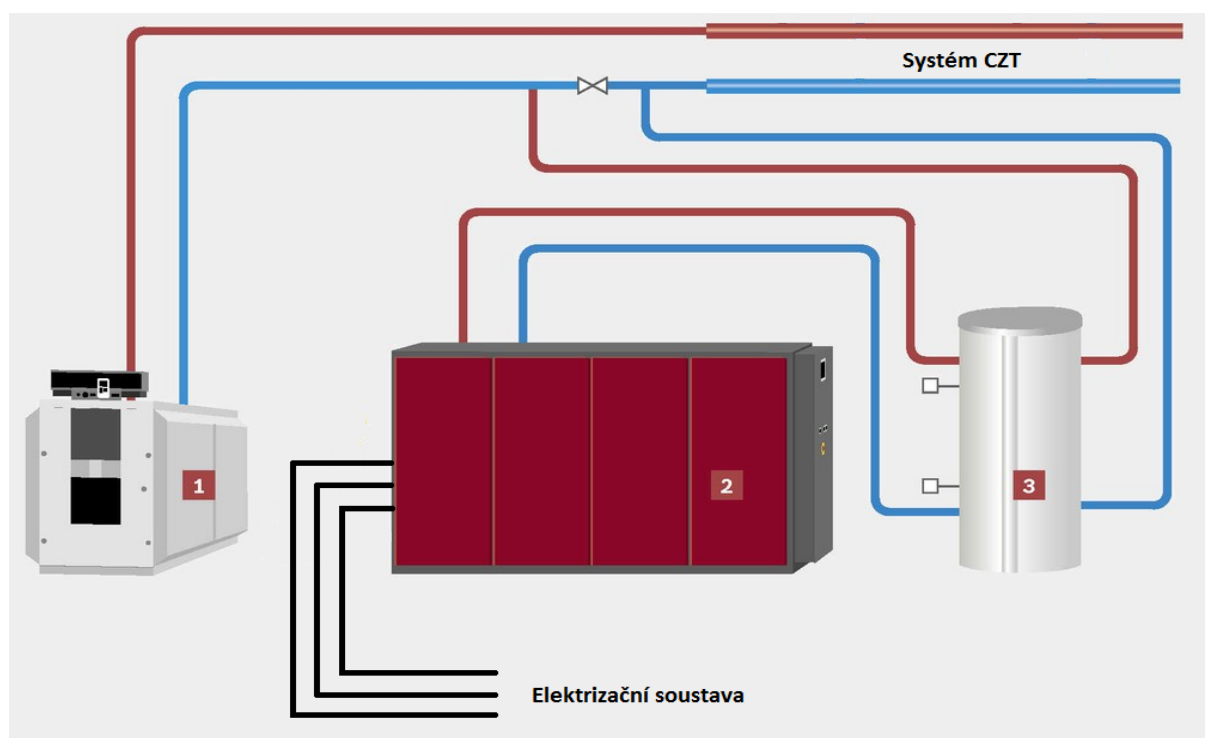
3.3 Neorganizovaný trh s elektřinou

Na neorganizovaném trhu s elektřinou mezi sebou uzavírají kontrakty výrobci přímo se spotřebitelem nebo s obchodníkem s elektřinou, který je dále zavázán v dodání určitého množství elektřiny v daný čas. Cena elektřiny se nevytváří podle předem daných pravidel, ale účastníci bilaterálních domluv si množství a cenu elektrické energie určí sami. Smlouvy se uzavírají především na dobu jednoho roku a více, přičemž se předpokládá fyzické plnění závazku.

Tento způsob obchodování se silovou elektřinou je neprůhledný a informace o uzavřených kontraktech jsou téměř nedohledatelné. Pouze díky operátorovi trhu, do jehož systému se registrují uzavřené kontrakty, u kterých se předpokládá fyzické vypořádání (včetně těch, co jsou uzavřeny na spotovém a dlouhodobém trhu), lze přesně říci, jaké množství elektrické energie je v rámci bilaterálních smluv zobchodováno. [10]

4 Teoretický rozbor navrhovaného modelu

Úkolem této diplomové práce je vytvoření modelu práce kogeneračních jednotek připojené do sítě centrálního zásobování teplem (CZT). Hlavním úkolem kogeneračních jednotek a dalších přídavných zařízení je pokrytí tepelného požadavku. Model bude navrhnout především pro KJ se spalovacím motorem na zemní plyn. Jak jsme se v kapitole 1.2 mohli dočíst, tak tyto jednotky mají výhodu v rychlém spínání a to téměř bez omezení. Na druhou stranu se u těchto jednotek nevyužívá regulace výkonu. K pokrývání tepelného požadavku, který není vždy stejný jako výkon jednotek, se využívá spínací strategie a akumulačních nádrží. Když nastane takový případ, že kogenerační jednotky jsou vypnuty, tak se tepelný požadavek pokrývá nejdříve z akumulačních nádrží a když už v nádržích není dostatek tepelné energie, spustí se kotel spalující zemní plyn, který tento požadavek pokryje. Přídavný kotel se používá i pro vyrovnaní špiček zatížení. Principiální schéma naší technologické části můžeme vidět na následujícím obrázku (Obr. 4.1).



- 1) Kotel spalující zemní plyn
- 2) Kogenerační jednotky se spalujícím motorem na zemní plyn
- 3) Akumulační nádrže na teplou vodu

Obr. 4.1 Principiální schéma technologické části [12]

Podle obrázku (Obr. 4.1) můžeme vidět, že naše technologická část se bude skládat z těchto hlavních částí:

- Kogeneračních jednotek se spalujícím motorem na zemní plyn
- Kotle spalující zemní plyn
- Akumulačních nádrží

V navrhovaném modelu práce kogeneračních jednotek na síti CZT se budeme zabývat tepelnými ztrátami akumulčních nádrží, ale dál se nezabýváme ztrátami v systému přenosu tepla v naší technologické části ani v části CZT. Předpokládáme, že ztráty v naší technologické části jsou malé a můžeme je zanedbat s tím, že výrazně neovlivňují ekonomické hodnocení. Tyto ztráty je velice obtížné určovat s ohledem na to, jestli se technologie nachází ve vytápěném objektu, mimo tento objekt nebo ve venkovním prostředí. Parametry a izolace rozvodu tepla v našem systému bude v souladu s vyhláškou č. 193/2007 Sb., kterou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu. V našem modelu se tedy budeme zabývat jen tepelnými ztrátami akumulčních nádrží umístěných ve venkovním prostředí, kvůli jejich velkým rozměrům.

4.1 Kogenerační jednotky se spalujícím motorem na zemní plyn

Model je navrhnout jen pro kogenerační jednotky se spalujícím motorem (základní princip činnosti již byl uveden v kapitole 1.2). Na jiné kogenerační jednotky nelze tento model používat a to je dáno tím, že tyto jednotky lze zapínat/vypínat kdykoliv je potřeba, aniž bychom byli omezeni technologií. Pokud jednotky zapínáme nebo vypínáme, ke změně výkonu dochází rychle a nemusíme počítat s náběhem či doběhem jednotek. Toto však neplatí u jiných technologií kogeneračních jednotek. Hlavním úkolem KJ je pokrytí tepelného požadavku a výroba elektrické energie je spíše druhotným produktem. Tyto jednotky se instalují tam, kde vyrobené teplo z těchto jednotek je plně využíváno.

Náš model je navržen pro jednotlivé jednotky do výkonu 5 MW v neomezeném počtu. Na českém trhu existuje mnoho prodejců těchto jednotek v různých provedeních a výkonových tříd. Většina se vyrábí ve třech základních provedeních a to v provedení blokovém nebo modulovém do vnitřních prostor nebo v provedení kontejnerovém pro

venkovní umístění. Blokované provedení se používá pro jednotky do 500 kWe a jsou opatřeny elektrickým rozvaděčem a protihlukovým krytem. Jednotky modulové (výkony 500 kWe a výš) jsou bez elektrického rozvaděče a protihlukového krytu, který se musí dodat zvlášť.



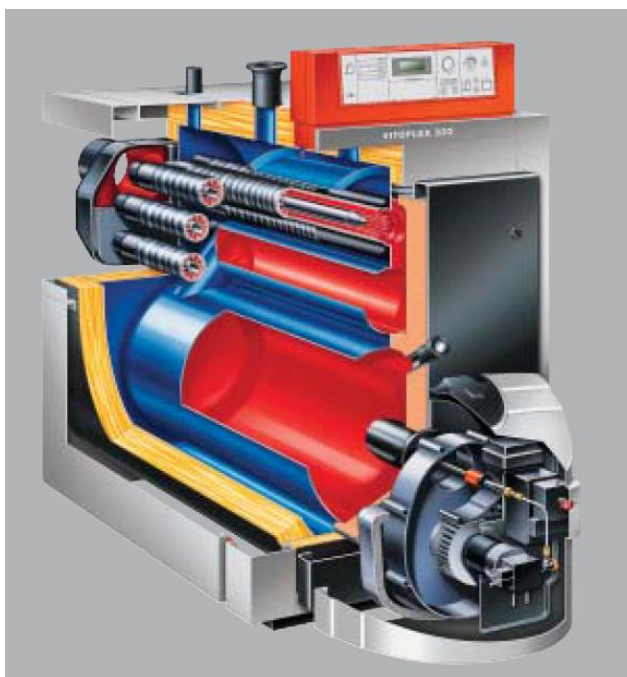
Obr. 4.2 Ukázka základního provedení kogeneračních jednotek od firmy TEDOM a.s. (vlevo provedení blokované (skříňové) a napravo provedení kontejnerové)[1]

4.2 Kotel spalující zemní plyn

Pro zlepšení ekonomického využití KVET je vhodné kogeneračními jednotkami pokrýt úseky křivky, které jim dovolují dlouhé trvání doby maxima, zatímco krátké doby přenechat investičně levnějším zdrojům. Použití kotlů spalující zemní plyn s sebou přináší určité výhody i nevýhody. Předně jejich velkou předností je vcelku malý měrný zastavěný prostor spojený s velkou dynamikou změny výkonu. Tyto dvě vlastnosti ho předurčují k funkci špičkového a záložního zdroje.

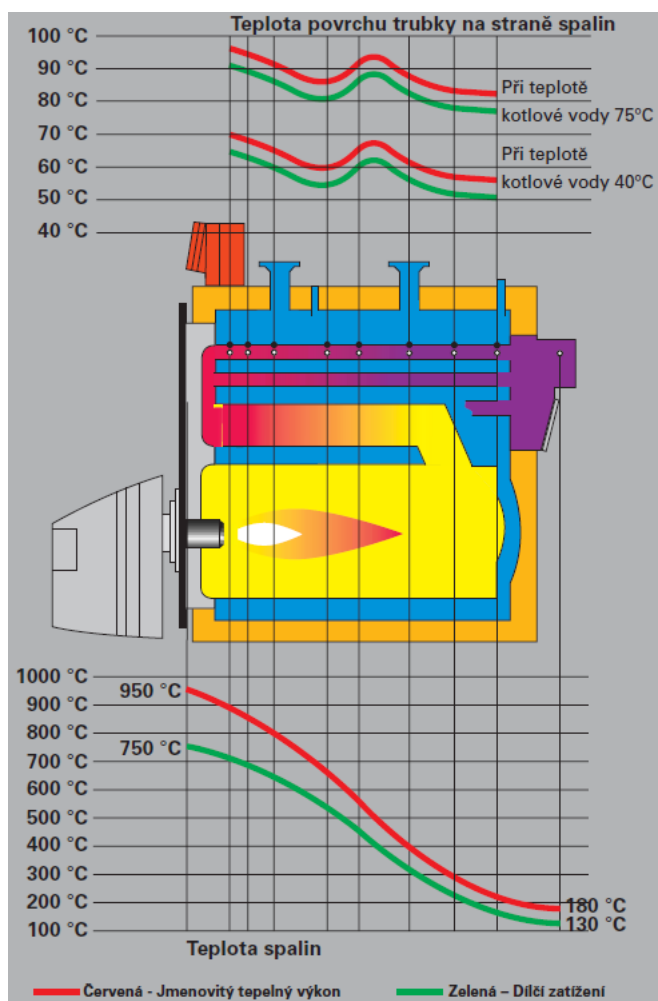
Kotel využíváme tehdy, když požadavek po teple je větší, než jsme schopni dodat z kogeneračních jednotek a akumulčních nádrží. Nebo také tehdy, kdy máme vypnutý kogenerační jednotky z důvodů řídicí strategie, požadavek pokrýváme z akumulčních nádrží a pak následně z kotle. Velkou výhodou je, že regulace kotlů je plynulá a má veliký rozsah na rozdíl od kogeneračních jednotek, tím tedy můžeme přesněji pokrýt požadavek po teple. Nevýhodou je samozřejmě, že v těchto jednotkách produkujeme jenom teplo nikoliv elektrickou energii.

V České republice existuje mnoho prodejců kotlů na zemní plyn a záleží na technických a ekonomických požadavcích, jaký kotel je vhodný do konkrétního projektu. Model navrhovaný v této práci je navržen pro všechny druhy kotlů, které jsou vhodné do našeho technologického systému. Tím se tedy bude jednat o velkou škálu kotlů pro velké rozsahy výkonů a různých technologií. V naší práci si ukážeme základní princip kotle od firmy Viessmann, spol. s r.o., které jsou do výkonů 2 MW tepelných. Svým velkým rozsahem výkonů jsou tyto kotle vhodné do většiny aplikací společně s kogeneračními jednotkami.



Obr. 4.3 Plynový kotel Vitoplex 300[11]

Jedná se o bivalentní nízkoteplotní plynové kotle s tepelným spádem 90/70. Plyn je přiveden do tlakového hořáku, kde dohází k jeho vznícení. Teplo je z hořáku odebíráno pomocí teplosměnných ploch umístěných přímo ve spalovací komoře a spalinám při jejich průchodu topnými trubkami. Vícevrstvé konvekční topné plochy kotle se skládají z ocelových trubek zasunutých do sebe, které jsou vzájemně zalisované tak, aby dobře vedly teplo. Vnitřní trubka umožňuje díky svému žebrování až 2,5krát větší topnou plochu než tradiční hladké trubky. Normovaný stupeň využití (účinnost) těchto kotlů je vyšší než 90 %. Na obrázku (Obr. 4.4) můžeme vidět princip takového kotle s průběhem teplot spalin a teploty povrchu trubky na straně spalin. [11]

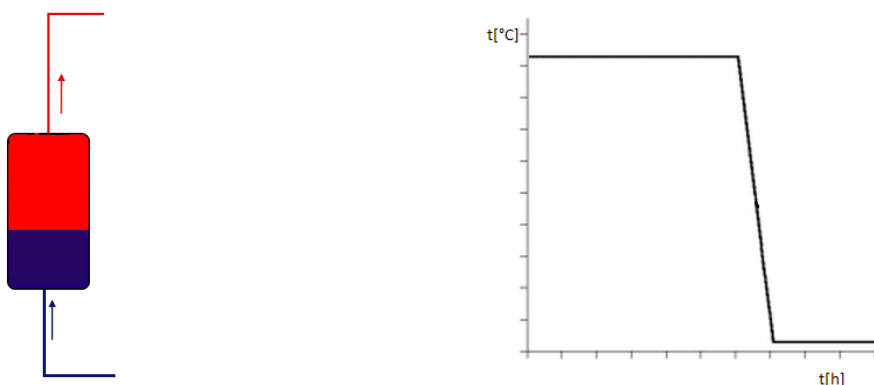


Obr. 4.4 Princip třítahového kotle [11]

4.3 Akumulační nádrže

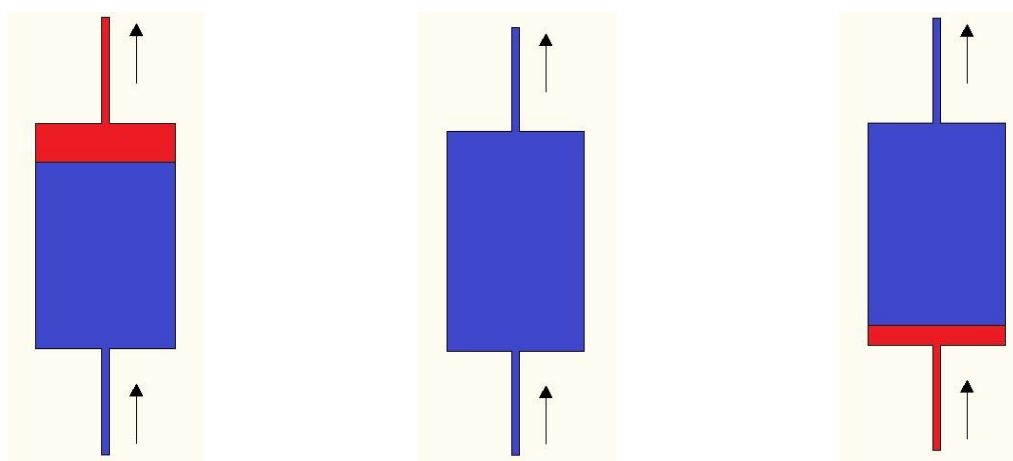
Akumulace tepla pomáhá vyrovnávat průběh tepelného zatížení, tak aby se vytvořil technický a ekonomicky výhodný provozní režim. Ukládání energie v zásobnících nám pomáhá při kompenzaci ostrých špiček velmi rychlého zatížení a také i v případě, kdy tepelný požadavek je menší než výkon KJ. Přebytné teplo uložíme do zásobníků a kogenerační jednotky nemusíme vypínat či regulovat. Teplo uložené v zásobnících následně využijeme v dobu, kdy jednotky budou vypnuty. Těmito vlastnostmi akumulace dosáhneme mnohem výhodnějšího průběhu zatížení s možností omezení instalovaného výkonu a výhodnějšího použití pro KVET. Samotná CZT vykazuje v jisté míře omezené schopnosti akumulace, které ovšem v převážné míře nestačí a proto je nutné tuto soustavu ve vhodných místech doplnit o další akumulátory. Vhodným řešením je použití vodního akumulátoru, který je tvořen soustavou úzkých ocelových trubek, které mají společný přítok a odtok. Na obrázku níže

(Obr. 4.5) můžeme vidět ukázkou rovnotlakého horkovodního akumulátoru a průběh jeho vybíjení.



Obr. 4.5 Rovnotlaký vytláčovací horkovodní akumulátor a průběh jeho vybíjení

Na obrázku níže (Obr. 4.6) můžeme vidět, jaký případ nastane při zcela vybití zásobníku a jeho opětovného nabíjení. Tedy zásobník vybijíme a zcela ho vybijeme (krok 1 a 2 z Obr. 4.6) a začneme ho postupně nabíjet (krok 3 z Obr. 4.6), tak uloženou energii v zásobníku nemůžeme z počátku nabíjení hnedka odebrat. Je to tím, že přivedené teplo se přivádí zespondu zásobníku a musí dojít tedy k promísení. Až se teplá voda dostane do horní části zásobníku, tak tehdy můžeme teplou vodu odebrat a tím využít teplo uložené v zásobníku.



1) Vybíjení

2) Plně vybitý

3) Nabíjení

Obr. 4.6 Ukázka plného vybití zásobníku teplé vody a jeho opětovného nabíjení

4.3.1 Ztráty v zásobníku

Abychom mohli určit tepelné ztráty zásobníků teplé vody, musíme nejdříve vědět, jaké druhy šíření tepla existují a jak se vypočítají. Druhy šíření tepla jsou následující:

- Vedením (kondukcí)
- Prouděním (konvekcí)
- Sáláním (radiací)

Vedení (kondukcce)

Částice látky v oblasti s vyšší střední kinetickou energií předávají část své pohybové energie prostřednictvím vzájemných srážek částicím v oblasti s nižší střední kinetickou energií. Částice se přitom nepřemisťují, ale kmitají kolem svých rovnovážných poloh.

V našem případě pokud budeme počítat ztráty vedením, tak zásobník je složen z několika izolačních vrstev. Pro rovinnou stěnu složenou z několika vrstev je výpočet tepelného toku Φ dle následujícího vztahu [12]:

$$\Phi = \frac{S \cdot (T_1 - T_2)}{\frac{l_1}{\lambda_1} + \frac{l_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{l_n}{\lambda_n}} \quad [W] \quad (4.1)$$

Φ tepelný tok [W]

S plocha stěny [m²]

l_n tloušťka vrstvi n [m]

λ_n součinitel tepelné vodivosti pro vrstvu n [W/m.K]

T_1, T_2 teploty na povrchu složené stěny [K]

A pro válcovou stěnu složenou z několika vrstev je výpočet tepelného toku Φ dle následujícího vztahu [12]:

$$\Phi = \frac{2\pi \cdot l \cdot (T_1 - T_2)}{\frac{1}{\lambda_1} \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \ln \frac{r_3}{r_2} + \dots + \frac{1}{\lambda_n} \ln \frac{r_n}{r_{n-1}}} \quad [W] \quad (4.2)$$

l délka válcové stěny [m]

r_n poloměr k vrstvě n (vnitřní poloměr r_1 a vnější r_n) [m]

Proudění (konvekce)

Konvekce je takový způsob přenosu tepla, který je vázán na přenos hmoty o určité vnitřní energii z jednoho místa na druhé. Z makroskopického pohledu se nejedná o přenos tepla, ale o přenos hmoty, na kterou je teplo vázané. Tento pohyb je iniciován buď gradientem teploty, nebo také vnějším působením. Rozlišujeme tedy dvě možnosti konvekce a to přirozená a nucená. Výpočet tepelného toku pro proudění je dle následujícího vztahu:

$$\Phi = \alpha \cdot S \cdot (T_p - T_i) \quad [W] \quad (4.3)$$

Φ tepelný tok [W]

S plocha pevného povrchu [m²]

T_p teplota pevného povrchu [K]

T_i teplota proudící tekutiny nebo plynu [K]

α součinitel přestupu tepla [W/m².K]

Hodnotu součinitel přestupu tepla α je v praxi velmi složité a používá se matematicko – experimentální model, nebo v důležitých případech, je možné tento koeficient změřit. Součinitel přestupu tepla prouděním α je závislý na tlaku, teplotě a rychlosti proudění tekutiny, na druhu proudění (laminární nebo turbulentní) a na fyzikálních vlastnostech kapaliny (hustotě, měrné tepelné kapacitě, tepelné vodivosti a viskozitě) a dále na tvaru, rozměrech a drsnosti obtékaného tělesa. [12]

Sálání (radiace)

Přenos tepla sáláním se liší od vedení a proudění jiným mechanismem přenosu. Přenos energie, respektive tepla, se děje pomocí elektromagnetických vln v celém rozsahu vlnových délek. Elektromagnetické vlnění je vytvářeno každým neprůzračným tělesem o teplotě větší než 0 K a zároveň okolní záření pohlcuje.

Na těleso rovněž dopadá tepelný tok od ostatních těles v prostoru. K ohřevu tělesa pochopitelně dochází, přijímá-li ze svého okolí více energie než samo vyzáří a naopak. Množství vyzařované energie je úměrné ploše aktivního povrchu tělesa a čtvrté mocnině jeho termodynamické teploty. Je rovněž závislé na charakteru povrchu tělesa. Výpočet tepelného výkonu sálání do okolí vypočteme dle následujícího vztahu:

$$\Phi = S \cdot \sigma \cdot \varepsilon \cdot (T_p^4 - T_{out s}^4) \quad [W] \quad (4.4)$$

T_p teplota povrchu tělesa [K]

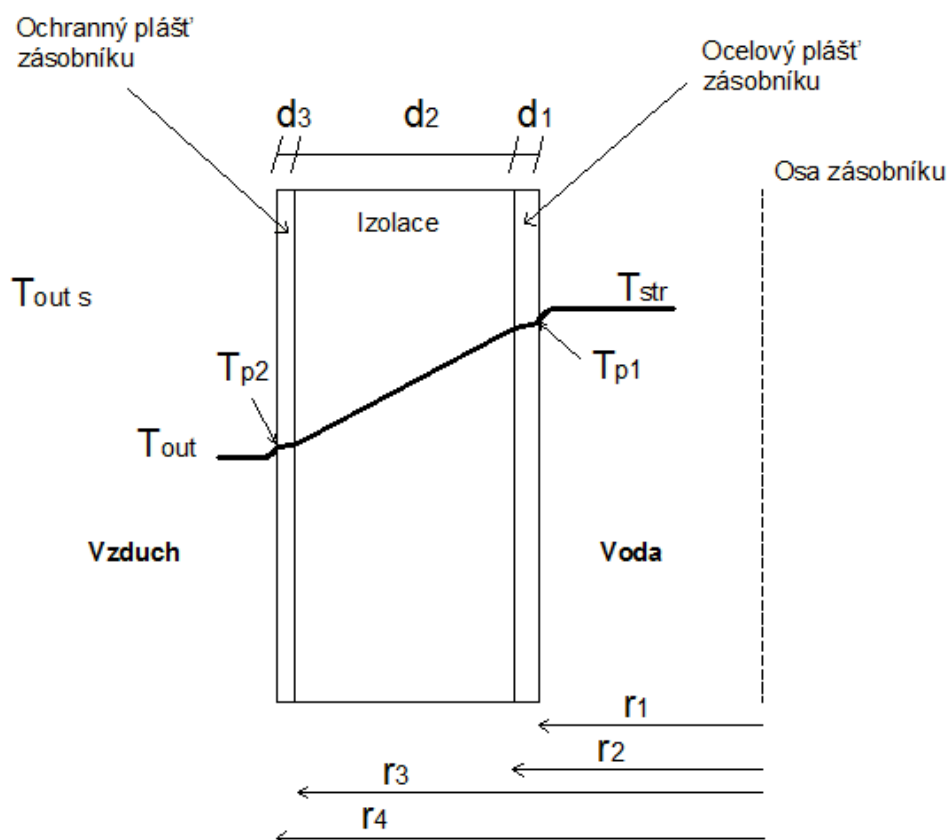
$T_{out s}$ teplota venkovní – sálavá [K]

S plocha tělesa [m²]

σ Stefanova-Boltzmannova konstanta ($5,670373 \times 10^{-8} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$)

Výpočet tepelných ztrát pro zásobníky teplé vody

V našem případě se bude jednat o zásobníky ve tvaru válcovém. Opravdové zásobníky nemusí mít podstavce ploché, ale pro zjednodušení je budeme považovat za ploché. Složení stěny zásobníků a průběh teplot pro rovinnou stěnu můžeme vidět na následujícím obrázku:



Obr. 4.7 Složení stěn zásobníků a průběh teplot pro rovinnou stěnu

Na obrázku (Obr. 4.7) můžeme vidět, jak vypadá složení všech stěn zásobníků. Průběh teplot je pro rovinnou stěnu, který v našem případě platí pro podstavce kruhového průřezu. Průběh pro válcovou stěnu není lineární, ale má funkci logaritmickou. V našem případě, ale tento průběh bude přibližně stejný i pro válcovou stěnu a to z důvodů velkého průměru

zásobníků. Z obrázku (Obr. 4.7) odvodíme rovnice pro výpočet tepelného toku pro celý zásobník.

Rovnice pro přestup tepla pro celý zásobník **voda – ocelový plášť**:

$$\Phi = \alpha_1 \cdot S_1 \cdot (T_{str} - T_{p1}) \quad [W] \quad (4.5)$$

α_1 součinitel přestupu tepla voda - ocelový plášť [W/m².K]

S_1 vnitřní plocha zásobníku [m²]

Rovnice pro vedení tepla pláštěm a dvěma podstavami:

Tepelný odpor pláště:

$$R_1 = \frac{\frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} + \frac{1}{\lambda_2} \cdot \ln \frac{r_3}{r_2} + \frac{1}{\lambda_3} \cdot \ln \frac{r_4}{r_3}}{2 \cdot \pi \cdot l} \quad \left[\frac{K}{W} \right] \quad (4.6)$$

Tepelný odpor podstavy:

$$R_2 = \frac{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}}{\pi \cdot r_1^2} \quad \left[\frac{K}{W} \right] \quad (4.7)$$

Celkový tepelný odpor:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{2R_1 + R_2} \quad \left[\frac{K}{W} \right] \quad (4.8)$$

Rovnice pro výpočet tepelného toku:

$$\Phi = \frac{(T_{p1} - T_{p2})}{R} \quad [W] \quad (4.9)$$

l výška zásobníku [m]

λ_1 součinitel tepelné vodivosti ocelového pláště [W/m.K]

λ_2 součinitel tepelné vodivosti izolace [W/m.K]

λ_3 součinitel tepelné vodivosti ochranného pláště [W/m.K]

Rovnice pro přestup tepla pro celý zásobník **ochranný plášť – vzduch** plus teplo vyzářené sáláním:

$$\Phi = \alpha_2 \cdot S_2 \cdot (T_{p2} - T_{out}) + \varepsilon \cdot \sigma \cdot (T_{p2}^4 - T_{out}^4) \quad [W] \quad (4.10)$$

α_2součinitel přestupu tepla ochranný plášť - vzduch [W/m².K]

S_2vnější plocha zásobníku [m²]

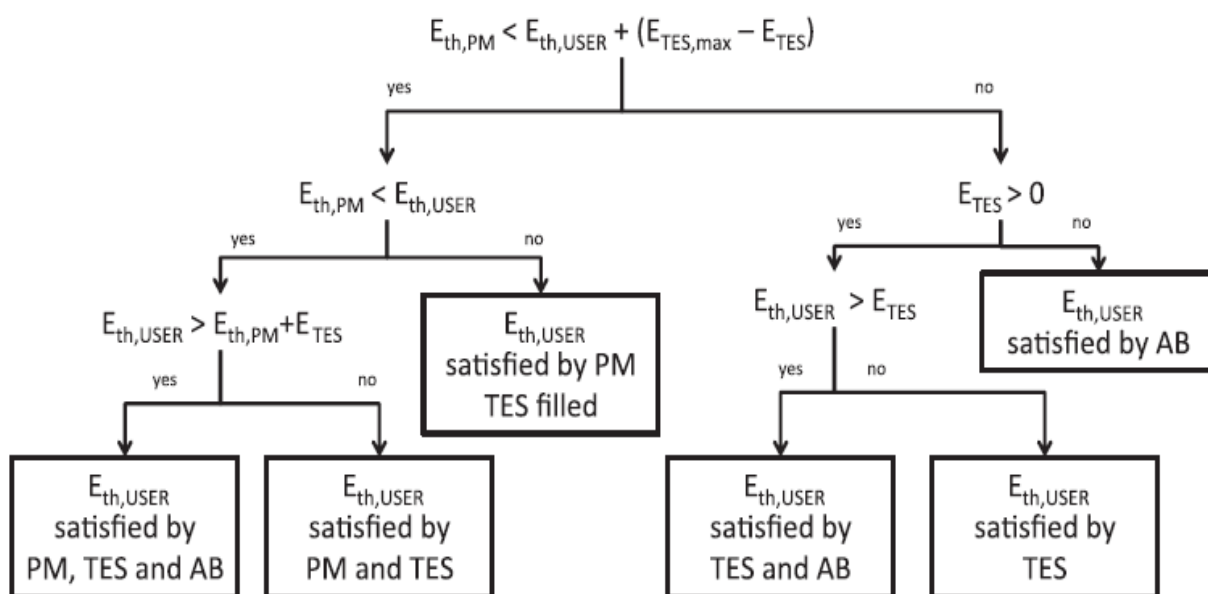
εemisivita povrchu zásobníku (ochranného pláště)

Z výše uvedených rovnic je vidět, že je zapotřebí, aby byly co nejmenší součinitele tepelné vodivosti, součinitele přestupu tepla a emisivita ochranného pláště. V praxi se pro zmenšení součinitele tepelné vodivosti používá izolace u dalších částí z technických důvodů nelze výrazně snižovat tepelná vodivost. Součinitele přestupu tepla mezi vodou a ocelovým pláštěm zásobníku také moc neovlivníme, za to můžeme ovlivnit součinitel mezi ochranným pláštěm a vzduchem. Tento činitel závisí na povrchu pláště, okolní teplotě, umístění (uvnitř budovy – konvekce přirozená, mimo budovy – konvekce nucená) a dalších... Emisivitu povrchu se snažíme také snížit a v praxi se většinou aplikuje leštěným hliníkovým povrchem, který má i mimo jiné výborné ochranné vlastnosti.

Nejdůležitější částí pro snížení tepelných ztrát jsou izolační materiály, které mají co nejmenší tepelnou vodivost λ . Izolace bude odlišná podle druhu použití, druhů zásobníků a podle různých výrobců. Za to izolace musí splňovat § 8 vyhlášky č. 193/207 Sb. Která přesně stanovuje minimální parametry izolace. Znění vyhlášky je následovné: „*Minimální tloušťka tepelné izolace pasivních zásobníků (akumulačních nádob) je 100 mm při použití izolačního materiálu se součinitelem tepelné vodivosti λ menším nebo rovným 0.04 W/m.K (udáváno při teplotě 0 °C). Při menších hodnotách součinitelů tepelné vodivosti se tloušťka izolace přepočítá tak, aby bylo dosaženo součinitele prostupu tepla $U \leq 0.30$ W/m².K.*“

4.4 Práce kogeneračních jednotek s akumulací tepla na síti CZT

V této části si ukážeme, jak probíhá pokrývání tepelného požadavku kogeneračními jednotkami s akumulací tepla a kotlem. Na obrázku (Obr. 4.8) můžeme vidět rozhodovací diagram práce těchto jednotek na síti CZT. V našem případě budeme model počítat pro každou hodinu v roce, ale tento rozhodovací diagram platí pro jakýkoliv interval. Čím menší interval zvolíme, tím náš model bude přesnější.



Obr. 4.8 Rozhodovací diagram pro práci kogeneračních jednotek na síti CZT

$E_{th,PM}$ množství tepelné energie, kterou můžou dodávat kogenerační jednotky v dané hodině [MWh]

$E_{th,USER}$ hodinový požadavek po teple [MWh]

$E_{TES,max}$ maximum tepelné energie, které je možné uložit v akumulární nádrži [MWh]

E_{TES} aktuální množství uložené energie v dané hodině v akumulární nádrži [MWh]

AB.....kotel spalující zemní plyn (auxiliary boiler)

TESakumulační nádrže (thermal energy storage)

PMkogenerační jednotka (prime mover)

Nyní si uvedeme princip práce kogeneračních jednotek s akumulací tepla na síti CZT podle rozhodovacího diagramu na obrázku (Obr. 4.8). Tedy nejdříve si porovnáme, zda energie, kterou můžou dodat kogenerační jednotky, je menší než energie, kterou lze uložit do akumulárních nádrží plus energie požadovaná od systému CZT. Pokud je menší, kogenerační jednotky se můžou zapnout, ale pokud by byla větší, tak se kogenerační jednotky vypnou. Tímto je diagram rozdělen na levou a pravou část, kde v levé části jsou jednotky zapnuty a v pravé jsou vypnuty.

Levá část diagramu

V této části jsou tedy jednotky zapnuty. Dále zjišťujeme, zda je energie kogeneračních jednotek menší, než tepelný požadavek. Pokud není menší, tak se tepelný požadavek bude

pokrývat kogeneračními jednotkami a přebytečná energie se bude ukládat do akumulčních nádrží. Jestliže je energie dodaná KJ menší než tepelný požadavek, tak dále zjišťujeme, jestli tepelný požadavek je větší, než energie dodaná kogeneračními jednotkami plus energie uložená v akumulčních nádržích. Jestli je větší, tak se nám tento požadavek bude pokrývat energií z kogeneračních jednotek, akumulčních nádrží a kotle. Pokud není větší, tak požadavek pokryjeme kogeneračními jednotkami a teplem z akumulčních nádrží.

Pravá část diagramu

V pravé části diagramu, kdy jsou kogenerační jednotky vypnuty, zjišťujeme, zda máme nějakou uloženou energii v akumulčních nádržích. Pokud nemáme, tak tepelný požadavek pokrýváme jen kotlem. Jestliže v akumulční nádrži máme nějakou uloženou energii, tak dále zjišťujeme, zda tato energie je větší než tepelný požadavek. V případě, že energie v akumulčních nádržích je větší nebo rovna tepelnému požadavku, tak tento požadavek pokrýváme teplem z akumulčních nádrží. Pokud tomu tak není, požadavek pokrýváme kotlem a teplem z akumulčních nádrží.

4.5 Kritéria ekonomické hodnocení investice

V této práci se budeme zabývat ekonomickým hodnocením z pohledu projektu. To je takové hodnocení projektu bez ohledu na financování a rozdělení efektů realizace projektu.

4.5.1 Provozní cash flow - CF

Peněžní tok, nebo také cash flow, je jednoduše řečeno příjem nebo výdej peněžních prostředků. Peněžní tok za určité období představuje tedy rozdíl mezi příjmy a výdaji peněžních prostředků za toto období. Provozní cash flow jsou finanční toky spojené s provozem podniku. V rovnici (4.11) můžeme vidět, jak se vypočítá provozní cash flow (CF) pro jednotlivý rok.

$$CF_t = V_{TEP_t} + V_{E_t} - N_{P_t} - N_{PP_t} \quad (4.11)$$

V_{TEP_t} výnosy z dodávky tepla v t – tém roce [Kč]

V_{E_t} výnosy z dodávky elektřiny v t – tém roce [Kč]

N_{P_t} proměnné náklady na zemní plyn v t – tém roce [Kč]

N_{PP_t} proměnné náklady na údržbu zařízení v t – tém roce [Kč]

Výnosy z dodávky tepla

$$V_{TEP_t} = C_{TEP} \cdot \Delta C_t \cdot \left(\sum_{i=1}^n Q_{KVET_{i,t}} + Q_{KOT_t} \right) \quad (4.12)$$

C_{TEP} průměrná cena tepla pro první rok [Kč/GJ]

ΔC_t změna průměrné ceny tepla od prvního roku pro rok t [-]

n počet kogeneračních jednotek

$Q_{KVET_{i,t}}$ množství vyrobeného tepla i -tou kogenerační jednotkou pro rok t [GJ]

Q_{KOT_t} množství vyrobeného tepla v kotli pro rok t [GJ]

Výnosy z dodávky elektřiny

$$V_{E_t} = C_{Zb_t} + C_{SPOT_t} \quad (4.13)$$

C_{Zb_t} celková cena za zelené bonusy z elektřiny vyrobené v KVET pro rok t [Kč]

C_{SPOT_t} celková cena z prodeje silové elektřiny na spotovém trhu vyrobené v KVET pro rok t [Kč]

Kde celková cena za zelené bonusy z elektřiny vyrobené v KVET se vypočte dle následujícího vztahu:

$$C_{Zb_t} = \left(\sum_{i=1}^n E_{KVET_{i,t}} \cdot (ZB_{zakl.sazba_{i,t}} + ZB_{dopl_{i,t}}) \right) \quad (4.14)$$

$E_{KVET_{i,t}}$ množství vyrobené elektřiny i -tou kogenerační jednotkou za rok t [MWh]

$ZB_{zakl.sazba_{i,t}}$ výše základní sazby zelených bonusů pro i -tou kogenerační jednotkou za rok t určeno dle kapitoly 2.1 [Kč/MWh]

$ZB_{dopl_{i,t}}$ výše doplňkové sazby zelených bonusů pro i -tou kogenerační jednotkou za rok t určeno dle kapitoly 2.1 [Kč/MWh]

Celková cena z prodeje silové elektřiny na spotovém trhu vyrobené v KVET se vypočte dle následujícího vztahu:

$$C_{SPOT_t} = \sum_{h=1}^k \sum_{i=1}^n E_{KVET_{i,h,t}} \cdot C_{hod_spot_h} \cdot \Delta C_{hod_spot_t} \quad (4.15)$$

$E_{KVET\ i,h,t}$ množství vyrobené elektřiny i -tou kogenerační jednotkou v hodině h v roce t
[MWh]

$C_{hod_spot\ h}$ cena silové elektřiny na spotovém trhu v hodině h pro první rok [Kč/MWh]

$\Delta C_{hod_spot\ t}$ změna spotových cen silové elektřiny od prvního roku pro rok t [-]

k počet hodin v roce t

n počet kogeneračních jednotek

Proměnné náklady na zemní plyn

$$N_{P_t} = C_{plyn} \cdot \Delta C_t \cdot (N_{KVET_t} + N_{KOT_t}) \quad (4.16)$$

C_{plyn} průměrná roční cena zemního plynu pro první rok [Kč/MWh]

ΔC_{plyn} změna průměrné roční ceny zemního plynu od prvního roku v roce t [-]

N_{KVET_t} spotřeba zemního plynu kogeneračními jednotkami v roce t [MWh]

N_{KOT_t} spotřeba zemního plynu kotlem v roce t [MWh]

Proměnné náklady na údržbu zařízení

$$N_{PP_t} = \Delta C_{udr_t} \cdot \left(\sum_{i=1}^n E_{KVET_{i,t}} \cdot C_{udr_{kvet}} + Q_{KOT_t} \cdot C_{udr_{kot}} \right) \quad (4.17)$$

ΔC_{udr_t} změna ceny údržby od prvního roku pro rok t [-]

$C_{udr_{kvet}}$ cena údržby kogenerační jednotky za vyrobenou 1 MWh elektrické energie
[Kč/MWh]

$C_{udr_{kot}}$ cena údržby kotle za vyrobený 1 GJ tepla [Kč/GJ]

4.5.2 Diskontovaný cash flow – DCF

Peněžní tok, nebo také cash flow, které zohledňuje časovou hodnotu peněz. Vypočteme ho dle následujícího vztahu:

$$DCF_t = \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (4.18)$$

r diskontní míra (časová hodnota peněz)

Diskontní míra je též alternativní náklad kapitálu a míra ušlého zisku.

4.5.3 Investiční výdaje projektu - IN

Investiční výdaje se skládají z cen kogeneračních jednotek, kotle, akumulčních nádrží a také instalace celého zařízení. Dané části je nutné do místa instalace dopravit a připojit k síti elektrické, tepelné a plynové. Cena instalace se obtížně určuje a bylo by zapotřebí podrobně znát celou technologii a místo, kde bude technologie umístěna. V praxi se používá vžitý pojem „30 % na železo“, který nám říká, že přibližně **30 % investičních nákladů** na samotnou technologii je nutné vynaložit na její instalaci. Tedy investiční náklady spočítáme dle následujícího vztahu:

$$IN = 1,3 \cdot (C_{KVET} + C_{KOT} + C_{AKU}) \quad (4.19)$$

C_{KVET} cena kogeneračních jednotek [Kč]

C_{KOT} cena kotle na zemní plyn [Kč]

C_{AKU} cena akumulčních nádrží [Kč]

4.5.4 Kritérium prosté doby splacení - PP

Kritériem je co nejkratší navrácení vložené investice bez ohledu na časovou hodnotu peněz. Prostá doba splacení (PP) se určí podle vztahu:

$$\sum_{t=1}^{PP} CF_t - IN = 0 \quad (4.20)$$

Výhodou je jednoduchý výpočet, ale zanedbává časovou změnu peněz. Nevhodné pro dlouhodobé investice.

4.5.5 Kritérium diskontované doby splacení - P_p

Kritériem je co nejkratší navrácení vložené investice s ohledem na časovou hodnotu peněz. Diskontovaná doba splacení (P_p) se určí podle vztahu:

$$\sum_{t=1}^{P_p} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN = 0 \quad (4.21)$$

4.5.6 Čistá současná hodnota - NPV

Rozdíl mezi současnou hodnotou očekávaných příjmů a výdaji na investici. Čistou současnou hodnotu (NPV – Net Present Value) vypočteme dle následujícího vztahu:

$$NPV = \sum_{t=1}^{T\check{z}} CF_t \cdot (1 + r)^{-t} - IN \quad (4.22)$$

$T\check{z}$ ekonomická doba životnosti

Jestliže je $NPV > 0$ znamená to, že investice přináší za dobu hodnocení výnos větší než je zadaná hodnota diskontu. Naším cílem je hodnotu NPV maximalizovat.

4.5.7 Vnitřní výnosové procento – IRR

Vnitřní výnosové procento (anglicky Internal Rate of Return - IRR) nám vlastně říká, kolik procent na hodnoceném projektu vyděláme, pokud zvažíme časovou hodnotu peněz. IRR je zároveň takovým diskontem, u kterého vyjde při dosazení do vzorce pro čistou současnou hodnotu $NPV = 0$.

$$\sum_{t=1}^{T\check{z}} CF_t \cdot (1 + IRR)^{-t} - IN = 0 \quad (4.23)$$

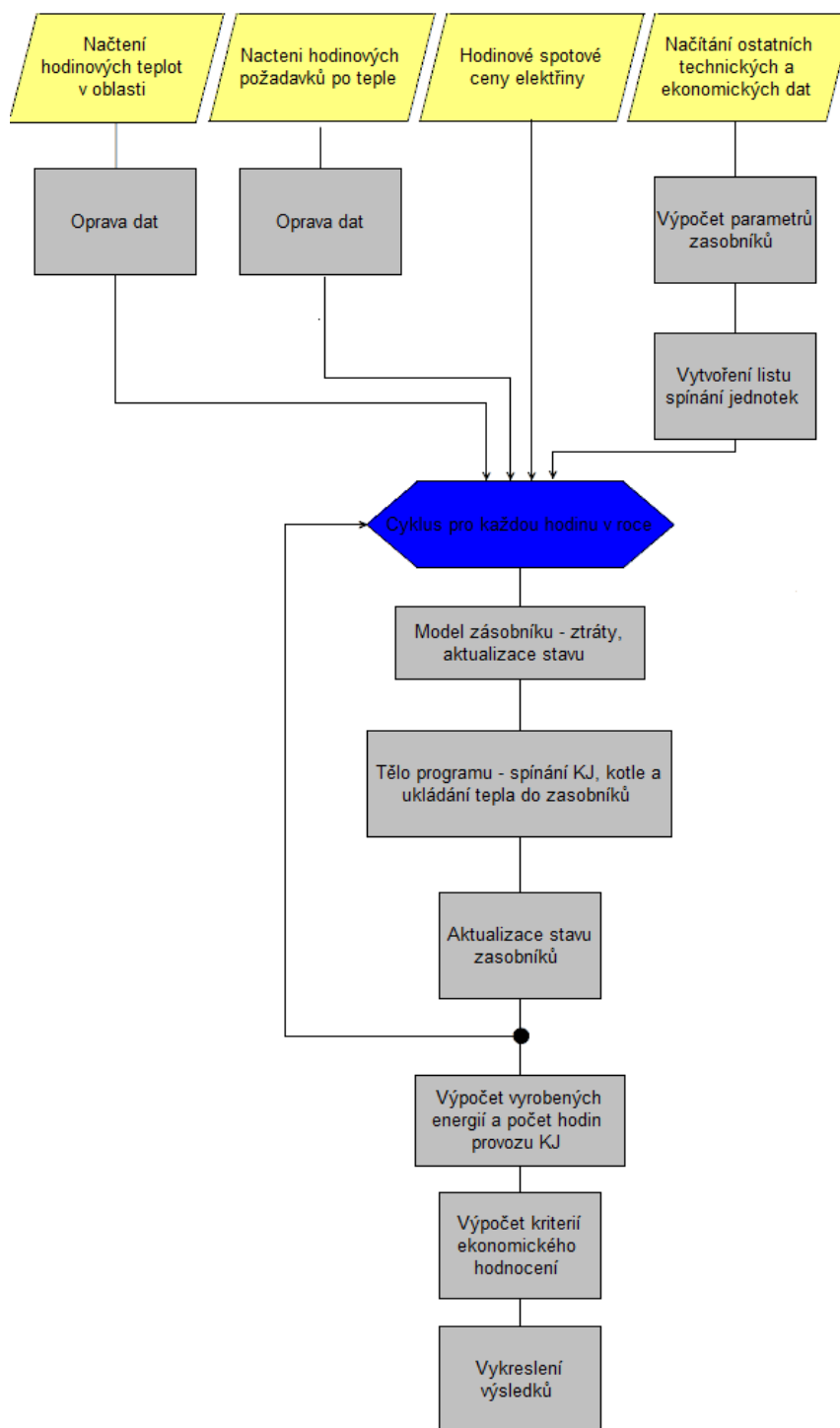
5 Model vytvořený v softwaru Mathematica

Model budeme simulovat v softwaru Mathematica 9, ve kterém budeme zkoumat v každé hodině v roce požadavek na teplo a vyhodnocovat, v jakém zařízení budeme teplo vyrábět, nebo zda ho budeme ukládat do akumulární nádrže. Vyhodnocování v každé hodině budeme dělat podle potřeby tepelné energie a jednotkou bude tedy kWh. Jelikož počítáme, že jednotlivé výkony během celé hodiny jsou konstantní, číselně bude tedy jedno, zda se jedná o výkon nebo množství energie. Podle fyzikálních zákonitostí a dle jednotek ve vztazích počítáme model dle množství energie v hodinovém intervalu. Následně budeme zkoumat, jak se podle počtu vyrobené energie v jednotlivých zařízeních a počtu provozních hodin KJ za rok, budou měnit ekonomické ukazatele. Následně můžeme zkoumat změnu ekonomického hodnocení projektu, pro různé velikosti akumulárních nádrží, nebo pro různé spínání KJ. Jako vstup budeme požadovat teploty o hodinovém požadavku na teple za rok pro oblast, pro kterou budeme model vyhodnocovat. Dále jako vstupy budeme potřebovat hodinové teploty v dané oblasti za rok, cenu elektřiny na spotovém trhu po hodinách po dobu jednoho roku, složení kogeneračních jednotek a kotlů pro dané požadavky a další technické a ekonomické údaje, které budou uvedeny v kapitole níže (5.1).

Práce je zaměřena na vytvoření modelu práce kogeneračních jednotek do CZT na kterém lze zkoumat, zda není ekonomicky výhodné jednotky spínat podle ceny elektřiny na spotovém trhu nebo v daný čas ve dni a pro dané nastavení zvolit vhodnou velikost akumulárních nádrží. Změna spínání jednotek a velikosti akumulárních nádrží budou značně ovlivňovat náklady a výnosy projektu. Jeden z největších vlivů na výnosy budou mít zelené bonusy z kapitoly 2.1, které jsou v dané výši podle počtu hodin provozu kogeneračních jednotek, a tím hrají ve spínací strategii velkou roli.

Jak už jsme výše uvedli, tak jako vstupní data budeme především potřebovat hodinové požadavky po teple, teploty v dané oblasti a ceny elektřiny na spotovém trhu pro celý rok. Bude záležet čistě na uživateli, pro jaký rok si tyto data zvolí. Program funguje tak, že pro vložená data nám spočítá, jak budeme pokrývat tepelný požadavek po celý rok a z toho si dále vypočítá, kolik energie jsme v tomto roce vyrobili v jakém zařízení. Dále tyto data vstupují do modulu, kde počítáme ekonomické hodnocení. Ekonomickou část počítáme tak, že po dobu životnosti všechna zařízení vyrobí stejné množství energie ve stejný čas. V úvahu ale bereme, že po dobu životnosti se nám bude měnit cena elektrické energie, plynu, tepla, údržby

a v neposlední řadě si můžeme zvolit, kolik let budeme předpokládat, že budou za výrobu elektrické energie vyrobené v KVET zelené bonusy. Jak se nám budou měnit jednotlivé ceny a dotace si můžeme zvolit zvlášť pro každý rok.



Obr. 5.1 Hlavní vývojový diagram pro model práce kogeneračních jednotek na síti CZT vytvořeném v softwaru Mathematica

V tomto odstavci bude uveden stručný popis, jak model v softwaru Mathematica pracuje. Nejdříve si tedy načteme a opravíme vstupní data. Poté program vypočte základní parametry zásobníků teplé vody, které budeme potřebovat v dalších výpočtech. Jedná se především o rozměry zásobníků a maximální hodnoty uložené energie v jednotlivých zásobnících a také jako celku. Následně program vytvoří list, ve kterém budou údaje o tom, kdy jednotlivé KJ budou spuštěny nebo vypnuty. Pro přesnost: jedná se spíše o povolení spuštění jednotek nebo zakázání spuštění jednotek. Když jednotka má povoleno se spustit a vyrobenou energií můžeme pokrýt požadavek po teple, nebo můžeme energii uložit v zásobníku, jednotka se spustí, jinak zůstává vypnuta. Pokud přijde příkaz pro zakázání jednotek, jednotka se nikdy nespustí a tepelný požadavek je pokryt zásobníkem, kotlem nebo jejich kombinací. Tento list pro spuštění nebo vypnutí KJ se vytvoří na základě námi zadaných vstupních dat. Dále následuje cyklus programu, kde v každé hodině v roce počítáme ztráty zásobníků a rozhodujeme, jak budeme pokrývat tepelný požadavek v dané hodině dle zadaných parametrů a předešlého stavu soustavy. Na konci tohoto cyklu program vypočte kolik tepla a elektrické energie bylo vytvořeno v každé kogenerační jednotce, kolik tepla v kotli a také počet hodin provozu KJ. Poté podle vypočtených dat vypočte kritéria ekonomického hodnocení a v poslední části vykreslí důležitá data. Na základní vývojový diagram programu se můžeme podívat na obrázku (Obr. 5.1).

5.1 Vstupní data

V této části bude uveden popis, jaká jsou potřebná vstupní data pro běh programu a jak je do programu budeme zapisovat.

5.1.1 Teploty v dané oblasti

Teplu pro danou oblast využíváme pro počítání ztrát pro zásobníky teplé vody. Uvažujeme, že zásobníky jsou umístěny mimo budovu a ztráty pak počítáme ze střední teploty v zásobníku a venkovní teploty v oblasti a to celé zvláště pro každou hodinu. Údaje o venkovní teplotě získáme ze serveru Wolfram, kde je databáze s teplotami téměř po celém světě. Program si sám potřebné teploty stáhne ze serveru, jen je zapotřebí zadat danou oblast a pro jaký rok se data mají stáhnout. Ke stažení teplot použijeme vestavěnou funkci: „*WeatherData*[loc, "Temperature", date]“. Po stažení teplot data setřídíme a opravíme.

```
(*Ostatni vstupni data*)

(*stanovuje pro jaky rok pocitame model prace KJ na CZT*)
rok=2011;

(*mesto kde bude technologie umistena a pro ktere se model pocita*)
mesto="Praha";
```

Obr. 5.2 Ukázka zadání potřebných dat pro stažení teplot ze serveru Wolfram v softwaru Mathematica

V programu, jak vidíme na obrázku výše, se objevuje proměnná „**rok**“, která se používá pro stahování teplot a roztřídění dalších vstupních a výstupních dat. Musíme dávat pozor při vkládání dat (teploty, tepla, spotové ceny elektřiny), aby jedna nebyla z roku přestupného a druhá nikoliv.

5.1.2 Požadavek tepla

Abychom mohli počítat model práce kogeneračních jednotek na CZT, tak budeme potřebovat znát hodinové požadavky po teple po dobu celého roku. Je tedy zapotřebí tyto data uložit do souboru „*tepla.xlsx*“. Tento soubor musí být ve stejném formátu, jako je přiložený stejný soubor se stejným názvem k této práci. Když dodržíme stejný formát, tak musíme soubor přesunout do stejné složky jako je hlavní program napsaný v Mathematice. V našem programu používáme průběh požadavku po teple naměřený z výtopny bytových jednotek z roku 2011.

5.1.3 Ceny elektřiny na spotovém trhu

Pro náš model budeme potřebovat znát hodinové ceny elektřiny na spotovém trhu po dobu celého roku. Ceny na spotovém trhu jsou uváděny v EUR/MWh a do programu mohou vstupovat ve dvou měnách. Nastanou nám tedy dva následující případy:

1. **Ceny elektřiny v EUR** – pokud budeme zadávat do programu data v eurech, tak musíme do konstanty („*kurz*“) napsat průměrný kurz EUR/CZK za celý rok, pro který model počítáme. Následně pak musíme hladiny cen zapínání jednotek udávat v eurech. O těchto hladinách se dozvíme více v kapitole 5.1.7.
2. **Ceny elektřiny v CZK** – pokud do programu budeme zadávat ceny v Kč, tak do proměnné „*kurz*“ napíšeme jedničku. Následně pak hladiny cen zapínání jednotek udáváme v Kč.

Pro oba případy platí, že do stejné složky, jako je hlavní program, nahrajeme soubor s hodinovými cenami elektřiny na spotovém trhu s názvem „*cenaelektriny.xlsx*“ vytvořený v excelu. Data musí být ve stejném formátu, jako je příložený soubor k této práci. V našem programu používáme data, která jsou predikcí pro rok 2014 a dané spotové ceny elektřiny jsou dány v EUR/MWh.

5.1.4 Technická data o kogeneračních jednotkách a kotle

Dalšími potřebnými vstupními daty jsou technické údaje o kogeneračních jednotkách a kotli. Na obrázku (Obr. 5.3) níže můžeme vidět příklad, jak mají vypadat vstupní data.

```
(*Technicke udaje jednotek*)
navezjednotek={"SBGFT 250G","SBGFT 250G","SBGFT 250G"};

(* instalovany tepelny vykon *)
ekogenerace={333,333,333}*k*W;

(* instalovany elektricky vykon *)
elkogenerace={250,250,250}*k*W;

(*Spotreba plynu v Nm3/hod*)
spotrPlynu={67.7,67.7,67.7};

(* regulace tepelneho vykonu jednotek - kdyz 1, tak jednotky jen stav
tepelneho vykonu 0 % nebo 100 % *)
reguljednotek={1,1,1};

(* teploty pro otopny system {Tmin,Tmax}*)
otopnysystem={70,90};

(* ceny kogen. jednotek v Kc*)
cenyjednotek={1457500,1457500,1457500};

ucinnostKotel=0.90;
```

Obr. 5.3 Ukázka vložení vstupních technických dat o KJ a kotle do softwaru Mathematica

Když zadáváme data do jednotlivých listů, tak musíme dodržet stejnou délku listů pro tepelné a elektrické výkony, názvy jednotek, spotřeby plynu, regulace jednotek a ceny jednotek. Jinak software nebude počítat správně. V těchto vstupních datech máme uvedenu spotřebu plynu. Hodnotou, kterou zadáváme do listu, je spotřeba při jmenovitých provozních parametrech. Do programu jsme zavedli i list, kam zadáváme regulaci jednotek. Jak je uvedeno v kapitole 1.2, tak kogenerační jednotky se téměř neregulují, jsou zapnuty nebo vypnuty. Do modelu je zahrnuto, že tyto jednotky mohou být regulovány. Pokud zadáme do dané kolonky 1, tak jednotka je vypnuta nebo zapnuta, ale když zadáme např. 0.9, tak

jednotky jsou schopny snížit tepelný výkon na 90 % svých jmenovitých parametrů. Jediným technickým parametrem pro kotel je zadání celkové účinnosti přeměny uložené energie v zemním plynu na energii tepelnou. Tato hodnota bude ovlivňovat spotřebu plynu a tím i náklady. Poslední proměnou jsou teploty otopného systému, jsou to vstupní a výstupní teploty systému CZT. Samozřejmostí je to, že na tento systém musí být přizpůsobeny ostatní technologické části systému.

5.1.5 Technická data o zásobnících teplé vody

Do této části se zadávají nejdůležitější parametry ohledně zásobníků teplé vody a případně i parametrů vody v zásobnících. Na obrázku (Obr. 5.4) můžeme vidět příklad zadání parametrů pro zásobníky. Prvním vstupním parametrem je list se zásobníky teplé vody. Do tohoto listu zadáváme velikosti jednotlivých zásobníků. Dalším parametrem je proměnná s názvem „teplota“. Tato proměnná definuje střední teplotu zásobníku, při které je možné ze zásobníku odebrat teplo. Tento parametr se projevuje při vybití zásobníku (střední teplota v zásobníku ≤ 70 °C) a následném nabití. Blíže o tomto parametru bude řečeno v kapitole 5.3.

```
(*Parametry zasobniku*)
(* do listu zadavame jednotlivce zasobniky na teplo*)
objemzas={10,10,10,10,10,10,10,10,10,10}m3;

(* urcuje od jake stredni teploty lze zasobnik po uplnem vybiti zase
vyuzivat*)
teplota=75;

(* vodivost izolace zasobniku*)
tepvodivost=0.039 W/(m*K);

(* tloustka izolace zasobniku*)
tloustkaizol=10 cm;

(* pomer prumer/vyska zasobniku*)
pomer=1/3;
hustotavody=1000 kg/m3;
cpvody=4180 J/(kg*K);

(*stanovuje pocatecni stav nabití zasobniku*)
startnabiti=1/4/N;
```

Obr. 5.4 Ukázka zadávání vstupních dat pro zásobníky teplé vody v softwaru Mathematica

Poté ve vstupních veličinách se objevuje tepelná vodivost izolace zásobníku teplé vody a její tloušťka. Tyto parametry si můžeme zvolit, dle použitých zásobníků nebo je můžeme zvolit podle § 8 vyhlášky č. 193/207 Sb., která stanovuje tepelnou izolaci zásobníků

teplé vody, kterou mají mít minimální tloušťku izolace 100 mm při použití izolačního materiálu se součinitelem tepelné vodivosti λ menším nebo rovným 0.04 W/m.K (při teplotě 0 °C).

Dalším parametrem je poměr mezi průměrem a výškou jednotlivého zásobníku a podle obrázku (Obr. 5.4), jsme hodnotu zvolili jako 1/3 dle používaných zásobníků v praxi. Jako další dva vstupní údaje jsou konstanty pro vodu, která je používána v zásobnících teplé vody. V našem příkladě jsme použili základní hodnoty pro vodu. Jako poslední parametr je počáteční nabití zásobníků a to je stav poslední hodiny předešlého dne, než program začíná model počítat. Tato hodnota se může pohybovat od 0 do 1.

5.1.6 Ekonomické vstupy

Příklad vstupů pro tuto část můžeme vidět na obrázku (Obr. 5.5), kde jsou vstupy pro ekonomické hodnocení a potřebné ceny. Prvních pět parametrů udává vývoj cen elektrické energie, tepla, cenu údržby a platnost zelených bonusů po dobu životnosti zařízení. Tyto parametry jsou tedy predikcí vývoje cen na českém trhu. Do listu s názvem „**datCenaPrisp**“ zapisujeme 1 nebo 0. Jednička znamená, že v daném roce, budou platit zelené bonusy na výrobu elektrické energie. Když za daný rok zadáme nulu, znamená to, že tento rok nebudou už žádné zelené bonusy. Tyto listy musí být stejně dlouhé, jako je doba života zařízení a tím i číslo zapsané v parametru s názvem „**nLet**“.

Vývoj ceny tepla („**datCenaTep**“) vypočteme podle závislosti vývoje ceny elektrické energie („**datCenaEl**“) a podle vývoje ceny plynu („**datCenaPlyn**“). Výpočet vývoje ceny tepla vypočteme dle následujícího vztahu:

$$datCenaTep = 0.3 \cdot datCenaEl + 0.7 \cdot datCenaPlyn \quad (5.1)$$

Pro přesnější zhodnocení ceny investice, je nutné zahrnout do výsledné ceny trend nárůstů nákladů na údržbu. Tento fakt je zohledněn postupným nárůstem 2 % ročně. Tuto situaci lze ukázat následujícím vztahem:

$$datCenaUdr[rok_] := 1.02^{rok-1} \quad (5.2)$$

Dle vztahu (5.2) vyplývá, že v prvním roce je nárůst nákladů na údržbu nulový a naopak v posledním roce (při životnosti 20 let) vzrostou o 45 %. Je to dáno tím, že

s rostoucím stářím roste četnost poruch a dochází ke zvýšení rizika náhlé neplánované odstávky.

```
(*Vstupy ekonomika*)

(*20 lety vyvoj cen el. energie, plynu, tepla, udrzby a take platnost
zelenych bonusu na el. energii*)
datCenaEl={1.,0.99,0.99,1.,1.,1.01,1.02,1.03,1.05,1.05,1.07,1.087,1.1,1.12,
1.14,1.14,1.15,1.16,1.18,1.18};

datCenaPlyn={1.,1.05,1.07,1.08,1.07,1.05,1.02,1.,1.,1.03,1.06,1.1,1.13,1.15
,1.17,1.20,1.21,1.24,1.27,1.3};

(*0 - bez zeleného bonusu, 1 - se zeleným bonusem*)
datCenaPrisp={1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.};
datCenaTep=0.3*datCenaEl+0.7*datCenaPlyn;

datCenaUdr=1.02^#&/@Range[0,19];

(*doba zivota KJ*)
nLet=20;

(*diskontni mira*)
diskont=0.05;

cenateplo=520; (*Kc/GJ*)

(*cena instalovane 1kW kotle*)
cen1kWKotle=2500.;

(*cena 1MWh plynu*)
nakladyMWhplyn=820;

(*cena 1m3 zasobniku teple vody*)
cen1m3zasobniku=13420;

(*cena udrzby na 1MWh elektrickou vyrobenou KJ*)
cenaUdrbyEl=210;

(*cena udrzby na 1 GJ vyrobeného tepla kotlem*)
cenaUdrbyTEP=0;

(*průměrný kurz EUR/CZK za rok*)
kurz=27.31;
```

Obr. 5.5 Ukázka vstupních hodnot pro ekonomickou část modelu vytvořeném v softwaru Mathematica

Za parametr „**diskont**“ si volíme diskontní sazbu, podle které budeme počítat ekonomické hodnocení. Do dalších proměnných zadáváme jednotlivé ceny pro první rok, pro který model počítáme. Ceny tepla, elektrické energie, plynu a údržby se bude během dalších let měnit podle námi zadaných listů pro vývoj cen.

5.1.7 Údaje o zapnutí/vypnutí kogeneračních jednotek

Na obrázku (Obr. 5.6) můžeme vidět příklad zadání vstupních parametrů pro zapnutí/vypnutí kogeneračních jednotek. Máme dvě možnosti, jak každou jednotku ovládat:

- 1) Zapínání/vypínání jednotky po hodinách - stejné v každém dni
- 2) Zapínání/vypínání jednotky na několik dnů/měsíců

Zapínání/vypínání jednotek po hodinách

Máme dvě základní nastavení, jak ovládat jednotky po hodinách v každém dni. Jednou možností je nastavení dvou časových intervalů během dne, kdy má být konkrétní jednotka zapnuta. Druhou možností je možné spínání KJ nastavením hladiny ceny elektřiny na spotovém trhu. Pokud bude cena na spotovém trhu rovna nebo vyšší než zadaná hodnota, tak jednotky budou mít povel k zapnutí. Pro oba případy můžeme volit parametry pro každou jednotku zvlášť. Program je navrhnut tak, aby došlo k povelu zapnutí jednotky, přičemž musí být obě výše uvedené podmínky splněny. Tedy aby došlo k povelu zapnutí jednotky v dané hodině, musíme se nacházet v zadaném časovém intervalu pro zapnutí jednotky a zároveň cena elektřiny na spotovém trhu musí být rovna nebo větší než je nastavená hladina zapínání dané jednotky. To má výhodu v kombinaci dvou řídicích strategií. Pokud bychom chtěli využít jen jednu z možností řízení, tak stačí jednu podmínku splnit pro celý den (tu podmínku, kterou nechceme využívat). To znamená, když budeme chtít zapínat jednotky jen podle ceny elektřiny na spotovém trhu, pak zadám do jednoho z dvou intervalů zapnutí jednotky v hodině 0 a vypnutí v hodině 23, jako je pro první jednotku na obrázku (Obr. 5.6) pro první část. Na druhou stranu pokud budeme chtít zapínat jednotky jen v časových intervalech během dne, tak zadáme do proměnné „**cenazap**“ nulu pro danou jednotku, jako je uvedeno pro poslední jednotku na obrázku níže (Obr. 5.6).

Zapínání/vypínání jednotky na několik dnů/měsíců

V letním období se můžou kogenerační jednotky vypínat z důvodů malého požadavku po teple. Například bude-li se jednat o technologii vytápějíci byty, tak ty nejsou v teplých měsících vytápěny a vyrobené teplo se používá jen na užitkovou vodu. V těchto měsících se požadavek po teple většinou pokrývá jen kotlem na zemní plyn. Pokud tedy budeme chtít jednotky v těchto měsících vypnout, slouží nám k tomu dvě proměnné s názvy „**TV**“ a „**TZ**“.

Do první proměnné zadáváme den a měsíc, kdy se má jednotlivá jednotka vypnout a druhá proměnná určuje den a měsíc, kdy se jednotka opět zapne. Když jsou jednotky zapnuty, dál se jejich spínání řídí po hodinách v každém dni a to po zadaných hodinových intervalech nebo podle ceny na spotovém trhu elektrické energie, jak bylo uvedeno výše.

```
(*První část zapnutí jednotek během dne*)

(*hodiny zapnutí jednotlivých jednotek pro první část*)
T1Z={0,0,0};

(*hodiny vypnutí jednotlivých jednotek pro první část*)
T1V={23,12,12};

(*Druhá část zapnutí jednotek během dne*)

(*hodiny zapnutí jednotlivých jednotek pro druhou část*)
T2Z={17,17,17};

(*hodiny vypnutí jednotlivých jednotek pro druhou část*)
T2V={19,19,19};

(*Vypnutí jednotek dlouhodobě období (letní období)*)
(*format {d,m} od této doby jsou kogenerační jednotky vypnuty*)
TV={{1,7},{1,7},{1,7}};

(*format {d,m} od této doby jsou kogenerační jednotky opět spuštěny*)
TZ={{1,8},{1,8},{1,8}};

(*Zapínání podle úrovně ceny elektriny na spotovém trhu*)
(*hodnoty zadáváme v eurech nebo v Kč, pro každou jednotku zvlášť*)
cenazap={40,30,0};
```

Obr. 5.6 Ukázka vstupních hodnot pro vypínání/ zapínání kogeneračních jednotek vytvořeného modelu v softwaru Mathematica

5.2 Oprava dat

Pokud do programu vstupují data, musíme zajistit, abychom měli data úplná. Pokud do našeho modelu v softwaru Mathematica načítáme velké množství dat, jako například hodinové teploty v oblasti pro celý rok, chceme, abychom v každé hodině měli data přístupná a co nejvíce se blíží skutečným hodnotám.

Když například stahujeme teploty pro danou oblast ze serveru Wolfram, tak se stává, že v některých hodinách chybí údaje o teplotě. Tedy je zapotřebí tuto teplotu vypočítat s dostupných údajů. V našem modelu postupujeme tak, že si nejdříve vytvoříme list, který obsahuje samé „x“ a má takovou velikost a tvar, aby se do tohoto listu mohly dosadit jednotlivé teploty pro každou hodinu v roce. Následně postupně údaje o teplotě do toho listu

vkládáme na správné místo, když máme toto hotovo, dále prohledáváme list, kam se žádný údaj nezapsal, to znamená místa, kde je „x“. Pokud takové místo najdeme, tak hledáme nejbližší známou teplotu z levé a pravé strany. Jakmile, takové hodnoty najdeme, tak se na původní místo zapíše průměrná teplota těchto dvou teplot. Na obrázku (Obr. 5.7) můžeme vidět prohledávání listu s místem, kde není zapsán žádný údaj (místa s „x“) a následné hledání pomocí funkce „*While*[*test,body*]“ nejbližších známých teplot zprava a leva.

```

For[m=1,m<13,m++,
For[d=1,d<dayspermonth[m,rok]+1,d++,
For[h=1,h<25,h++,
If[opravenedata[[m,d,h]]==x,{
m1=m2=m;
d1=d2=d;
h1=h2=h;
While[opravenedata[[m1,d1,h1]]==x,h1=h1-1;
If[h1<1,{d1=d1-1;h1=24;}}];
If[d1<1,{d1=dayspermonth[m1-1,rok];m1=m1-1;}}];
levateplota=opravenedata[[m1,d1,h1]];
While[opravenedata[[m2,d2,h2]]==x,h2=h2+1;
If[h2>24,{d2=d2+1;h2=1;}}];
If[d2>dayspermonth[m2,rok],{d2=1;m2=m2+1;}}];
pravateplota=opravenedata[[m2,d2,h2]];
opravenedata[[m,d,h]]=(pravateplota+levateplota)/2;}}];
];];];

```

Obr. 5.7 Ukázka části programu pro hledání míst s „x“, následné hledání nejbližších pravých a levých známých dat a zapsání průměr těchto dat na místo „x“

5.3 Model zásobníku

Po zadání vstupních parametrů, program nejdříve vypočte základní parametry zásobníků podle zadaných vstupních dat. Jedná se především o rozměry zásobníků, počáteční nabití zásobníků a také o velikost maximální tepelné energie, kterou do zásobníků můžeme uložit. Maximální množství energie počítáme dle vztahu:

$$E_{aku\ max} = m_{vody} \cdot c_p \cdot (T_{max} - T_{min}) \quad (5.3)$$

$E_{aku\ max}$	maximální energie uložená v zásobníku
m_{vody}	hmotnost vody v zásobníku
c_p	měrná tepelná kapacita vody
T_{min}	spodní teplota otopného systému
T_{max}	horní teplota otopného systému

V hlavní rozhodovací části programu (tělo programu) rozhodujeme podle tepelné energie, které můžou jednotky vyrobit, nebo podle množství energie, které máme uložené v zásobníku teplé vody. Aby program fungoval správně s diagramem uvedeným v kapitole 5.4, musíme si nastavit hodnoty v zásobníku tak, aby tepelná energie v zásobníku byla nulová, když střední teplota v zásobníku T_{str} je rovna spodní teplotě otopného systému a tepelná energie bude maximální, když v zásobníku bude střední teplota T_{str} rovna horní teplotě otopného systému. Takže energie uložená v zásobníku nemůže být nikdy větší než je vypočtená maximální možná uložená energie (hranice střední teploty v zásobníku je rovna horní teplotě otopného systému), ale na druhou stranu energie v zásobníku může mít i zápornou hodnotu a to když je střední teplota v zásobníku menší než spodní teplota otopného systému. To znamená, že žádnou energii ze zásobníku nemůžeme dodávat do systému CZT, kdybychom ji chtěli v dalších hodinách ze zásobníku dodávat, tak musíme do zásobníku dodat energii, aby hodnota byla větší než nula. Do záporných hodnot energie v zásobníku se dostaneme jen díky tepelným ztrátám zásobníků. Podle těchto předpokladů si v modelu zásobníku musíme zjistit, jaká je hodnota střední teplota T_{str} v jednotlivých zásobnících, známe však parametry zásobníků a uložené energie v zásobnících. Vypočteme je dle kalorimetrické rovnice.

$$T_{str} = \frac{E_{aku}}{m_v \cdot c_p} + T_{min} \quad [^\circ\text{C}] \quad (5.4)$$

E_{aku}	energie uložená v zásobníku
m_v	hmotnost vody v zásobníku
c_p	měrná tepelná kapacita vody
T_{min}	spodní teplota otopného systému

Pokud známe střední teploty v jednotlivých zásobnících, tak následně vypočteme tepelné ztráty. Ztrátami zásobníků jsme se zabývali v kapitole 4.3.1, kde jsme uvažovali

všechny tři druhy šíření tepla. Náš software musí počítat ztráty každou hodinu a zvláště pro každý zásobník s tím souvisí velká výpočetní náročnost. Jelikož výpočet činitelů přestupu tepla α a následné řešení rovnic (4.5) až (4.10) je výpočetně náročné, zvolili jsme jednodušší výpočet tepelných ztrát, který významně neovlivňuje konečné ekonomické hodnocení projektu. Ztráty budeme počítat tak, že si nejdříve vypočteme tepelné odpory pláště a podstav, kde bereme v úvahu, že se projeví jen část izolace.

Tepelný odpor pláště:

$$R_1 = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot h} \left[\frac{K}{W} \right] \quad (5.5)$$

λ součinitel tepelné vodivosti izolace [W/m.K]

r_1 vnitřní průměr k izolaci [m]

r_2 vnější průměr izolace [m]

h výška zásobníku [m]

Tepelný odpor podstavu:

$$R_2 = \frac{l}{\pi \cdot r_1^2 \cdot \lambda} \left[\frac{K}{W} \right] \quad (5.6)$$

l tloušťka izolace [m]

Celkový tepelný odpor zásobníku:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{2 \cdot R_1 + R_2} \left[\frac{K}{W} \right] \quad (5.7)$$

Pokud známe tepelné odpory, tak dle střední teploty v zásobníku T_{str} a teploty okolí T_{out} vypočteme ztráty tepelné energie dle vztahu:

$$E_{ztraty} = \frac{T_{str} - T_{out}}{R \cdot 1000} \cdot t \quad [kWh] \quad (5.8)$$

t časový interval, která je roven jedné hodině [h]

Následně odečteme ztráty tepelné energie od energie, které je uložena v zásobníku. A nyní zase vypočteme střední teplotu v zásobníku podle vztahu (5.4). Poté musíme zkontrolovat, zda nedošlo k úplnému vybití jakéhokoliv zásobníku. Pokud k tomuto případu došlo, nastavíme proměnou „flag“ na nulu. To znamená, že ze zásobníku nemůžeme odebírat

teplo. Jak jsme už poznamenali v kapitole 4.3, problém u zásobníků nastává při plném vybití a následně při jeho opětovném nabíjení nelze ihned odebírat teplo. Musíme počkat, než se teplá voda promísí a dostane do horní části zásobníku. Tento případ řešíme proměnou „teplota“, která je uvedena ve vstupních parametrech. Tato proměnná určuje střední teplotu zásobníku, při které je možno odebírat teplo ze zásobníku při jeho opětovném nabíjení z úplného vybití a to je změnou ukazatele „flag“ na jedničku. Jak vypadá část modelu zásobníku v našem programu, můžeme vidět na následujícím obrázku (Obr. 5.8).

```

R1=Log[r2/r1]/(2*Pi*lambda*vyska)/.rozmetry[[i]];
R2=1/(Pi*r1^2*lambda);
R=(R1*R2)/(2*R1+R2);
Eztraty=(Tstrp-teplotyOprv[[mesic,den,hodina]])/R;
eaku=eaku-Eztraty;
Tstrk=eaku/(hmotnost*cpvody)+Tmin;
If[Tstrk<=70,flag=0;];
If[Tstrk>=teplota,flag=1;];

```

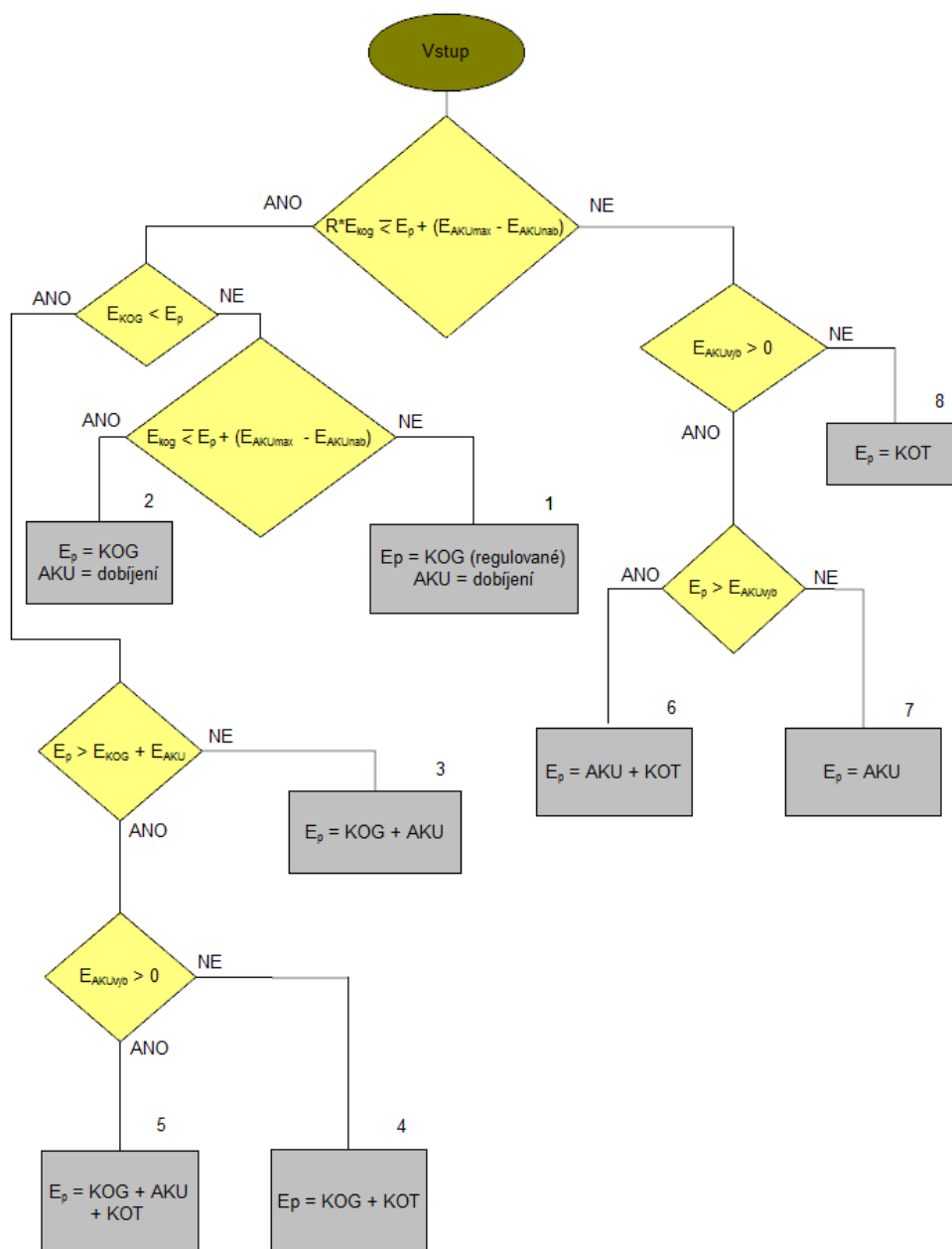
Obr. 5.8 Ukázka části programu pro model zásobníku

Výstupem modelu zásobníku je list s údaji o všech zásobnících, kde je uvedena uložená tepelná energie a stav proměnné „flag“. Pokud je na jedničce můžeme do daného zásobníku energii ukládat i odebírat, pokud je proměnná na nule, lze do zásobníku energii jen dodávat.

5.4 Tělo programu

V této části programu se rozhoduje, jakým způsobem budeme tepelný požadavek pokrývat nebo zda vyrobenou energii budeme akumulovat v zásobnících teplé vody. Než se dostaneme k rozhodovací části v programu, nejdříve musíme zjistit, kolik tepelné energie můžeme uložit do zásobníků a kolik z nich můžeme odebrat. Toto je závislé na proměnné „flag“ na výstupním listu z modelu zásobníku, který je popsán v kapitole 5.3. Pokud tyto údaje jsou zpracovány, tak nyní si vytvoříme list, kde jsou zapsány kogenerační jednotky, které budou v dané hodině spuštěny podle našeho vytvořeného listu spínání jednotek dle spínací strategie. Pokud tento list máme vytvořen, tak postupně porovnáváme po jednotlivé jednotce, zda je požadavek po teple větší než výkon kogenerační jednotky, pokud ano,

jednotka se zapne a tepelný požadavek se sníží o výkon této jednotky. Takhle postupujeme, dokud jednotka nemá výkon větší než tepelný požadavek, nebo jsme na posledním místě listu se zapnutými kogeneračními jednotkami. Pokud se tak stane, tak snížený tepelný požadavek a daný výkon tepelné jednotky vstupují do rozhodovacího diagramu, uvedeném na obrázku níže (Obr. 5.9).



Obr. 5.9 Tělo programu – spínání KJ, kotle a vybíjení nebo nabíjení zásobníků teplé vody

E_phodinový tepelný požadavek od systému CZT [kWh]

E_{KOG} hodinová dostupná energie od kogeneračních jednotek [kWh]

$E_{AKU_{nab}}$	aktuální množství energie, kterou můžeme uložit do zásobníků [kWh]
$E_{AKU_{vyb}}$	aktuální množství energie, kterou můžeme odebrat ze zásobníků [kWh]
$E_{AKU_{max}}$	maximální množství energie, která lze uložit do zásobníků [kWh]
R	regulační rozsah jednotky, číslo z listu „ reguljednotek “ pro danou jednotku
KOG	označení pro pokrývání tepelného požadavku kogeneračními jednotkami
KOT	označení pro pokrývání tepelného požadavku kotlem na zemní plyn
AKU	označení pro pokrývání tepelného požadavku zásobníkem teplé vody

Na obrázku výše (Obr. 5.9) můžeme vidět hlavní rozhodovací diagram s 8 výstupními stavy. Diagram byl vytvořen a upraven dle diagramu na obrázku (Obr. 5.1). Velikým rozdílem je, že do diagramu jsme zavedli možnou regulaci tepelného výkonu kogeneračních jednotek a to tak, že na začátku diagramu porovnáváme nejnižší možný regulovaný výkon jednotky s tepelným požadavkem plus teplo, které můžeme dodat do zásobníků teplé vody. Tím nám přibyl jeden výstupní stav (s číslem 1 z obrázku (Obr. 5.9)) a jedna rozhodovací podmínka. Tento stav nastane tehdy, když je výkon kogenerační jednotky větší než tepelný požadavek a energie, kterou můžeme dodat do zásobníku. Tím se tedy tepelný výkon kogenerační jednotky sníží tak, aby se pokryl tepelný požadavek a plně se nabil zásobník teplé vody. Výkon kogenerační jednotky se může přitom snížit jen na takovou hodnotu, která je zadaná v proměnné „**reguljednotek**“ pro danou jednotku. Dalším rozdílem v tomto diagramu od diagramu na obrázku (Obr. 5.1) je přidání stavu 4 a předešlé podmínky, kde rozhodujeme, jestli máme v zásobnících teplé vody energii, kterou bychom mohli dodat do systému CZT. Pokud ano, tak požadavek pokrýváme kogeneračními jednotkami, kotlem a zásobníkem. V opačném případě se spustí kogenerační jednotky a kotel bez využití zásobníku. Na následujících rovnicích (5.9) až (5.16) můžeme vidět, jak program pracuje pro jednotlivé stavy z hlavního rozhodovacího diagramu.

$$\begin{aligned}
 \Delta E_{aku\ dod} &= E_{kog} - E_p ; \\
 \mathbf{1)} \quad E_{kog}^* &= 1
 \end{aligned}
 \tag{5.9}$$

$$E_{kog} = E_p + (E_{aku\ max} - E_{aku\ nab})$$

$$2) \quad \Delta E_{aku\ dod} = E_{aku\ max} - E_{aku\ nab} \quad (5.10)$$

$$E_{kog}^* = 1$$

$$3) \quad \Delta E_{aku\ odb} = E_p - E_{kog} \quad (5.11)$$

$$E_{kog}^* = 1$$

$$4) \quad E_{kot} = E_p - E_{kog} \quad (5.12)$$

$$E_{kog}^* = 1$$

$$5) \quad E_{kot} = E_p - (E_{kog} + E_{aku\ vyb}) \quad (5.13)$$

$$\Delta E_{aku\ odb} = E_{aku\ vyb}$$

$$E_{kog}^* = 1$$

$$6) \quad E_{kot} = E_p - E_{aku\ vyb} \quad (5.14)$$

$$\Delta E_{aku\ odb} = E_{aku\ vyb}$$

$$E_{kog}^* = 0$$

$$7) \quad \Delta E_{aku\ odb} = E_p \quad (5.15)$$

$$E_{kog}^* = 0$$

$$8) \quad E_{kot} = E_p \quad (5.16)$$

$$E_{kog}^* = 0$$

E_p	teplo potřebné k pokrytí tepelného požadavku za hodinu
E_{kot}	teplo vyrobené kotlem za hodinu
E_{kog}	teplo vyrobené kogenerační jednotkou za hodinu
$E_{aku\ max}$	maximální možné množství uložené energie v zásobnících
$E_{aku\ vyb}$	teplo, které je možné ze zásobníků odebrat
$E_{aku\ nab}$	teplo, které je možné v zásobnících uložit
$\Delta E_{aku\ odb}$	odebrané množství tepla v danou hodinu
$\Delta E_{aku\ dod}$	dodané množství tepla v danou hodinu
E_{kog}^*	ukazatel spuštění kogeneračních jednotek (spuštěno = 1, vypnuto = 0)

Pokud rozhodneme v danou hodinu, jak budeme pokrývat tepelný požadavek, spustíme příslušné jednotky a nyní musíme do listu se stavem akumulčních nádrží přidat dodanou energii nebo jí odebrat, podle toho jak náš systém v danou hodinu bude pracovat. Program je napsaný tak, že nejdříve ukládáme nebo přidáváme energii do prvního zásobníku, dokud není plně vybit nebo nabit. Pokud nám zbyla další energie, kterou odebíráme nebo dodáváme, postupujeme dalším zásobníkem, než všechnu energii postupně ze zásobníků neodebereme nebo nedodáme. To ve výsledku znamená, že největší využití bude mít první zásobník a nejmenší poslední.

5.5 Výpočet vyrobených energií a ekonomické hodnocení

Abychom mohli vypočítat ekonomické hodnocení, tak musíme znát hodnoty vyrobených energií od každé jednotky a počet hodin provozu kogeneračních jednotek při jmenovitých parametrech. Toto počítáme z listů pro každou jednotku, kde je uveden počet vyrobeného tepla pro každou hodinu po celý rok. Z toho tedy získáme množství vyrobeného tepla za rok, množství vyrobené elektrické energie za rok a počet hodin provozu kogeneračních jednotek. Výstup z této části pak jde do modulu, kde zjišťujeme výši zelených bonusů podle počtu provozních hodin kogeneračních jednotek a jejich výkonu. Na tabulku z programu, kde jsou uvedeny zelené bonusy a následný cyklus, který hledá výši zeleného bonusu, se můžeme podívat na obrázku níže (Obr. 5.10). Tabulka, která je uvedena na obrázku je vytvořena podle kapitoly 2.1, kde se zabýváme výši zelených bonusů. V prvním a druhém sloupci je uvedeno rozmezí výkonů jednotek od – do (včetně). Ve třetím sloupci je

rozdělení příspěvků dle počtu provozních hodin za rok a v posledním sloupci je výše zelených bonusů v Kč/MWh.

```

zelenebonusy = 
$$\begin{pmatrix} 0 & 200 & 3000 & 1610 \\ 0 & 200 & 4400 & 1150 \\ 0 & 200 & 8400 & 220 \\ 200 & 1000 & 3000 & 1150 \\ 200 & 1000 & 4400 & 750 \\ 200 & 1000 & 8400 & 140 \\ 1000 & 5000 & 3000 & 800 \\ 1000 & 5000 & 4400 & 470 \\ 1000 & 5000 & 8400 & 45 \end{pmatrix} //N;$$

```

```

For[k = 1, k < 10, k++,
  If[zelenebonusy[[k, 1]] < vykonjednotky <= zelenebonusy[[k, 2]] &&
    zelenebonusy[[k, 3]] >= pocethodin && jump == 0,
    vysezelbonusu = zelenebonusy[[k, 4]] + 455; jump = 1;];];
```

Obr. 5.10 Ukázka tabulky se zelenými bonusy a cyklus výběru dané výše z programu Mathematica

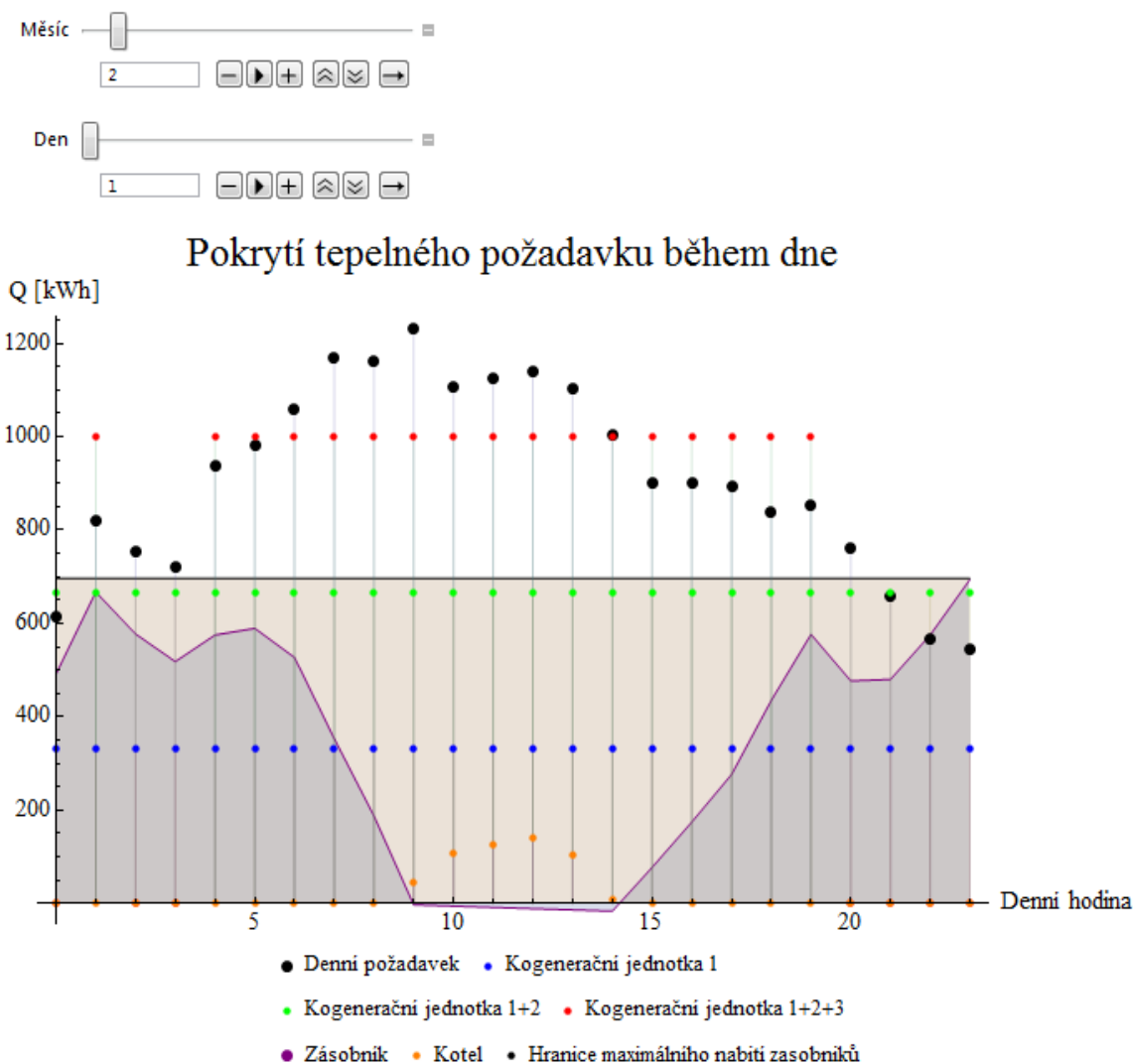
Ekonomické hodnocení se počítá podle nastavených ekonomických vstupů (kapitola 5.1.6) a podle vztahů uvedených v kapitole 4.5.

5.6 Vykreslení výsledků

Jakmile software spustíme, tak se nám zobrazí výsledky pro dané nastavení našeho modelu práce kogeneračních jednotek na síti CZT. Výsledky, které budou uvedeny v této kapitole, jsou pro vstupní data, která jsou uvedena v kapitole 5.1. Výjimkou je počet akumulčních nádrží, které jsou tři po 10 m³ a kogenerační jednotky mají povolení spuštění každou hodinu během dne kromě měsíců červenec a srpen, kdy jsou jednotky vypnuty.

První výsledek, který se zobrazí po spuštění a vypočtení našeho modelu v programu Mathematica je graf, kde můžeme sledovat v každém dni, jakou částí naší technologie byl tepelný požadavek pokryt. Ukázku tohoto grafu můžeme vidět na obrázku níže (Obr. 5.11), kde nad grafem vidíme posuvníky, kterými si můžeme zobrazit libovolný den v roce. Z tohoto obrázku vidíme kolik tepla je zapotřebí dodat do systému CZT, kolik tepla je vyrobeno každou kogenerační jednotkou a kotlem a nakonec vidíme i stav zásobníků. Pokud se energie uložená v zásobníku dostane do záporných hodnot, tak to v našem případě znamená, že

střední teplota v zásobníku je menší než spodní teplota otopného systému a tím nelze zásobníky použít k pokrytí tepelného požadavku. Průběh uložené energie tepla v zásobnících je v tomto grafu zobrazen společně pro všechny zásobníky.

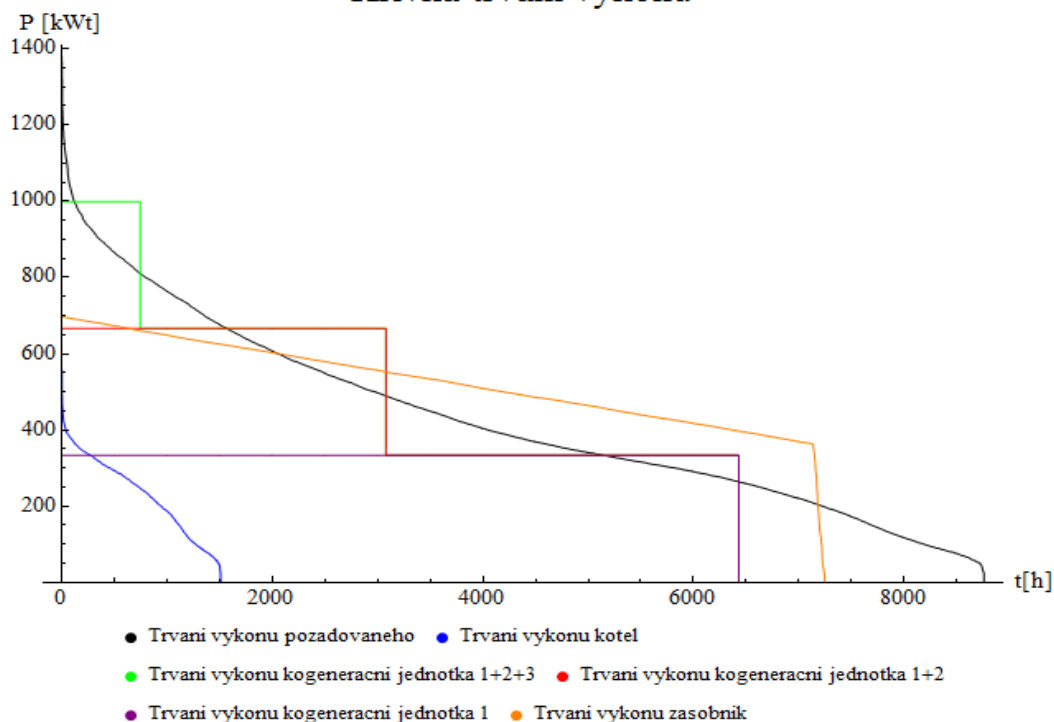


Obr. 5.11 Ukázka pokrytí tepelného požadavku ve vytvořeném modelu softwaru Mathematica

Jako další výsledek z našeho modelu se nám zobrazí křivky s trváním výkonu tepelného požadavku a ostatní technologické části. Na vykreslení našich křivek se můžeme podívat na obrázku níže (Obr. 5.12), kde lze také vidět působení akumulačních nádrží, kdy nám umožňují zvýšit počet provozních hodin kogeneračních jednotek. Kdyby se do naší technologické části nezahrnuly zásobníky teplé vody, tak počet provozních hodin byl dán průsečíkem křivkou výkonů kogeneračních jednotek a tepelného požadavku. Z toho plyne, že

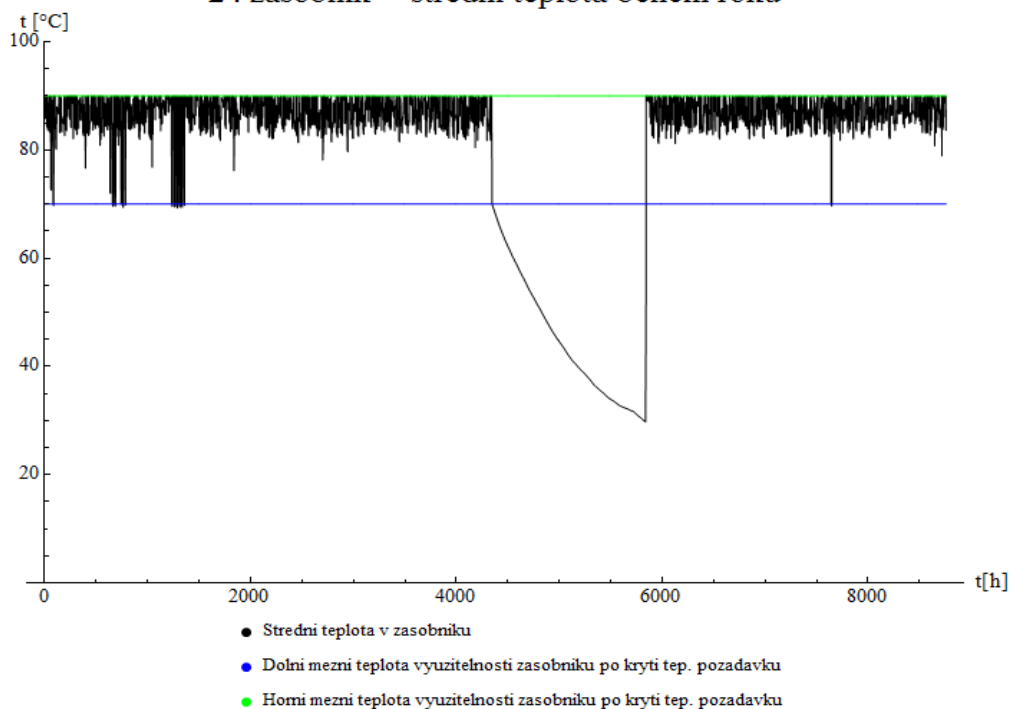
zásobníky nám pomáhají zvýšit počet provozních hodin v tomto daném režimu spínání, ale zatím nám to nic neříká o tom, zda je to z ekonomického hlediska výhodné.

Krivka trvání výkonu



Obr. 5.12 Ukázka křivek trvání výkonů všech částí naší technologie a tepelného požadavku

2 . zásobník – střední teplota během roku



Obr. 5.13 Ukázka grafu s průběhem střední teploty v druhém zásobníku teplé vody po celý rok

Po vykreslení křivek trvání výkonů nám software zobrazí střední teploty zásobníků během celého roku. Na obrázku výše (Obr. 5.13) můžeme vidět, jak tento graf vypadá pro druhý zásobník. Zde můžeme vidět vykreslené mezní teploty otopného systému a daný průběh. Jak lze vidět z obrázku, zásobník je během roku využíván především k vyrovnání tepelného požadavku a je téměř celý rok více než z půlky nabit kromě dvou měsíců v červenci a srpnu, kdy jsou kogenerační jednotky vypnuty a tím zásobníky teplé vody nevyužíváme. Za toto období zásobníky pomalu chladnou, díky tepelným ztrátám, když je budeme chtít následně používat, musíme v nich nejdříve ohřát vodu minimálně na teplotu, jako je dolní mez otopného systému.

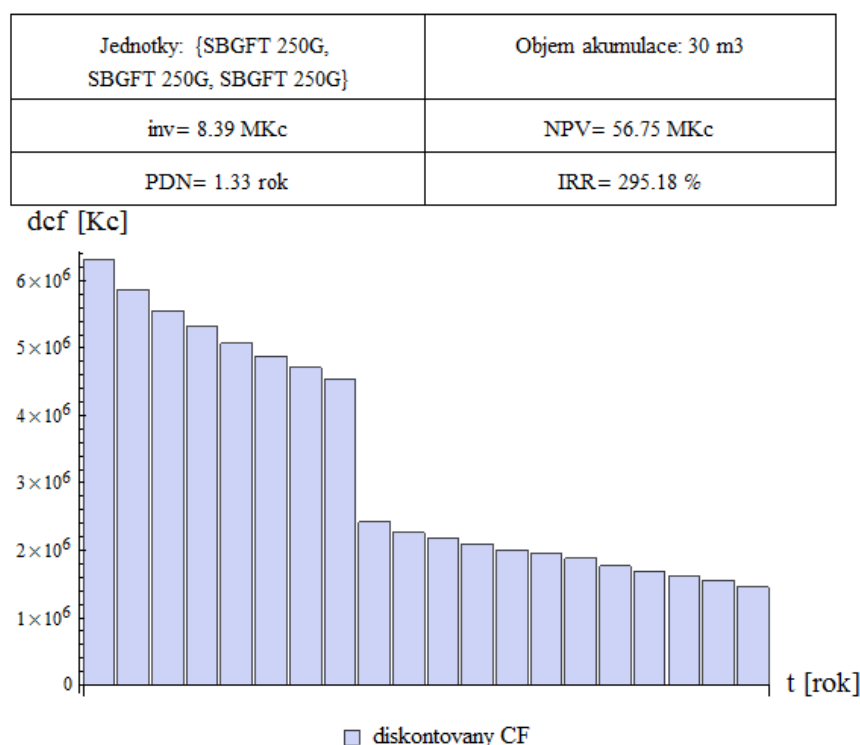
Předposledním výstupem ze softwaru jsou údaje o počtu vyrobených energií v daných zařízeních, množství hodin provozu jednotlivých kogeneračních jednotek a maximální výkon kotle, který určuje výkon instalovaného kotle do daného složení technologie a zvolené strategie řízení spínání kogeneračních jednotek. Tento výstup můžeme vidět na obrázku níže (Obr. 5.14).

```
Vyrobene teplo KJ za rok
1.kogeneracni jednotka 7708.28 GJ/rok
2.kogeneracni jednotka 3691.11 GJ/rok
3.kogeneracni jednotka 894.305 GJ/rok
Procento vyrobeneho tepla KJ z celkove dodavky tepla za rok
91% vyrobeno v KJ z celkoveho pozadavku tepla za rok
Pocet hodin za rok KJ pri optimalnim provozu
1.kogeneracni jednotka 6430 hod/rok
2.kogeneracni jednotka 3079 hod/rok
3.kogeneracni jednotka 746 hod/rok
Mnozstvi vyrobene elektriny za rok KJ pri optimalnim provozu
1.kogeneracni jednotka 1607.5 MWh/rok
2.kogeneracni jednotka 769.75 MWh/rok
3.kogeneracni jednotka 186.5 MWh/rok
Mnozstvi vyrobene elektriny za rok KJ mimo optimalni provoz
1.kogeneracni jednotka 0. MWh/rok
2.kogeneracni jednotka 0. MWh/rok
3.kogeneracni jednotka 0. MWh/rok
Mnozstvi vyrobeneho tepla v kotli a max. vykon kotle
Mnozstvi vyrobeneho tepla kotlem 1261.45 GJ/rok
Maximalni vykon kotle 559.853 kWt/rok
```

Obr. 5.14 Ukázka výsledků modelu v softwaru Mathematica - množství vyrobeného tepla a elektrické energie, počet hodin provozu KJ a maximální výkon kotle

Z výstupu na obrázku (Obr. 5.14) můžeme vidět množství vyrobené energie při optimálním provozu a mimo optimální provoz. Pokud se jedná o optimální provoz kogeneračních jednotek, znamená to, že jednotky nejsou regulovány a provozujeme při jmenovitých parametrech. Za to mimo optimální provoz znamená, že když je zapotřebí a je to povoleno, dochází k regulaci jednotek a tím se snižuje výstupní výkon jednotek mimo jmenovité parametry. V našem nastavení (**reguljednotek**={1,1,1}) nemáme povoleno regulaci jednotek, proto výroba elektrické energie je nulová mimo optimální provoz.

Posledním výstupem (Obr. 5.15) z modelu práce kogeneračních jednotek na síti CZT je ekonomické hodnocení projektu, kde vidíme základní ekonomické ukazatele. Zajímavý je roční průběh diskontovaného CF, kde můžeme vidět veliký pokles v devátém roce, který je dán zrušením zelených bonusů na výrobu elektrické energie. Výsledky na obrázku (Obr. 5.15) jsou vykresleny pro modelový případ s nastavením z kapitoly 5.1. Vypočtené ekonomické hodnocení v tomto případě vyšlo velice příznivě a to je dáno správným výběrem technologických částí, použité akumulací kapacity a typem hodnocení z pohledu projektu, které je bez ohledu na financování a rozdělení efektů realizace projektu.



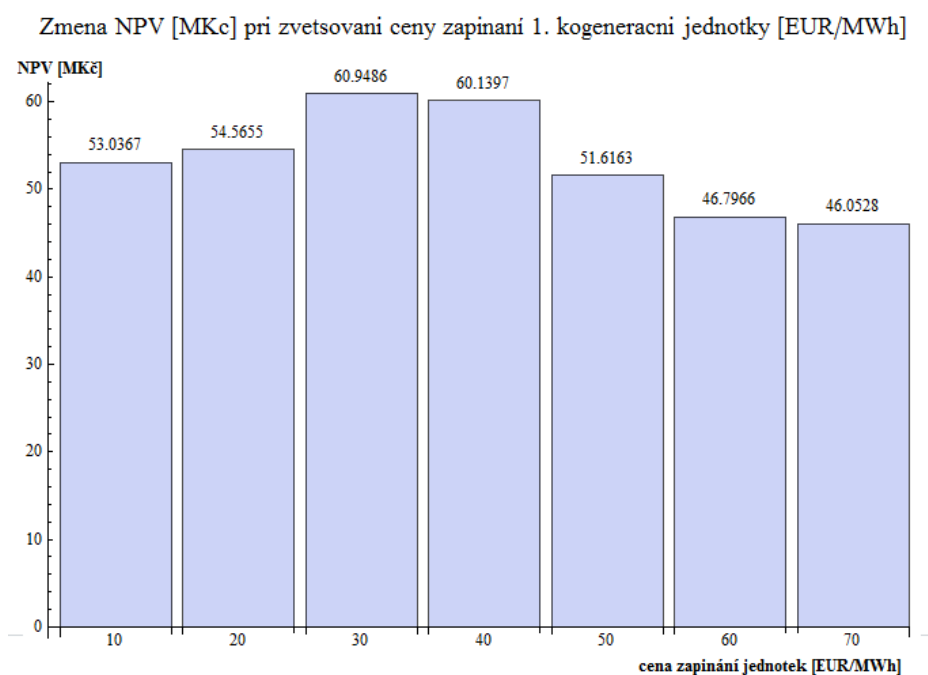
Obr. 5.15 Ukázka ekonomického hodnocení projektu ve výstupu z modelu v softwaru Mathematica (modelový případ pro vstupní data z kapitoly 5.1)

6 Hledání optimálního spínání kogeneračních jednotek

V této kapitole si ukážeme, jak lze za pomoci našeho modelu v softwaru Mathematica hledat optimální spínání kogeneračních jednotek podle spotové ceny elektřiny a následné hledání ekonomicky výhodné velikosti akumulačních nádrží. Bude se jednat pouze o příklad, ve kterém používáme data, která nejsou plně ověřena a ani se nejedná o skutečný případ nasazení kogeneračních jednotek. V našem modelu tak nelze brát zde vyobrazené výsledky za zcela reálné, jen se reálnému případu blíží. V programu jsme použili jako průběh tepelného požadavku po teple skutečná naměřená data z výtopny bytových jednotek z roku 2011 a predikci spotových cen elektřiny na rok 2014. Další použité vstupní technické údaje jsou reálné, ale složení celé technologické části není dle skutečného případu, ale bylo navrženo tak, aby se skutečnému případu co nejvíce blížilo. Tedy všechna vstupní data jsou stejná, jako v případě vykreslení výsledků v kapitole 5.6, jen s rozdílem, že budeme měnit hladiny cen spínání kogeneračních jednotek na spotovém trhu s elektřinou a objemy zásobníků teplé vody. V této práci si jen ukážeme, jak lze s modelem pracovat a jaké jsou hlavní poznatky z výsledků, které je nám model schopný vypočítat. Kdybychom chtěli v programu simulovat skutečnou práci kogeneračních jednotek na síti CZT, musíme vždy vstupní data aktualizovat a použít ty data, která jsou daná pro náš specifický případ.

Na modelu, který byl vytvořen, nyní budeme zkoumat, jak se bude měnit ekonomické hodnocení, když budeme měnit spínání kogeneračních jednotek dle ceny elektřiny na spotovém trhu a následně k tomuto případu najít vhodnou velikost akumulačních nádrží. Pokud bychom chtěli najít ekonomické optimum pro spínání jednotlivých jednotek a velikosti nádrží, museli bychom program projít cyklem všech možných kombinací možných vstupních hodnot a následně sledovat jak se mění ekonomické hodnocení. Takto by bylo možné najít opravdové optimum pro náš případ, ale díky velikému množství vstupních dat a jejich kombinací tuto metodu nelze použít. Proto v našem případě je zapotřebí si nejdříve vstupní data omezit dle možných provedení či požadavků. A následně pak zvolit postup, jak se co nejvíce přiblížit optimu. V našem případě byl použit postup, kdy jsme zadali jako velikost zásobníků teplé vody 3 zásobníky o objemu 100 m^3 a následně jsme hledali spínání jednotlivých jednotek dle spotové ceny elektřiny a porovnávali jsme ukazatel NPV. Pokud

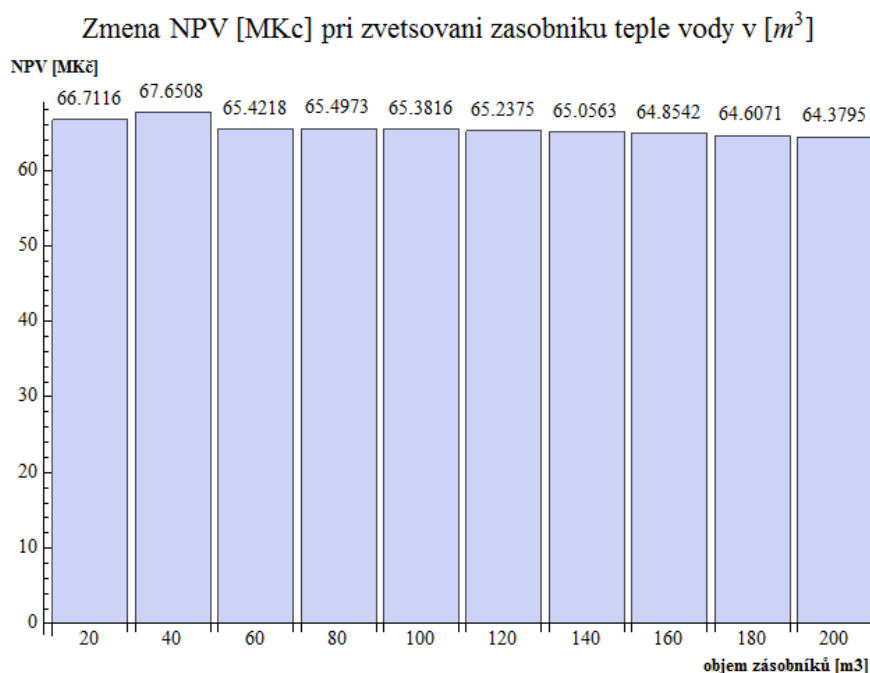
jsme našli jednotlivé hladiny spínání jednotek dle spotových cen, tak následně hledáme objem zásobníků teplé vody pro dané ceny. Na hledání hladiny spínání první kogenerační jednotky se můžeme podívat na obrázku níže (Obr. 6.1), kde je hladina ceny spínání pro druhou kogenerační jednotku 30 EUR/MWh a pro třetí 20 EUR/MWh, kde objem každého z 3 zásobníků je 100 m³.



Obr. 6.1 Změna hodnoty NPV při změně hladiny ceny pro spínání 1. kogenerační jednotky

Jak vidíme z obrázku (Obr. 6.1), tak pro hladinu spínání 30 EUR/MWh vychází největší hodnota NPV. Pokud budeme nadále pokračovat a hledat jednotlivé ceny spínání pro jednotlivé kogenerační jednotky zjistíme, že se blížíme k lokálnímu maximu hodnoty NPV. Jakmile zjistíme, že hodnotu NPV nelze výrazně změnit jednotlivými hladinami spínání KJ, tak dále pro hladiny cen, pro které bylo NPV nejvyšší, vyzkoušíme vypočítat znova NPV pro různé počty a objemy zásobníků. Na tuto změnu se můžeme podívat na následujícím obrázku (Obr. 6.2), kde jsou ceny spínání nastaveny pro první dvě jednotky 30 EUR/MWh a pro třetí 20 EUR/MWh. Jak můžeme vidět z obrázku, tak tedy NPV je nejvyšší pro celkový objem zásobníků 40 m³. Tímto tedy jsme našli lokální maximum NPV pro dané spínání jednotek a objemy zásobníků. Také nesmíme zapomenout dívat se na další ekonomické ukazatele, protože například při zvětšování objemu zásobníků se nám bude zvyšovat i investice. Nyní si

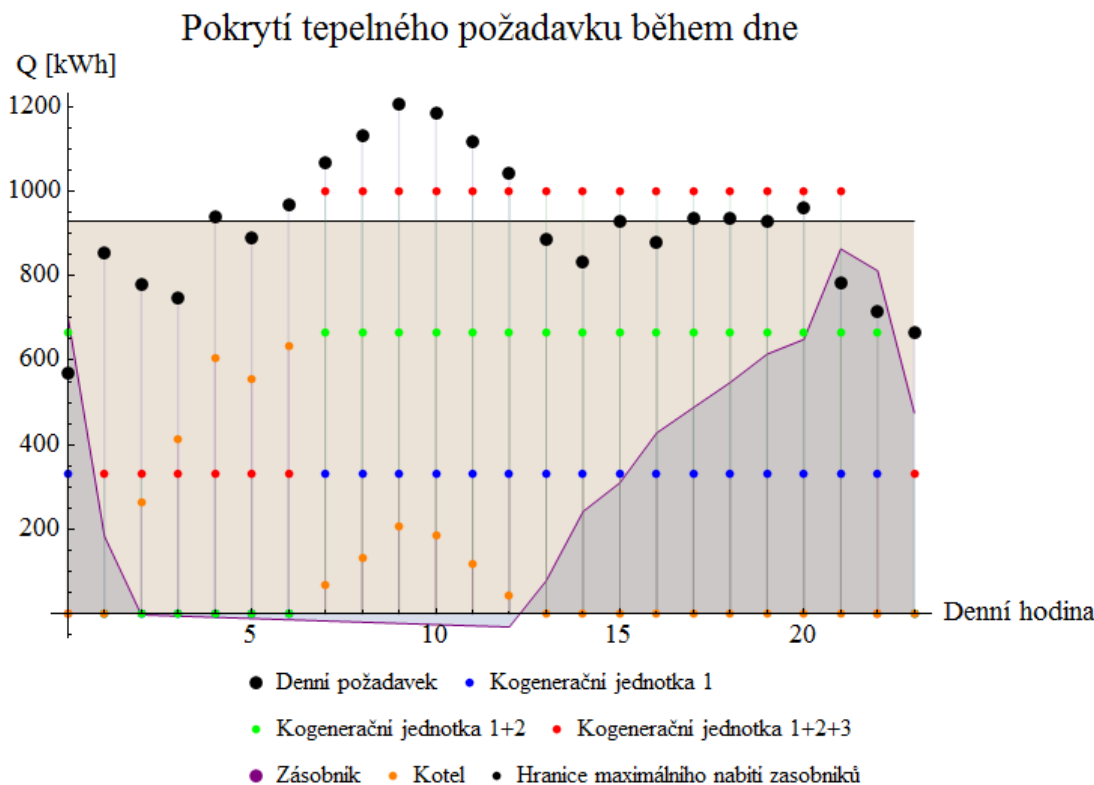
ukážeme, pro naše lokální maximum NPV, jak bude vypadat pokrývání tepelného požadavku po teple a další výstupy z našeho modelu.



Obr. 6.2 Změna hodnoty NPV při zvětšování objemu zásobníků pro model vytvořený v softwaru Mathematica

Pokrytí tepelného požadavku pro nastavení při lokálním maximu NPV můžeme vidět na obrázku (Obr. 6.3), kde je zřejmé, že jednotlivé jednotky se střídají v pokrývání daného požadavku a jsou zapnuty tehdy, kdy je cena elektřiny na spotovém trhu větší, než jsou námi zadané hladiny. Tedy žádná z jednotek nepracuje v základním zatížení po celou dobu a dochází k jejich střídání. K tomuto stavu dochází díky cyklu, který v našem modelu zapíná jednotky. V našem případě máme v listu „**cenazap**“ zapsány ceny spínání jednotek $\{30, 30, 20\}$. V programu zapínáme jednotky postupně zleva a to tak, že nejdříve se zeptáme, jestli cena spotu je větší než 30 EUR/MWh. Pokud ano, jednotka se zapne a pokryje tepelný požadavek, pak následuje další jednotka, kde opět porovnáváme cenu spotu a cenu zapínání jednotek a pak dle výsledku pokrýváme tepelný požadavek. Z tohoto je zřejmé, když je cena spotu rovna nebo větší než 30 EUR/MWh, tak jsou spuštěny všechny jednotky, přičemž první jednotka pracuje v základním zatížení. Pokud cena na spotovém trhu klesne pod 30 EUR/MWh, tak první dvě jednotky jsou vypnuty a zapnuta je jen třetí jednotka, která pracuje v základním zatížení. Tímto se jednotky střídají v pokrývání základního zatížení požadavku po teple. V programu tedy není jedno, zda do listu zapínání jednotek zadáme

{20,30,30} nebo {30,30,20}, ale na druhou stranu nám toto umožňuje další způsob řízení kogeneračních jednotek. Tímto systémem je možnost jednotky střídat v základním zatížení a tím například docílit přibližně stejného počtu provozních hodin pro každou jednotku.

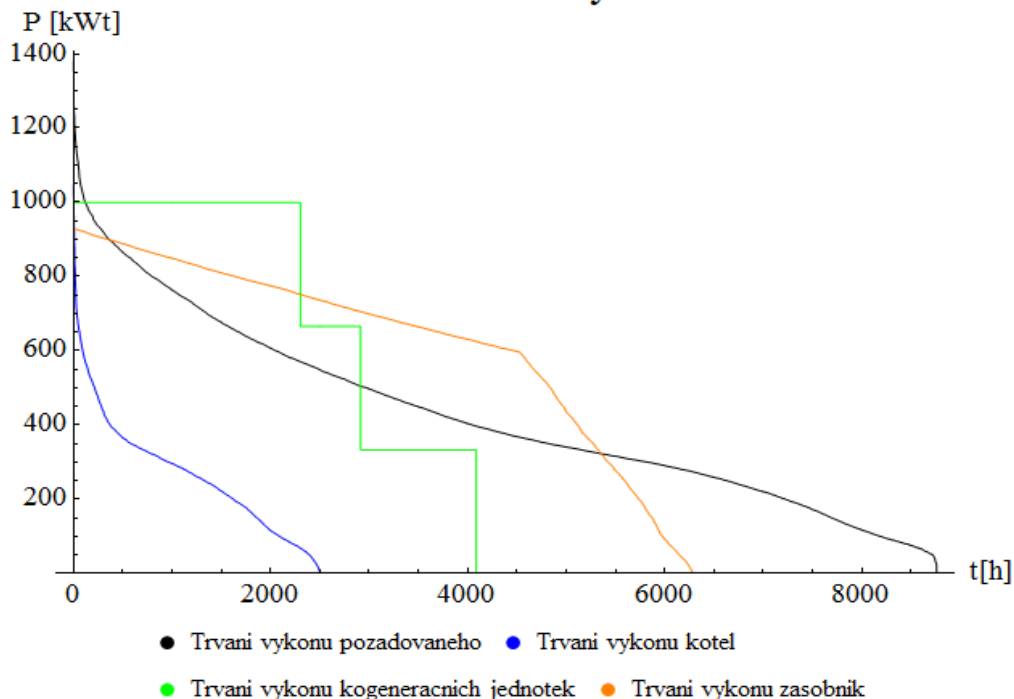


Obr. 6.3 Pokrytí tepelného požadavku při podmínkách lokálního maxima NPV pro 4. leden

Nyní si z našeho modelu vykreslíme, jak budou vypadat křivky trvání tepelného výkonu kogeneračních jednotek. Jak můžeme vidět na obrázku (Obr. 6.4) došlo k velké změně oproti tomu, když jsme jednotky nechali spuštěné celý den (Obr. 5.12). Je zřejmé, že jednotky jsou spínány tak, že se jejich počet hodin provozu pohybuje v rozmezí 2000 – 4400 hod/ rok, bude to ovlivněno především zelenými bonusy, kde se jejich výše řídí právě počtem hodin provozu za rok jednotky. Na další výsledky z našeho modelu pro naše nastavení můžeme vidět na obrázku níže (Obr. 6.5). Jak je vidět, tak oproti tomu, kdy jsou jednotky spuštěny celý den, se nám zvýšil maximální výkon kotle, který byl potřeba k pokrytí tepelného požadavku. Jak lze vidět, tak z obrázků (Obr. 5.14) a (Obr. 6.5) se nám maximální výkon kotle zvýšil téměř na dvojnásobek. V důsledku toho jsme dosáhli, že kogenerační jednotky jsou všechny během dne na několik hodin vypnuty a tak tepelný požadavek je pokrýván kotlem a zároveň akumulačními nádržemi. Program počítá velikost kotle právě díky

maximálnímu výkonu kotle, který je za rok potřeba a tím se nám budou příslušně měnit i investice.

Křivka trvání výkonu



Obr. 6.4 Křivky trvání výkonu při podmínkách lokálního maxima NPV

Vyrobene teplo KJ za rok

- 1.kogeneracni jednotka 4898.3 GJ/rok
- 2.kogeneracni jednotka 2759.64 GJ/rok
- 3.kogeneracni jednotka 3492.1 GJ/rok

Procento vyrobeného tepla KJ z celkové dodávky tepla za rok

83% vyrobeno v KJ z celkového požadavku tepla za rok

Pocet hodin za rok KJ pri optimalnim provozu

- 1.kogeneracni jednotka 4086 hod/rok
- 2.kogeneracni jednotka 2302 hod/rok
- 3.kogeneracni jednotka 2913 hod/rok

Mnozství vyrobené elektriny za rok KJ pri optimalnim provozu

- 1.kogeneracni jednotka 1021.5 MWh/rok
- 2.kogeneracni jednotka 575.5 MWh/rok
- 3.kogeneracni jednotka 728.25 MWh/rok

Mnozství vyrobené elektriny za rok KJ mimo optimalni provoz

- 1.kogeneracni jednotka 0. MWh/rok
- 2.kogeneracni jednotka 0. MWh/rok
- 3.kogeneracni jednotka 0. MWh/rok

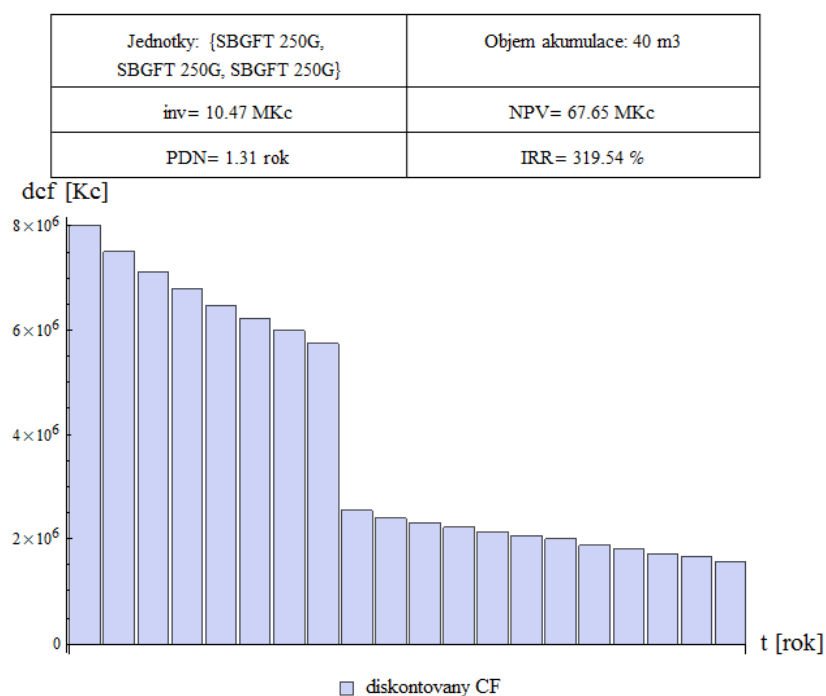
Mnozství vyrobeného tepla v kotli a max. výkon kotle

Mnozství vyrobeného tepla kotlem 2406.58 GJ/rok

Maximalni výkon kotle 1047.59 kWt/rok

Obr. 6.5 Výsledky modelu při podmínkách lokálního maxima NPV - množství vyrobeného tepla a elektrické energie, počet hodin provozu KJ a maximální výkon kotle

Posledním výsledkem z našeho modelu bude celkové ekonomické hodnocení projektu, které můžeme vidět na obrázku (Obr. 6.6). Když porovnáme ekonomické hodnocení modelu (Obr. 5.15) a (Obr. 6.6) dvou způsobů řízení kogeneračních jednotek, tak můžeme vidět, že se nám investice zvýšila z 8,39 MKč na 10,47 MKč, ale na druhou stranu se nám zvýšila čistá současná hodnota z 56,75 MKč na 67,65 a vnitřní výnosové procento z 295 % na 320 %. Prostá doba návratnosti je pro oba případy stejná a to 1,3 roku. Díky řízení kogeneračních jednotek se nám podařilo zvýšit základní ekonomické ukazatele projektu při zvýšení investice o necelých 25 %. Ke zvýšení investice došlo díky větším nákladům na výkonnější kotel, který musí mít téměř dvojnásobný výkon, jako v prvním případě a další zvýšení investice vzniklo zvýšením akumulační kapacity nádrže z 30 m³ na 40 m³. V našem případě se jedná pouze o ukázkou a nikoliv reálný případ a proto výsledky, které zde ukazujeme, jsou jen demonstrací možnosti využití modelu práce kogeneračních jednotek na síti CZT.



Obr. 6.6 Výstup ekonomického hodnocení projektu z modelu při podmínkách lokálního maxima NPV (modelový případ pro vstupní data z kapitoly 5.1)

Závěr

Tato práce se především zabývala vytvořením a popisem modelu práce kogeneračních jednotek na síti CZT v softwaru Mathematica. Námi vytvořený model může sloužit k zlepšení ekonomických ukazatelů nových projektů, tak i projektů stávajících. Přednost našeho modelu je v simulaci řídicích strategií s návazností na velikost akumulačních nádrží. Díky této možnosti lze nasimulovat téměř jakoukoliv řídicí strategii kogeneračních jednotek. V simulovaných případech pro hledání optimálního řízení kogeneračních jednotek, byl většinou největší vliv zelených bonusů, pro které vycházejí nejlépe ekonomické ukazatele při řízení jednotek na dobu jejich provozu do 4400 hod/rok, kde je výše dotace největší. Nad hranicí 4400 hod/rok je výše zelených bonusů několikanásobně menší a pro náš případ ekonomicky nevýhodné takto jednotky řídit. Pokud bychom za pomoci našeho modelu zjistili pro daný případ, že je tedy výhodné řídit jednotky dle spotové ceny elektřiny, budeme potřebovat pro jednotky zajistit řídicí algoritmus nebo případně nové řídicí zařízení. Náš model má bohužel omezení pro nutnost vstupních dat, které nejsou vždy dosažitelná, jedná se hlavně o hodinové požadavky po teple za celý rok. Tuto nevýhodu je však možno částečně kompenzovat predikcí spotřeby tepla zejména identifikace soustavy zásobování teplem a předpovědi počasí, dlouhých teplotních průměrů atd.

Model námi vytvořený může sloužit pro nalezení řídicí strategie při změnách cen zelených bonusů nebo i jejich zrušení. V našem případě jsme volili stejnou řídicí strategii při platnosti zelených bonusů a i při jejich zrušení. Program lze použít i k nalezení řídicí strategie zvláště při platnosti zelených bonusů a zvláště nalezení optimální strategie při jejich zrušení. Toto je velkou výhodou programu, protože nad legislativou kogeneračních jednotek a zelených bonusů do budoucna stojí velký otazník. Navržený model by mohl být i nástrojem, kterým by se mohlo zjistit, zda budou projekty s kogeneračními jednotkami výhodné i při možnosti zrušení zelených bonusů. Proto tedy je velkou výhodou použití našeho modelu, který disponuje velkým množstvím nastavení vstupních parametrů a následným vypočítáním hlavních výstupních parametrů technického i ekonomického hodnocení.

Literatura

- [1] TEDOM: Kogenerace. TEDOM A.S. [online]. [cit. 2013-11-19]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/>
- [2] Katalog technických a energeticky soběstačných řešení nejen pro nízkoenergetické domy: Centrum pro obnovitelné zdroje a úspory energie. [online]. [cit. 2013-11-19]. Dostupné z: <http://www.ekowatt.cz/>
- [3] Česká republika. Vyhláška o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů. In: *Sbírka zákonů*. Česká republika, 2012, roč. 2012, č. 453, 169.
- [4] Česká republika. O stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a telené energie. In: *Sbírka zákonů*. 2012, roč. 2012, č. 441, 162. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-441-2012-sb-o-stanoveni-minimalni-ucinnosti-uziti-energie-pri-vyrobe-elektřiny-a-tepelne-energie>
- [5] Enrico Saverio Barbieri, Francesco Melino, Mirko Morini, Influence of the thermal nergy storage on the profitability of micro-CHP systems for residential building applications, *Applied Energy*, Volume 97, September 2012, Pages 714-722, ISSN 0306-2619, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306261912000050>
- [6] DVOŘÁK, Vlastimil. ENA, s.r.o. *Optimalizace velikosti KJ v nových podmínkách*. Dny kogenerace 2013, Aquapalace, hotel Prague Čestlice u Prahy, 2013.
- [7] Česká republika. Energetický regulační věštník. In: *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu*. Jihlava, 2013, roč. 13, č. 4, 7/2013. Dostupné z: http://www.eru.cz/user_data/files/ERV/2013/ERV7_2013titul_konec_fi.pdf
- [8] POWER EXCHANGE CENTRAL EUROPE, a.s. *PXE* [online]. 2007 - 2014 [cit. 2014-03-26]. Dostupné z: <http://www.pxe.cz/>
- [9] OTE, a.s. *Krátkodobé trhy: Elektřina* [online]. Praha, 2010, 27.03.2014 [cit. 2014-03-27]. Dostupné z: <https://www.ote-cr.cz/kratkodobe-trhy/elektrina/denni-trh>

- [10] KREJČOVÁ, Šárka. *JAK FUNGUJE ČESKÝ TRH ELEKTRINY*. Brno, 2012. Dostupné z: http://is.muni.cz/th/344717/esf_b/. Bakalářská práce. Masarykova univerzita - Ekonomicko-správní fakulta. Vedoucí práce Ing. Michal KVASNIČKA, Ph.D.
- [11] VIESSMANN, spol. s.r.o. *Olejšové a plynové kotle pro střední a velké výkony* [online]. 05/2012 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z: http://www.viessmann.cz/content/dam/internet-cz/pdf/produktove_prospekty/olejove_a_plynovekotle-2012web.pdf
- [12] Technická zařízení budov. BOSCH TERMOTECHNIKA S.R.O. *Kogenerační jednotky Bosch* [online]. 11.12.2013 [cit. 2014-04-16]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/kogenerace/10680-kogeneracni-jednotky-bosch-prinaseji-efektivni-reseni-pro-elektrinu-a-teplo>
- [13] HRADÍLEK, Zdeněk, Ilona LÁZNIČKOVÁ a Vladimír KRÁL. *Elektrotepelná technika*. Vyd. 1. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011, 264 s. ISBN 978-80-01-04938-9.

Seznam příloh

Tabulky

Tabulka 1 Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny v procentech [3]	77
Tabulka 2 Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu tepla v procentech [3]	78

Obrázky

Obrázek 1 Kód modelu práce kogeneračních jednotek do systému CZT ze softwaru Mathematica.....	79 - 91
---	---------

Přílohy

Palivo		Kogenerační jednotka uvedená do provozu do konce roku						
		2001 a dříve	2002	2003	2004	2005	2006-2011	2012-2015
		η_{ripal}^E	η_{ripal}^E	η_{ripal}^E	η_{ripal}^E	η_{ripal}^E	η_{ripal}^E	η_{ripal}^E
Pevné	Černé uhlí, ingotové brikety	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Hnědé uhlí, ingotové brikety	40,3	40,7	41,1	41,4	41,6	41,8	41,8
	Rašelina, rašelinové brikety	38,1	38,4	38,6	38,8	38,9	39,0	39,0
	Dřevěná paliva	30,4	31,1	31,7	32,2	32,6	33,0	33,0
	Zemědělská biomasa	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
	Biologicky nerozložitelná i rozložitelná složka komunálního a průmyslového odpadu	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
	Ostatní biomasa jinde neuvedená	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
Kapalné	Topné oleje, LPG	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Biopaliva	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Biologický rozložitelný odpad	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
	Neobnovitelný odpad	23,1	23,5	24,0	24,4	24,7	25,0	25,0
Plynné	Zemní plyn	51,7	51,9	52,1	52,3	52,4	52,5	52,5
	Plyn z rafinace/ vodík	42,7	43,1	43,5	43,8	44,0	44,2	44,2
	Koksárenský, vysokopecní a jiné odpadní plyny, získané odpadní teplo	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0	35,0
	Bioplyn	40,1	40,6	41,0	41,4	41,7	42,0	42,0

Tabulka 1 Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny v procentech

[3]

Palivo		Druh média	
		Pára / horká voda	Přímé výfukové plyny
		$\eta_{\text{ripal}}^{\text{V}}$	$\eta_{\text{ripal}}^{\text{V}}$
Pevné	Černé uhlí	88	80
	Hnědé uhlí, ingotové brikety	86	78
	Dřevěná paliva	86	78
	Zemědělská biomasa	80	72
	Biologicky nerozložitelná i rozložitelná složka komunálního a průmyslového odpadu	80	72
	Ostatní biomasa jinde neuvedená	80	72
Kapalné	Topné oleje, LPG	89	81
	Biopaliva	89	81
	Biologický rozložitelný odpad	80	72
	Neobnovitelný odpad	80	72
Plynné	Zemní plyn	90	82
	Plyn z rafinace/ vodík	89	81
	Koksárenský, vysokopecní a jiné odpadní plyny, získané odpadní teplo	80	72
	Bioplyn	70	62

Tabulka 2 Harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu tepla v procentech [3]

Kogenerace s akumulací tepla

Výpočet v programu *Mathematica 9*

Aleš Popelka

Model práce kogeneračních jednotek vybavených akumulací tepla do soustavy CZT

Vstupy

Používané jednotky

$W=1/1000$; $h=1$; $s=1/3600*h$; $m3=1$; $C=1$; $J=W*s$; $kg=1$; $K=1$; $k=1000$;
 $M=10^6$; $G=10^9$; $m=1$; $cm=1/100*m$;

Vstupní data

```
<<Calendar`
SetDirectory[NotebookDirectory[]];
(*Prvni cast zapnuti jednotek během dne*)
T1Z={0,0,0}; (*pokud do jakékoli části zadáme 0 a 23 jednotky jsou
sepnuty celý den pokud splnují požadavek zapínání dle spot cenyelektriny*)
T1V={23,23,23};
(*Druha cast zapnuti jednotek během dne*)
T2Z={17,17,17};
T2V={19,19,19};
(*Vypnutí jednotek dlouhodobě období (letní období)*)
TV={{1,7},{1,7},{1,7}}; (*format {d,m} od této doby jsou kogenerační
jednotky vypnuty*)
TZ={{1,9},{1,9},{1,9}}; (*format {d,m} od této doby jsou kogenerační
jednotky opět spuštěny*)
(*Zapínání podle úrovně ceny elektriny na spotovém trhu*)
cenazap={30,30,20}; (*hodnoty zadáváme v eurech nebo v Kč, pro
každou jednotku zvlášť*)
(*Technické údaje jednotek*)
navezjednotek={"SBGFT 250G","SBGFT 250G","SBGFT 250G"};
ekogenerace = {333,333,333}*k*W; (* instalovaný tepelný výkon *)
elkogenerace={250,250,250}*k*W; (* instalovaný elektrický výkon *)
spotrPlynu={67.7,67.7,67.7}; (*Nm3/hod*)
reguljednotek={1,1,1}; (* regulace tepelného výkonu jednotek -
když 1, tak jednotky jen stav tepelného výkonu 0 % nebo 100 % *)
otopnysystem={70,90}; (* teploty pro otopný systém {Tmin,Tmax}*)
cenyjednotek={1457500,1457500,1457500}; (* ceny kogen. jednotek v Kč*)
ucinnostKotel=0.90; (* celková účinnost kotle*)
(*Parametry zásobníku*)
objemzas={20,20}m3; (* do listu zadáváme jednotlivé zásobníky na teplo*)
teplota=75; (* určuje od jaké střední teploty lze zásobník po
uplném vybití zase využívat*)
tepvodivost=0.039 W/(m*K); (* vodivost izolace zásobníku*)
tloustkaizol=10 cm; (* tloušťka izolace zásobníku*)
pomer=1/3; (* pomer průměr/výška zásobníku0*)
hustotavody=1000 kg/m3;
cpvody=4180 J/(kg*K);
```



```

startnabiti=1/4//N;          (*stanovuje pocatecni stav nabiti zasobniku*)
(*Ostatni vstupni data*)
rok=2011;                   (*stanovuje pro jaky rok pocitame model prace KJ na CZT*)
mesto="Praha";              (*mesto kde bude technologie umistena a pro ktere se model
pocita*)

(*Vstupy ekonomika*)
(*20 lety vyvoj cen el. energie, plynu, tepla, udrzby a take platnost
zelenych bonusu na el. energii*)
datCenaEl={1.,0.99,0.99,1.,1.,1.01,1.02,1.03,1.05,1.05,1.07,1.087,1.1,1.12,
1.14,1.14,1.15,1.16,1.18,1.18};
datCenaPlyn={1.,1.05,1.07,1.08,1.07,1.05,1.02,1.,1.,1.03,1.06,1.1,1.13,1.15
,1.17,1.20,1.21,1.24,1.27,1.3};
datCenaPrisp={1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,1.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.,0.};
(*0 - bez zeleného bonusu, 1 - se zeleným bonusem*)
datCenaTep=0.3*datCenaEl+0.7*datCenaPlyn;
datCenaUdr=1.02^#&/@Range[0,19];
nLet=20;                    (*doba zivota KJ*)
diskont=0.05;               (*diskontni sazba*)
cenateplo=520;              (*Kc/GJ*)
cen1kWKotle=2500.;         (*cena instalovane 1kW kotle*)
nakladyMWhplyn=820;        (*cena 1MWh plynu*)
cen1m3zasobniku=13420;     (*cena 1m3 zasobniku teple vody*)
cenaUdrbyEl=210;           (*cena udrzby na 1MWh elektrickou vyrobenou KJ*)
cenaUdrbyTEP=3;           (*cena udrzby na 1 GJ vyrobeného tepla kotlem*)
kurz=27.31;                (*prumerný kurz EUR/CZK za rok*)

```

Technická část

Funkce - počet dnů v měsíci

```

ClearAll[dayspermonth];
dayspermonth[month_,year_]:=DaysBetween[{year,month,1},{If[month==12,year+1,
year],If[month==12,1,month+1],1}];

```

Načtení a oprava dat - teplo, teploty, cena elektřiny na spot. trhu

```

ClearAll[opravadat];
opravadat[data_List,danyrok_]:=Module[{data1=data,rok=danyrok,
opravenedata=0,levateplota=0,pravateplota=0,m1=0,m2=0,d1=0,d2=0,h1=0,h2=0},
ClearAll[x];
opravenedata=Table[Table[Table[x,{h,1,24}],{d,1,dayspermonth[m,rok]}],
{m,1,12}];

For[i=1,i<Length[data1]+1,i++,
m=data1[[i,1,2]];
d=data1[[i,1,3]];
h=data1[[i,1,4]];
opravenedata[[m,d,(h+1)]=data1[[i,2]];
];

```

```

opravenedata[[All,All,All]]
=opravenedata[[All,All,All]]/.Missing["NotAvailable"]->x;

For[m=1,m<13,m++,
  For[d=1,d<dayspermonth[m,rok]+1,d++,
    For[h=1,h<25,h++,
      If[opravenedata[[m,d,h]]==x,{
        m1=m2=m;
        d1=d2=d;
        h1=h2=h;
        While[opravenedata[[m1,d1,h1]]==x,h1=h1-1;
          If[h1<1,{d1=d1-1;h1=24;};];
          If[d1<1,{d1=dayspermonth[m1-1,rok];m1=m1-1;};];];
        levateplota=opravenedata[[m1,d1,h1]];
        While[opravenedata[[m2,d2,h2]]==x,h2=h2+1;
          If[h2>24,{d2=d2+1;h2=1;};];
          If[d2>dayspermonth[m2,rok],{d2=1;m2=m2+1;};];];
        pravateplota=opravenedata[[m2,d2,h2]];
        opravenedata[[m,d,h]]=(pravateplota+levateplota)/2;};];
    ];
  ];
opravenedata
];
ClearAll[nactenidat];
nacteniDat[rok_]:=Module[{teploty,ceny,e=0,x,tepla,teplaDat,teplotyOprv,
teplaOprv},
  teploty=WeatherData[mesto,"Temperature",{rok}];
  ceny=Import["cenaelektriny.xlsx"];
  ceny=Flatten[ceny,1];

  ceny=Table[Table[Table[ceny[[e=e+1]],{i,1,24}],{k,1,dayspermonth[j,2014]}],
{j,1,12}];

  teplaDat=Import["tepla.xlsx"][[1]];
  teplaDat=Delete[teplaDat,1];
  ClearAll[x];
  teplaDat[[All]]=teplaDat[[All]]/."->x;

  tepla=Table[{{teplaDat[[m,1,1]],teplaDat[[m,1,2]],teplaDat[[m,1,3]],
teplaDat[[m,2,4]]},teplaDat[[m,3]]/3600*10^6,
{m,1,24*DaysBetween[{rok,1,1},{rok+1,1,1}]}];

  teplotyOprv=opravadat[teploty,rok];
  teplaOprv=opravadat[tepla,rok];

  {teplotyOprv,teplaOprv,ceny}
];

```

Model zásobníku tepla

```

ClearAll[dataZasobnik];
dataZasobnik[otopnysystem_,objemzas_,startnabiti_]:=Module[{Tmax,Tmin,
celkovyObjem,hmotnostCelkova,vahaVodyAku,eakumax,eakumaxCelkova,rozmer,
stavzas}
  Tmax=otopnysystem[[2]];
  Tmin=otopnysystem[[1]];
  celkovyObjem=objemzas/.List->Plus;
  hmotnostCelkova=hustotavody*celkovyObjem;
  vahaVodyAku=Table[hustotavody*objemzas[[i]]/N,{i,1,Length[objemzas]};
  eakumax=vahaVodyAku*cpvody*(Tmax-Tmin)/N;
  eakumaxCelkova=hmotnostCelkova*cpvody*(Tmax-Tmin)/N; (*[kWh]*)
  stavzas=Table[{startnabiti*eakumax[[i]],1},{i,1,Length[objemzas]};

ClearAll[prumer];
ClearAll[vyska];
rozmer=Table[Flatten[Solve[Pi*prumer2/4*vyska==objemzas[[z]] &&
vyska*pomer==prumer,{vyska,prumer},Reals]/N},{z,1,Length[objemzas]};

{Tmax,Tmin,celkovyObjem,hmotnostCelkova,vahaVodyAku,eakumax,eakumaxCelkova,
rozmer,stavzas}];

ClearAll[modelzas];
modelzas[{mesic_,den_,hodina_},eakumulace_,flags_,{Tmax_,Tmin_,
celkovyObjem_,hmotnostCelkova_,vahaVodyAku_,eakumax_,eakumaxCelkova_,
rozmer_,stavzas_},{teplotyOprv_,teplaOprv_,ceny_},i_]:=Module[{Eztraty=0,
Tstrp=0,Tstrk=0,eaku=eakumulace,r1=0,r2=0,λ=0,R1=0,R2=0,l=0,R=0,hmotnost=0,
flag=flags},
  hmotnost=vahaVodyAku[[i]];
  Tstrp=eaku/(hmotnost*cpvody)+Tmin/N;
  (*ztraty zpusobene tepelnou vodivosti*)
  l=tloustkaizol;
  ClearAll[prumer];
  ClearAll[vyska];
  r1=prumer/2/.rozmer[[i]];
  r2=prumer/2+l/.rozmer[[i]];
  λ=tepvodivost;

  R1=Log[r2/r1]/(2*Pi*λ*vyska)/.rozmer[[i]];
  R2=1/(Pi*r12*λ);
  R=(R1*R2)/(2*R1+R2);

  Eztraty=(Tstrp-teplotyOprv[[mesic,den,hodina]])/R;
  eaku=eaku-Eztraty;
  Tstrk=eaku/(hmotnost*cpvody)+Tmin;
  If[Tstrk≤70,flag=0;];
  If[Tstrk>teplota,flag=1;];

  {eaku,flag}];

```

```
teplotaaku[eakumulace_, hmotnost_, {Tmax_, Tmin_, celkovyObjem_,
hmotnostCelkova_, vahaVodyAku_, eakumax_, eakumaxCelkova_, rozmary_, stavzas_}]
:=eakumulace/(hmotnost*cpvody)+Tmin//N;
```

Tělo programu

```
ClearAll[funkce];
funkce[reguljednotek_List, ekogzapnuto_List, eakumulace: {eakunab_, eakuvyb_},
epozadavek_, listkogen_List, eakumaximalni_, {k_, d_, h_}] := Module[
{eakumax=eakumaximalni, ekogzap=ekogzapnuto, ekot=0, ep=epozadavek, ekog=0,
Δakudod=0, Δakuod=0, jump=0, jump1=0, kogz, m=0, a1=0, a2=0, a3=0, a4=0, a5=0, a6=0,
a7=0, regkogen=0, i=0, teplotazas=0},

(*Vypinani a zapinani jednotek*)
kogz=Table[0, {i, 1, Length[listkogen]}];

(*Vypinani a zapinani jednotek*)
If[1≤(ekogzap/.List→Plus),
For[m=1, m≤Length[listkogen] && jump1==0, m++,
If[ ekogzap[[m]]==1,
If[listkogen[[m]]<ep && Length[listkogen]>m ,
ep=ep-listkogen[[m]];
kogz[[m]]=listkogen[[m]];
, ekog=listkogen[[m]]; jump1=1;]; , kogz[[m]]=0; If[Length[listkogen]==m,
ekog=10000*ep;];];];
, ekog=10000*ep; m=2; Table[kogz[[i]]=0, {i, 1, Length[listkogen]}];];

i=m-1;
regkogen=ekog*reguljednotek[[i]];

(*Nulty pripad*)
If[ep==0, ekog=0; ekot=0; jump=1; ekogzap=0;]

(*Druhy pripad*)
If[regkogen≤ep+(eakumax-eakunab) && ekog≥ep && jump==0 && ekog≤ep+(eakumax-
eakunab), {Δakudod=ekog-ep; kogz[[i]]=listkogen[[i]]; jump=1; a1=1;};];

(*Prvni pripad*)
If[regkogen≤ep+(eakumax-eakunab) && ekog≥ep && jump==0 &&
ekog>ep+(eakumax-eakunab), {kogz[[i]]=ep+(eakumax-eakunab);
Δakudod=eakumax-eakunab; jump=1; a2=1;};];

(*Paty pripad*)
If[regkogen≤ep+(eakumax-eakunab) && ekog<ep && ep>ekog+eakuvyb &&
jump==0 && eakuvyb>0, {ekot=ep-ekog+eakuvyb}; Δakuod=eakuvyb;
kogz[[i]]=listkogen[[i]]; jump=1; a3=1;};];

(*Ctvrty pripad*)
If[regkogen≤ep+(eakumax-eakunab) && ekog<ep && ep>ekog+eakuvyb && jump==0
&& eakuvyb≤0, {ekot=ep-ekog; kogz[[i]]=listkogen[[i]]; jump=1; a3=2;};];
```

```

(*Treti pripad*)
If[regkogen≤ep+(eakumax-eakunab) && ekog<ep && ep≤ekog+eakuvyb &&
jump==0, {Δakuod=ep-ekog;kogz[[i]]=listkogen[[i]];jump=1;a4=1;});

(*Sesty pripad*)
If[regkogen>ep+(eakumax-eakunab) && eakuvyb>0 &&
ep>eakuvyb&&jump==0, {ekot=ep-eakuvyb;Δakuod=eakuvyb;
kogz[[i]]=0;jump=1;a5=1;});

(*Sedmy pripad*)
If[regkogen>ep+(eakumax-eakunab) && eakuvyb>0 && ep≤eakuvyb && jump==0,
{Δakuod=ep;kogz[[i]]=0;jump=1;a6=1;});

(*Osmy pripad*)
If[regkogen>ep+(eakumax-eakunab) && eakuvyb≤0 &&
jump==0, {ekot=ep;kogz[[i]]=0;a7=1;});

{kogz, ekot, {a1, a2, a3, a4, a5, a6, a7}, ep, ekogzap, {Δakuod, Δakudod}}
]

```

Funkce pro vytvoření listu spínání jednotek

```

ClearAll[spinani];
spinani[{teplotyOprv_, teplaOprv_, ceny_}, cenazap_] := Module[{zapjednotek},
zapjednotek = Table[Table[Table[Table[If[(T1Z[[x]] ≤ (h-1) ≤ T1V[[x]] ||
T2Z[[x]] ≤ (h-1) ≤ T2V[[x]]) && ceny[[m, d, h, 1]] ≥ cenazap[[x]] && If[(m == TV[[x, 2]]
&& d < TV[[x, 1]]) || (m == TZ[[x, 2]] && d ≥ TZ[[x, 1])], True, (TV[[x, 2]] > m ||
m > TZ[[x, 2])], 1, 0], {h, 1, 24}], {d, 1, dayspermonth[m, 2014]}], {m, 1, 12}],
{x, 1, Length[ekogenerace]};
zapjednotek]

```

Cyklus programu - vypočet

```

ClearAll[teloprogramu];
teloprogramu[{Tmax_, Tmin_, celkovyObjem_, hmotnostCelkova_, vahaVodyAku_,
eakumax_, eakumaxCelkova_, rozmery_, startstavzas_}, {teplotyOprv_, teplaOprv_,
ceny_}] := Module[{stavpoztrat, stavvyzas, akumulace, kontrola2, ep, kontrola1,
kogen, pozadavek, zasobnik, kotel, vystupzas, eakunab, eakuvyb, epozadavek, vystup,
Δakudod, Δakuod, ekogzapnuto, stavzas=startstavzas},

stavpoztrat=stavvyzas=akumulace=kontrola2=ep=kontrola1=kogen=pozadavek=
zasobnik=kotel=Table[Table[Table[0, {i, 1, 24}], {k, 1, dayspermonth[j, rok]}],
{j, 1, 12}];

For[m=1, m<13, m++, For[d=1, d<dayspermonth[m, rok]+1, d++, For[h=1, h<25, h++,

(*cast zasobnik*)
stavpoztrat[[m, d, h]]=vystupzas=Table[modelzas[{m, d, h}], stavzas[[i, 1]],
stavzas[[i, 2]], zasobnikData, vstupniData, i], {i, 1, Length[objemzas]};
Table[stavzas[[i]]=vystupzas[[i]], {i, 1, Length[objemzas]};
eakunab=Table[vystupzas[[i, 1]], {i, 1, Length[objemzas]}/.List→Plus;

```

```

    eakuvyb=Table[If[vystupzas[[i,2]]==1,vystupzas[[i,1]],0],
{i,1,Length[objemzas]}]/.List→Plus;

(*ostatni cast*)
    pozadavek[[m,d,h]]=epozadavek=teplaOprv[[m,d,h]];

vystup=funkce[reguljednotek,Table[zapJednotekList[[x,m,d,h]],
{x,1,Length[ekogenerace]}],{eakunab,eakuvyb},epozadavek,ekogenerace,
eakumaxCelkova,{m,d,h}];
    kogen[[m,d,h]]=vystup[[1]];
    ekogzapnuto=0;
    kotel[[m,d,h]]=vystup[[2]];
    kontrola1[[m,d,h]]=vystup[[3]];
    ep[[m,d,h]]=vystup[[4]];
    kontrola2[[m,d,h]]=vystup[[5]];
    akumulace[[m,d,h]]=vystup[[6]];
    Δakudod=vystup[[6,2]];
    Δakuod=vystup[[6,1]];

(*cast zasobnik*)
    For[i=1,i<Length[objemzas]+1,i++,
        If[Δakudod>(eakumax[[i]]-stavzas[[i,1]],
            {Δakudod=Δakudod-(eakumax[[i]]-stavzas[[i,1]]);
            stavzas[[i,1]]=eakumax[[i]];},
            {stavzas[[i,1]]=stavzas[[i,1]]+Δakudod;Δakudod=0;}}];
    For[i=1,i<Length[objemzas]+1,i++,
        If[stavzas[[i,2]]==1,
            If[Δakuod>stavzas[[i,1]] && stavzas[[i,1]]>0 ,
                {Δakuod=Δakuod-stavzas[[i,1]];stavzas[[i,1]]=0;},
                {stavzas[[i,1]]=stavzas[[i,1]]-Δakuod;Δakuod=0;}}];];

    stavzas[[m,d,h]]=Table[{stavzas[[i,1]],stavzas[[i,2]],
teplotaaku[stavzas[[i,1]],vahaVodyAku[[i]],zasobnikData]},
{i,1,Length[objemzas]}];

zasobnik[[m,d,h]]=Table[stavzas[[i,1]],{i,1,Length[objemzas]}]/.List→Plus;
];];];

{stavzas,akumulace,kontrola2,kontrola1,kogen,pozadavek,zasobnik,kotel}
];

```

Funkce pro vypočet vyrobené energie

```

ClearAll[vyrobeneEnergie];
vyrobeneEnergie[{stavzas_,akumulace_,kontrola2_,kontrola1_,kogen_,
pozadavek_,zasobnik_,kotel_}]:=Module[{teploKogen,celkemtepla,pochodKJ,
vyrelektOpt,vyrelekt,vyrTeplaKotel,MaxVykonKotle},
    teploKogen=Table[kogen[[All,All,All,m]]/.List→Plus,
    {m,1,Length[ekogenerace]}];
    celkemtepla=pozadavek[[All,All,All]]/.List→Plus;

```

```

pocHodKJ=Table[Select[Flatten[kogen[[All,All,All,m]]/.ekogenerace[[m]]→1],
#==1&]/.List→Plus,{m,1,Length[ekogenerace ]}];

vyrelektOpt=Table[pocHodKJ[[m]]*elkogenerace[[m]],
{m,1,Length[ekogenerace ]}];

vyrelekt=Table[(elkogenerace[[m]]*(kogen[[All,All,All,m]]/.
ekogenerace[[m]]→0)/ekogenerace[[m]]]/.List→Plus,
{m,1,Length[ekogenerace ]}];

    vyrTeplaKotel=kotel/.List→Plus;
    MaxVykonKotle=Max[kotel];

{teploKogen, celkemtepla, pocHodKJ, vyrelektOpt, vyrelekt, vyrTeplaKotel, MaxVyko
nKotle}
];

```

Funkce pro vykreslení výsledků

```

ClearAll[grafPraceKJ2];
grafPraceKJ2[{stavzas_, akumulace_, kontrola2_, kontrola1_, kogen_, pozadavek_,
zasobnik_, kotel_}, {Tmax_, Tmin_, celkovyObjem_, hmotnostCelkova_, vahaVodyAku_,
eakumax_, eakumaxCelkova_, rozmary_, startstavzas_}]:=Module[{kogden1, kogden2,
kogden3, zasden, pozden, kotden, maxakumulace, graf, maxvykresleni},

kogden1=Table[Table[Table[{h-1, kogen[[m,d,h,1]]}], {h,1,24,1}],
{d,1,dayspermonth[m,rok],1}], {m,1,12,1}];

kogden2=Table[Table[Table[{h-1, If[kogen[[m,d,h,2]]>0,
kogen[[m,d,h,1]]+kogen[[m,d,h,2]],0}], {h,1,24,1}],
d,1,dayspermonth[m,rok],1}], {m,1,12,1}];

kogden3=Table[Table[Table[{h-1,
If[kogen[[m,d,h,3]]>0, kogen[[m,d,h,1]]+kogen[[m,d,h,2]]+kogen[[m,d,h,3]],0]
}], {h,1,24,1}], {d,1,dayspermonth[m,rok],1}], {m,1,12,1}];

zasden=Table[Table[Table[{h-1, zasobnik[[m,d,h]]}], {h,1,24,1}],
{d,1,dayspermonth[m,rok],1}], {m,1,12,1}];

pozden=Table[Table[Table[{h-1, pozadavek[[m,d,h]]}], {h,1,24,1}],
{d,1,dayspermonth[m,rok],1}], {m,1,12,1}];

kotden=Table[Table[Table[{h-1, kotel[[m,d,h]]}], {h,1,24,1}],
{d,1,dayspermonth[m,rok],1}], {m,1,12,1}];

maxakumulace=Table[{h-1, eakumaxCelkova}, {h,1,24}];

Manipulate[Manipulate[ListPlot[{pozden[[m,d]], kogden1[[m,d]], kogden2[[m,d]]
, kogden3[[m,d]], zasden[[m,d]], kotden[[m,d]], maxakumulace},
PlotStyle→{Directive[Black, PointSize[Large]], Directive[Blue,
PointSize[Medium]], Directive[Green, PointSize[Medium]], Directive[Red,
PointSize[Medium]], Directive[Purple, PointSize[Large]], Directive[Orange,
PointSize[Medium]], Directive[Black, PointSize[Medium]]}, Joined→{False, False,
False, False, True, False, True}, Filling→Axis, ImageSize→500,

```

```

PlotLabel→Style["Pokrytí tepelného požadavku během dne",20],LabelStyle→15,
PlotLegends→Placed[{"Denní požadavek","Kogenerační jednotka 1",
"Kogenerační jednotka 1+2","Kogenerační jednotka 1+2+3","Zásobník",
"Kotel","Hranice maximálního nabití zásobníků"},Bottom],
AxesLabel→{Style["Denní hodina",15],Style["Q [kWh]",15]},
PlotRange→{Automatic,1.2*maxakumulace},{d,1,"Den"},1,dayspermonth[m,rok],
1,Appearance→"Open"},Paneled→False},{m,1,"Měsíc"},1,12,1,
Appearance→"Open"},Paneled→False]];

ClearAll[krivkaTrvanivykonu];
krivkaTrvanivykonu[stavyzas_,akumulace_,kontrola2_,kontrola1_,kogen_,
pozadavek_,zasobnik_,kotel_] :=Module[{vykonPotrTepla,vykonKotel,vykonKog,
vykonZasobnik,graf,soucvykonKog},
  vykonPotrTepla=Sort[Flatten[pozadavek],Greater];
  vykonKotel=Sort[Flatten[kotel],Greater];
  vykonKog=Table[Sort[Flatten[kogen[[All,All,All,i]]],Greater],
{i,1,Length[ekogenerace]}];
  soucvykonKog=Flatten[Sum[vykonKog[[i]],{i,1,Length[ekogenerace]}]];
  vykonZasobnik=Sort[Flatten[zasobnik],Greater];

  graf=ListPlot[{vykonPotrTepla,vykonKotel,soucvykonKog,vykonZasobnik},
PlotRange→{0,All},Joined→True,PlotStyle→{Directive[Black,PointSize[Large]]
,Directive[Blue,PointSize[Large]],Directive[Green,PointSize[Large]],
Directive[Orange,PointSize[Large]],Black},PlotLegends→Placed[
{"Trvani vykonu pozadovaneho","Trvani vykonu kotel",
"Trvani vykonu kogeneracnich jednotek","Trvani vykonu zasobnik"},
Below],AxesLabel→{Style["t[h]",15],Style["P [kWt]",15]},
PlotLabel→Style["Krivka trvani vykonu",Large],ImageSize→500,
LabelStyle→15];
  graf
];

ClearAll[teplotyZasobniku];
teplotyZasobniku[stavyzas_,akumulace_,kontrola2_,kontrola1_,kogen_,
pozadavek_,zasobnik_,kotel_,{Tmax_,Tmin_,celkovyObjem_,hmotnostCelkova_,
vahaVodyAku_,eakumax_,eakumaxCelkova_,rozmary_,startstavzas_]:=Module[
{dolnimez,hornimez,teplotazas,graf},

dolnimez=Flatten[Table[Table[Table[Tmin,{h,1,24}],{d,1,dayspermonth[m,rok]}
],{m,1,12}]];

hornimez=Flatten[Table[Table[Table[Tmax,{h,1,24}],{d,1,dayspermonth[m,rok]}
],{m,1,12}]];

graf=Table[teplotazas=Flatten[Table[Table[Table[stavyzas[[m,d,h,i,3]],
{h,1,24}],{d,1,dayspermonth[m,rok]}],{m,1,12}]];

ListPlot[{Flatten[teplotazas],dolnimez,hornimez},Joined→True,PlotRange→{0,
100},ImageSize→500,AxesLabel→{Style["t[h]",15],Style["t [°C]",15]},
PlotLabel→Style[i ". zasobnik - stredni teplota behem roku",Large],

```



```

PlotLegends→Placed[{"Stredni teplota v zasobniku","Dolni mezni teplota
vyuzitelnosti zasobniku po kryti tep. pozadavku","Horni mezni teplota
vyuzitelnosti zasobniku po kryti tep. pozadavku"},Below],
PlotStyle→{Directive[Black,PointSize[Large]],Directive[Blue,
PointSize[Large]],Directive[Green,PointSize[Large]]},LabelStyle→15],
{i,1,Length[objemzas]};
    graf
];

ClearAll[vykresleniVyrEnergie];
vykresleniVyrEnergie[{teploKogen_,celkemtepla_,pocHodKJ_,vyrelektOpt_,
vyrelekt_,vyrTeplaKotel_,MaxVykonKotle_]:=Module[{}],

Print[Style["Vyrobene teplo KJ za rok",18,Red]];
Table[Print[m,".kogeneracni jednotka ",teploKogen[[m]]*3600/106//N,
" GJ/rok"],{m,1,Length[ekogenerace ]}];

Print[Style["Procento vyrobeného tepla KJ z celkove dodavky tepla za
rok",18,Red]];
Print[Round[100*(teploKogen[[All]]/.List→Plus)/celkemtepla],"% vyrobeno
v KJ z celkoveho pozadavku tepla za rok"];

Print[Style["Pocet hodin za rok KJ pri optimalnim provozu",18,Red]];
Table[Print[m,".kogeneracni jednotka ",pocHodKJ[[m]]," hod/rok"],
{m,1,Length[ekogenerace ]}];

Print[Style["Mnozstvi vyrobené elektriny za rok KJ pri optimalnim provozu",
18,Red]];
Table[Print[m,".kogeneracni jednotka ",vyrelektOpt[[m]]/1000//N,
" MWh/rok"],{m,1,Length[ekogenerace ]}];

Print[Style["Mnozstvi vyrobené elektriny za rok KJ mimo optimalni provoz",
18,Red]];
Table[Print[m,".kogeneracni jednotka ",vyrelekt[[m]]/1000//N," MWh/rok"],
{m,1,Length[ekogenerace ]}];

Print[Style["Mnozstvi vyrobeného tepla v kotli a max. vykon kotle",
18,Red]];

Print["Mnozstvi vyrobeného tepla kotlem ",vyrTeplaKotel*3600/106//N,
" GJ/rok"];

Print["Maximalni vykon kotle ",MaxVykonKotle," kWt/rok"];];

```

Ekonomická část

Funkce pro výpočet ceny elektrické energie

```

ClearAll[cenaele];
cenaele[vykonjednotky_,{stavyzas_,akumulace_,kontrola2_,kontrola1_,kogen_,p
ozadavek_,zasobnik_,kotel_},{teplotyOprv_,teplaOprv_,ceny_},pocethodin_,dot
acevyp_,kurz_,i_,zmenaceny_]:=Module[{p=dotacevyp,cenaspot,zelenebonusy,vys
ezelbonusu,cenabonusy,jump=0,sazba,celkovacena,cenatrh,vyrelektriny},

```

```

cenaspot=Table[Table[Table[kogen[[m,d,h,i]]/1000*ceny[[m,d,h]]*kurz*
zmenaceny,{h,1,24}},{d,1,dayspermonth[m,rok]}],{m,1,12}];
cenatrh=cenaspot/.List→Plus;
vyrelektliny=kogen[[All,All,All,i]]/.List→Plus;
If[dotacevyp==1,zelenebonusy={
  {0,200,3000,1610},
  {0,200,4400,1150},
  {0,200,8400,220},
  {200,1000,3000,1150},
  {200,1000,4400,750},
  {200,1000,8400,140},
  {1000,5000,3000,800},
  {1000,5000,4400,470},
  {1000,5000,8400,45}
}]/N;

For[k=1,k<10,k++,
  If[zelenebonusy[[k,1]]<vykonjednotky≤zelenebonusy[[k,2]] &&
    zelenebonusy[[k,3]]≥pocethodin &&
    jump==0,vysezelbonusu=zelenebonusy[[k,4]]+455;jump=1;];];
cenabonusy=vyrelektliny/1000*vysezelbonusu;;cenabonusy=0;];
celkovacena=cenabonusy+cenatrh;
celkovacena
];

```

Funkce pro výpočet ekonomického hodnocení projektu

```

ClearAll[ekonomika];
ekonomika[{stavyzas_,akumulace_,kontrola2_,kontrola1_,kogen_,pozadavek_,
zasobnik_,kotel_},{Tmax_,Tmin_,celkovyObjem_,hmotnostCelkova_,vahaVodyAku_,
eakumax_,eakumaxCelkova_,rozmary_,stavzas_},{teploKogen_,celkemtepla_,
pocHodKJ_,vyrelektOpt_,vyrelekt_,vyrTeplaKotel_,MaxVykonKotle_}]:=Module[
{trzbael,QtKVET,trzbateplo,naklady,nakladyplyn,nakladyudrzba,CF,PDN,
celkinv,CFlist,rn,zdiskontuj,kdiskonty,dCFList,nakladyList,dnakladyList,
trzbaellist,dtrzbaellist,trzbateplolist,dtrzbateplolist,nakladyplynlist,
dnakladyplynlist,nakladyudrzbalist,dnakladyudrzbalist,trzbalist,dtrzbalist,
dCFTotal,NPV,irr,dcfirr,IRR,plynKogen,plynKotel},

plynKogen=Table[kogen[[All,All,All,i]]/ekogenerace[[i]]*spotrPlynu[[i]],
{i,1,Length[ekogenerace]}]/.List→Plus;
plynKotel=(vyrTeplaKotel*3600/103)/(34*ucinnostKotel);
celkinv=1.3*((cenyjednotek/.List→Plus)+(1.2*Max[kotel]*cen1kWkotle)+
(objemzas/.List→Plus)*cen1m3zasobniku);

trzbael[rok_]:=Table[cenaele[ekogenerace[[i]]+elkogenerace[[i]],vysledek,
vstupniData,pocHodKJ[[i]],datCenaPrisp[[rok]],kurz,i,datCenaEl[[rok]]],
{i,1,Length[ekogenerace]}]/.List→Plus;
trzbateplo[rok_]:=cenateplo*celkemtepla*3600/106*datCenaTep[[rok]];
nakladyplyn[rok_]:=10.55/1000*nakladyMWhplyn*(plynKogen+plynKotel)*
datCenaPlyn[[rok]];

```

```

nakladyudrzba[rok_] := datCenaUdr[[rok]] * cenaUdrbyEl * ((vyrelektOpt + vyrelekt)
/.List -> Plus) / 1000 + datCenaUdr[[rok]] * cenaUdrbyTEP * vyrTeplaKotel * 3600 / 106;

naklady[rok_] := nakladyudrzba[rok] + nakladyplyn[rok];

CF[rok_] := trzbateplo[rok] + trzbael[rok] - naklady[rok];
rn = Range[nLet];
CFlist = CF / @rn;
kdiskonty = 1 / (1 + diskont) # & / @Range[0, nLet - 1];
zdiskontuj[list_] := kdiskonty * list;
dCFlist = zdiskontuj[CFlist];
nakladyList = naklady / @rn;
dnakladyList = zdiskontuj[nakladyList];
trzbaellist = trzbael / @rn;
dtrzbaellist = zdiskontuj[trzbaellist];
trzbateplolist = trzbateplo / @rn;
dtrzbateplolist = zdiskontuj[trzbateplolist];
nakladyplynlist = nakladyplyn / @rn;
dnakladyplynlist = zdiskontuj[nakladyplynlist];
nakladyudrzbalist = nakladyudrzba / @rn;
dnakladyudrzbalist = zdiskontuj[nakladyudrzbalist];
trzbalist = trzbateplolist + trzbaellist;
dtrzbalist = dtrzbateplolist + dtrzbaellist;
dCFTotal = Plus @@ dCFlist;
NPV = dCFTotal - celkinv;
dcfirr = Plus @@ (CFlist / irr#-1 & / @Range[nLet]);
IRR = -100 * (1 - irr / .FindRoot[dcfirr == celkinv, {irr, 1}]);

{celkinv, PDN = celkinv / CF[1], CFlist, dCFlist, nakladyList, dnakladyList,
trzbaellist, dtrzbaellist, trzbateplolist, dtrzbateplolist, nakladyplynlist,
dnakladyplynlist, nakladyudrzbalist, dnakladyudrzbalist, trzbalist, dtrzbalist,
dCFTotal, NPV, IRR};

```

Funkce pro vykreslení výsledků ekonomického hodnocení

```

ClearAll[akumulDCF];
akumulDCF[{celkinv_, PDN_, CFlist_, dCFlist_, nakladyList_, dnakladyList_,
trzbaellist_, dtrzbaellist_, trzbateplolist_, dtrzbateplolist_,
nakladyplynlist_, dnakladyplynlist_, nakladyudrzbalist_, dnakladyudrzbalist_,
trzbalist_, dtrzbalist_, dCFTotal_, NPV_, IRR_}] := Module[{vystKumulCF, kumulCF,
DCFlist, k=0, graf},

DCFlist = dCFlist[[1]] - celkinv;
kumulCF = Table[k = k + dCFlist[[i]], {i, 1, nLet}];

vystKumulCF = Table[{i, If[i == 0, -celkinv, kumulCF[[i]]] / 106}, {i, 0, 20}];
graf = ListPlot[vystKumulCF, Joined -> True, PlotRange -> {(-1.2 * celkinv) / 106,
(1.2 * Max[kumulCF]) / 106}, PlotLabel -> Style["Akumulovane DCF", Large],
AxesLabel -> {Style["t[roky]", 15], Style["akumulovane DCF[MKc]", 15]},
ImageSize -> 500];
graf];

```

```

ClearAll[mylpl];
mylpl[list_, popisY_, plotLabel_, popiGrafu_] := BarChart[list, AxesLabel -> {
Style["t [rok]", 15], Style[popisY, 15]}, PlotLabel -> plotLabel,
ChartLegends -> Placed[{popiGrafu}, Bottom], ImageSize -> 500];
myr := 10.-2 * Round[102 #] &;

ClearAll[ukazEkonomika];
ukazEkonomika[{jednotky_, {{Tmax_, Tmin_, celkovyObjem_, hmotnostCelkova_,
vahaVodyAku_, eakumax_, eakumaxCelkova_, rozmetry_, stavzas_}, {celkinv_, PDN_,
CFlist_, dCFList_, nakladyList_, dnakladyList_, trzbaellist_, dtrzbaellist_,
trzbateplolist_, dtrzbateplolist_, nakladyplynlist_, dnakladyplynlist_,
nakladyudrzbalist_, dnakladyudrzbalist_, trzbalist_, dtrzbalist_, dCFTotal_,
NPV_, IRR_}}]}] := Module[{pldcf, celkvys, M = 106, celkinf, sest},

celkvys = {"Jednotky: "<>ToString[Table[jednotky[[i]],
{i, 1, Length[ekogenerace]}]], "Objem akumulace: "
<>ToString[objemzas/.List->Plus]<>" m3"}, {"inv= "
<>ToString[myr@(celkinv/M)]<>" MKc", "NPV= "<>ToString[myr@(NPV/M)]
<>" MKc"},

{"PDN= "<>ToString[myr@PDN]<>" rok", "IRR= "<>ToString[myr@IRR]<>" %"}];

celkinf = Grid[celkvys, Frame -> All, ItemSize -> {20, 2}];

pldcf = mylpl[dCFList, "dcf [Kc]", celkinf, "diskontovany CF"]
];

```

Volání funkcí pro načtení dat

```

vstupniData = nacteniDat[rok];
zasobnikData = dataZasobnik[otopnysystem, objemzas, startnabit];
zapJednotekList = spinani[vstupniData, cenazap];

```

Volání funkcí pro běh programu

```

vysledek = teloprogramu[zasobnikData, vstupniData];
vyrEnergieData = vyrobeneEnergie[vysledek];
vystupekonomika = ekonomika[vysledek, zasobnikData, vyrEnergieData];

```

Volání funkcí pro vykreslení výsledků

```

grafPraceKJ2[vysledek, zasobnikData]
krivkaTrvanivykonu1[vysledek]
teplotyZasobniku[vysledek, zasobnikData]
vykresleniVyrEnergie[vyrEnergieData]
akumulDCF[vystupekonomika]
ukazEkonomika[{navezjednotek, {zasobnikData, vystupekonomika}}]

```

Obrázek 1 Kód modelu práce kogeneračních jednotek do systému CZT ze softwaru Mathematica