

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ**

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

**OPTIMALIZACE INSTALACE KOGENERAČNÍ
JEDNOTKY V RODINNÉM DOMĚ**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

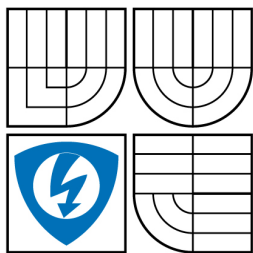
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JAN NOVOTNÝ

BRNO 2009



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor
Elektroenergetika

Student: Bc. Jan Novotný

ID: 83412

Ročník: 2

Akademický rok: 2008/2009

NÁZEV TÉMATU:

Optimalizace instalace kogenerační jednotky v rodinném domě

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Cílem práce je zdokumentovat stávající stav instalace kogenerační jednotky v rodinném domě a vytvořit projektové schéma pro návrh nového zapojení vyvedení tepla s možností přípravy TUV a vytápění včetně ekonomického vyhodnocení.

Osnova:

1. malá kogenerace pro domovní kotelnu
2. akumulace tepla a výměníky
3. návrh rekonstrukce vytápění
4. investiční náročnost, přínos rekonstrukce a kogenerace pro vytápění.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Podle pokynů vedoucího.

Termín zadání: 9.2.2009

Termín odevzdání: 25.5.2009

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení § 152 trestního zákona č. 140/1961 Sb.

LICENČNÍ SMLOUVA

POSKYTOVANÁ K VÝKONU PRÁVA UŽÍT ŠKOLNÍ DÍLO

uzavřená mezi smluvními stranami:

1. Pan/paní

Jméno a příjmení: Bc. Jan Novotný

Bytem: Rozsochy 117, PSČ 592 57

Narozen/a (datum a místo): 28.05.1985 v Brně

(dále jen „autor“)

a

2. Vysoké učení technické v Brně

Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií,

se sídlem Údolní 244/53, 602 00 Brno,

jejímž jménem jedná na základě písemného pověření děkanem fakulty:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.

(dále jen „nabyvatel“)

Čl. 1

Specifikace školního díla

1. Předmětem této smlouvy je vysokoškolská kvalifikační práce (VŠKP):

☐ disertační práce

☒ diplomová práce

☐ bakalářská práce

☐ jiná práce, jejíž druh je specifikován jako

(dále jen VŠKP nebo dílo)

Název VŠKP:	Optimalizace instalace kogenerační jednotky v rodinném domě
Vedoucí/ školitel VŠKP:	Ing. Petr Baxant, Ph.D.
Ústav:	Ústav elektroenergetiky
Datum obhajoby VŠKP:	15.06.2009

VŠKP odevzdal autor nabyvateli v*:

☒ tištěné formě – počet exemplářů 1

☒ elektronické formě – počet exemplářů 1

* hodící se zaškrtněte

2. Autor prohlašuje, že vytvořil samostatnou vlastní tvůrčí činností dílo shora popsané a specifikované. Autor dále prohlašuje, že při zpracovávání díla se sám nedostal do rozporu s autorským zákonem a předpisy souvisejícími a že je dílo dílem původním.
3. Dílo je chráněno jako dílo dle autorského zákona v platném znění.
4. Autor potvrzuje, že listinná a elektronická verze díla je identická.

Článek 2

Udělení licenčního oprávnění

1. Autor touto smlouvou poskytuje nabyvateli oprávnění (licenci) k výkonu práva uvedené dílo nevýdělečně užít, archivovat a zpřístupnit ke studijním, výukovým a výzkumným účelům včetně pořizování výpisů, opisů a rozmnoženin.
2. Licence je poskytována celosvětově, pro celou dobu trvání autorských a majetkových práv k dílu.
3. Autor souhlasí se zveřejněním díla v databázi přístupné v mezinárodní síti
 - ☐ ihned po uzavření této smlouvy
 - ☒ 1 rok po uzavření této smlouvy
 - ☐ 3 roky po uzavření této smlouvy
 - ☐ 5 let po uzavření této smlouvy
 - ☐ 10 let po uzavření této smlouvy(z důvodu utajení v něm obsažených informací)
4. Nevýdělečné zveřejňování díla nabyvatelem v souladu s ustanovením § 47b zákona č. 111/ 1998 Sb., v platném znění, nevyžaduje licenci a nabyvatel je k němu povinen a oprávněn ze zákona.

Článek 3

Závěrečná ustanovení

1. Smlouva je sepsána ve třech vyhotoveních s platností originálu, přičemž po jednom vyhotovení obdrží autor a nabyvatel, další vyhotovení je vloženo do VŠKP.
2. Vztahy mezi smluvními stranami vzniklé a neupravené touto smlouvou se řídí autorským zákonem, občanským zákoníkem, vysokoškolským zákonem, zákonem o archivnictví, v platném znění a popř. dalšími právními předpisy.
3. Licenční smlouva byla uzavřena na základě svobodné a pravé vůle smluvních stran, s plným porozuměním jejímu textu i důsledkům, nikoliv v tísní a za nápadně nevýhodných podmínek.
4. Licenční smlouva nabývá platnosti a účinnosti dnem jejího podpisu oběma smluvními stranami.

V Brně dne:

.....
Nabyvatel

.....
Autor

Bibliografická citace práce:

NOVOTNÝ, J. Optimalizace instalace kogenerační jednotky v rodinném domě. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2009. 68 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady (literaturu, projekty, SW atd.) uvedené v přiloženém seznamu.

Zároveň bych na tomto místě chtěl poděkovat vedoucímu semestrální práce Ing. Petru Baxantovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky k mé práci, poskytnutou literaturu a svým rodičům za podporu během celé doby mého studia.

.....



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ



Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií

Ústav elektroenergetiky

Diplomová práce

Optimalizace instalace kogenerační jednotky v rodinném domě

Bc. Jan Novotný

vedoucí: Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Ústav elektroenergetiky, FEKT VUT v Brně, 2009

Brno



BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**Faculty of Electrical Engineering and Communication
Department of Electrical Power Engineering**

Master's Thesis

Installation of cogeneration unit's optimalization in a family house

by

Bc. Jan Novotný

Supervisor: Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Brno University of Technology, 2009

Brno

ABSTRAKT

Práce se zabývá využitím tepelné energie z kogenerační jednotky v rodinném domě. Ohled je brán zejména na její užití pro vytápění rodinného domu a ohřev teplé užitkové vody. Optimalizace je prováděna na již existujících kogeneračních jednotkách. V této práci se budeme zabývat dvěma typy kogeneračních jednotek o různém výkonu. Ze začátku se věnujeme zjištěním současného stavu a možnostmi regulace. Dále se zabýváme možnými způsoby optimalizace zimního a letního provozu .

KLÍČOVÁ SLOVA: kogenerační jednotka, kombinovaná výroba, vytápění rodinného domu, spalovací motor, výměníky tepla, výroba elektrické energie, výroba tepelné energie

ABSTRACT

The work deals with usage of heat energy from cogeneration unit in a family house. It is focused especially on the use for family house's heating and warming of service water. Optimalization is made on existing cogeneration units. In this work we will handle with two types of cogeneration units of different capacities. From the beginning we concern in current situation and the possibilities of regulation. Further we deal with the possible ways of optimalization of winter and summer running and with the costs for these optimalizations.

KEY WORDS: cogeneration unit, combined production, family house's heating, combustion engine, heat-exchangers, generation of electricity, heat energy production

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
SEZNAM TABULEK	15
1 ÚVOD	16
2 KOGENERACE, TYPY, VYUŽITÍ	17
2.1 POJEM KOGENERACE.....	17
2.2 TYPY POHONNÝCH JEDNOTEK	17
2.2.1 PARNÍ TURBÍNY	17
2.2.2 PARNÍ MOTOR	18
2.2.3 SPALOVACÍ TURBÍNA	18
2.2.4 SPALOVACÍ MOTORY.....	18
2.3 SHRUTÍ.....	18
3 KOGENERAČNÍ JEDOTKA MT 22.....	19
3.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O KOGENERAČNÍ JEDNOTCE	19
3.2 INFORMACE O ZAŘÍZENÍ V TEPELNÝCH OBVODECH	19
3.2.1 ZDROJ TEPELNÉ ENERGIE	19
3.2.2 AKUMULAČNÍ NÁDRŽ	19
3.2.3 VÝMĚNÍK TEPLA	20
3.3 AKTUÁLNÍ STAV TEPELNÝCH OBVODŮ	20
3.4 MOŽNÉ STAVY REGULACE.....	21
3.4.1 REGULACE TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY	21
3.4.2 REGULACE PŘI PROVOZU KJ - 1. VARIANTA REGULACE	21
3.4.3 REGULACE PŘI PROVOZU KJ – 2. VARIANTA REGULACE	22
3.4.4 REGULACE PŘI PROVOZU KJ - 3. VARIANTA REGULACE	23
3.4.5 REGULACE PŘI PROVOZU KJ - 4. VARIANTA REGULACE	24
3.5 ZHODNOCENÍ STAVU REGULACE.....	25
4 KOGENERAČNÍ JEDOTKA 45 KW	26
4.1 ZÁKLADNÍ INFORMACE O KOGENERAČNÍ JEDNOTCE	26
4.2 INFORMACE O ZAŘÍZENÍ V TEPELNÝCH OBVODECH	26
4.2.1 ZDROJ TEPELNÉ ENERGIE	26
4.2.2 AKUMULAČNÍ NÁDRŽ	27
4.2.3 VÝMĚNÍK TEPLA	27
4.3 AKTUÁLNÍ STAV TEPELNÝCH OBVODŮ	27
4.4 MOŽNÉ STAVY REGULACE.....	29
4.4.1 REGULACE PŘI PROVOZU KJ PRVNÍHO OKRUHU	29
4.4.2 REGULACE PŘI PROVOZU KJ DRUHÉHO OKRUHU VARIANTA 1	29
4.4.3 REGULACE PŘI PROVOZU KJ DRUHÉHO OKRUHU VARIANTA 2	31
4.5 ZHODNOCENÍ STAVU REGULACE.....	31
5 OHŘEV TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY	32
5.1 ZÁKLADNÍ PRINCIP	32

5.2 VÝPOČET PRO DANÝ OBJEKT MT22	32
5.3 VÝPOČET PRO DANÝ OBJEKT 45kW	33
5.4 NÁHRADNÍ ZDROJ TEPELNÉ ENERGIE	34
6 VYTÁPĚNÍ OBJEKTU	35
6.1 VÝPOČET PRO OBĚ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	36
6.2 ZHODNOCENÍ VYTÁPĚNÍ	37
7 SIMULACE KOGENERAČNÍ JEDNOTKY MT22	38
7.1 SIMULACE KJ MT22 PRO ZIMNÍ PROVOZ	38
7.1.1 SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	39
7.1.2 SCHÉMA AKUMULAČNÍ NÁDRŽE	40
7.1.3 SCHÉMA BOJLERU	42
7.2 SIMULACE KOGENERAČNÍ JEDNOTKY MT22 PRO LETNÍ PROVOZ	43
7.2.1 VÝMĚNÍK TEPLA	44
7.2.2 SCHÉMA BOJLERU	45
7.2.3 SCHÉMA AKUMULAČNÍ NÁDRŽE	46
7.3 ZHODNOCENÍ STAVU LETNÍHO A ZIMNÍHO PROVOZU	47
8 KOGENERAČNÍ JEDNOTKA 45kW	48
8.1 SIMULACE KJ 45kW PRO ZIMNÍ PROVOZ	48
8.1.1 SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	49
8.1.2 SCHÉMA AKUMULAČNÍ NÁDRŽE	50
8.1.3 SCHÉMA BOJLERU	52
8.2 SIMULACE KOGENERAČNÍ JEDNOTKY 45kW PRO LETNÍ PROVOZ	53
8.2.1 SCHÉMA KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	53
8.2.2 SCHÉMA AKUMULAČNÍ NÁDRŽE	54
8.2.3 SCHÉMA BOJLERU	55
8.3 ZHODNOCENÍ STAVU LETNÍHO A ZIMNÍHO PROVOZU	56
9 NÁKLADY NA ÚPRAVY KJ	57
9.1 NÁKLADY NA KOGENERAČNÍ JEDNOTKU MT 22.....	57
9.2 NÁKLADY NA KOGENERAČNÍ JEDNOTKU O VÝKONU 45kW.....	57
9.3 ZHODNOCENÍ NÁKLADŮ	58
10 ZÁVĚR.....	59
POUŽITÁ LITERATURA	60
PŘÍLOHA A VENKOVNÍ VÝPOČTOVÉ TEPLoty A OTOPNÁ OBDOBÍ DLE LOKALIT [18] 61	
PŘÍLOHA B SOUBOR SE ZADANÝMI HODNOTAMI PRO KJ MT 22	64
PŘÍLOHA C SOUBOR SE ZADANÝMI HODNOTAMI PRO KJ 45KW	66
PŘÍLOHA D SOUBOR PO VYKRESLENÍ GRAFŮ	68

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 3-1 Výměník tepla	20
Obr. 3-2 Schéma tepelného obvodu	20
Obr. 3-3 Schéma tepelného obvodu možná regulace 1	21
Obr. 3-4 Schéma tepelného obvodu možná regulace 2	23
Obr. 3-5 Schéma tepelného obvodu možná regulace 2	24
Obr. 3-6 Schéma tepelného obvodu možná regulace 3	25
Obr. 4-1 Akumulační nádrž	27
Obr. 4-2 Schéma prvního okruhu	28
Obr. 4-3 Schéma druhého okruhu	28
Obr. 4-4 Schéma prvního okruhu regulace	29
Obr. 4-5 Schéma druhého okruhu regulace varianta 1	30
Obr. 4-6 Schéma druhého okruhu regulace varianta 2	31
Obr. 7-1 Celkové schéma s kogenerační jednotkou MT22 - zimní provoz	38
Obr. 7-2 Schéma kogenerační jednotky MT22	39
Obr. 7-3 Průběh dodávaného výkonu – zimním provozu	40
Obr. 7-4 Schéma akumulací nádrže	40
Obr. 7-5 Dodávaný, odebíraný a akumulovaný výkon MT22-zimní provoz	41
Obr. 7-6 Schéma bojleru	42
Obr. 7-7 Průběh teploty v bojleru – zimní provoz	42
Obr. 7-8 Celkové schéma s kogenerační jednotkou MT22 - letní provoz	43
Obr. 7-9 Průběh provozu kogenerační jednotky - letní provoz	44
Obr. 7-10 Výměníky longtherm [16]	45
Obr. 7-11 Schéma nového výměníku	45
Obr. 7-12 Schéma bojleru	46
Obr. 7-13 Průběh střední teploty v bojleru – letní provoz	46
Obr. 7-14 Průběh výkonu v akumulací nádrži	47
Obr. 8-1 Celkové schéma s kogenerační jednotkou 45kW	48
Obr. 8-2 Schéma kogenerační jednotky	49
Obr. 8-3 Průběh dodávaného výkonu z kogenerační jednotky - letní provoz	50
Obr. 8-4 Schéma akumulací nádrže – zimní provoz	50
Obr. 8-5 Dodávaný, odebíraný a akumulovaný výkon v nádrži – zimní provoz	51
Obr. 8-6 Schéma bojleru	52

<i>Obr. 8-7 Průběh teploty v bojleru</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 8-8 Velikost dodaného výkonu z KJ</i>	<i>53</i>
<i>Obr. 8-9 Schéma akumulční nádrže – letní provoz</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 8-10 Dodávaný, odebíraný a akumulovaný výkon v nádrži – letní provoz</i>	<i>55</i>
<i>Obr. 8-11 Teplota v bojleru - letní provoz</i>	<i>55</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 3-1 Parametry kogenerační jednotky[9]</i>	19
<i>Tab. 4-1 Parametry kogenerační jednotky</i>	26
<i>Tab. 5-1 Vstupní parametry a tabulkové hodnoty MT 22</i>	32
<i>Tab. 5-2 Vstupní parametry a tabulkové hodnoty 45kW</i>	33
<i>Tab. 6-1 Vstupní parametry opravných koeficientů a účinností</i>	36
<i>Tab. 6-2 Parametry pro výpočet tepla pro vytápění</i>	37
<i>Tab. 7-1 Tabulka vstupních hodnot - zimní provoz</i>	38
<i>Tab. 7-2 Tabulka vstupních hodnot – letní provoz</i>	43
<i>Tab. 7-3 Parametry výměníku rhc 60/14 [16]</i>	44
<i>Tab. 7-4 Konstrukční parametry výměníku rhc 60/14[16]</i>	45
<i>Tab. 8-1 Tabulka vstupních hodnot – zimní provoz</i>	48
<i>Tab. 8-2 Tabulka vstupních hodnot – letní provoz</i>	53
<i>Tab. 9-1 Tabulka přepokládaných nákladů pro MT22 varianta 1</i>	57
<i>Tab. 9-2 Tabulka přepokládaných nákladů pro MT22 varianta 2</i>	57
<i>Tab. 9-3 Tabulka nákladů pro kogenerační jednotku o výkonu 45kW</i>	58

1 ÚVOD

V dnešní době jsme doslova závislí na elektrické energii. Elektrickou energii získáváme z různých druhů elektráren. Zdrojem paliva pro tyto elektrárny můžeme rozdělit na neobnovitelné (fosilní, paliva, uran) a v dnešní době hodně diskutované obnovitelné zdroje (sluneční, větrná, vodní, atd.). Velkou část energie získáváme ze spalování fosilních paliv.

Při výrobě elektrické energie dochází ke vzniku velkého množství tepla. Toto teplo se v závislosti na umístění zdroje ochlazuje v elektrárně (chladicí věže), nebo je zavedeno k odběrateli parovodem, nebo teplovodem dle požadavků odběratele. Jelikož je však většina velký zdrojů umístěna v oblastech s nižší hustotou populace, přebytečné teplo se ochlazuje a dále se nijak nevyužívá.

Pokud se zamyslíme a postavili bychom si takou elektrárnu doma, taky bychom vyráběli elektrickou energii a zároveň využívali tepelnou energii. Docílili bychom úspory a zároveň bychom efektivněji využili palivo. K takovému způsobu výroby se nejčastěji využívají kogenerační jednotky. Jedná se o kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie.

Kogeneračních jednotek je několik typů o různém výkonu. V této práci se budeme zabývat těmi nejmenšími typy, který se dají využít pro rodinný dům - kogenerační jednotka se skládá ze spalovacího motoru a generátoru, přičemž elektrickou energii dodáváme do sítě a využíváme teplo vzniklé ve spalovacím motoru a z výfuku.

Cílem této práce je zjištění současného stavu kogenerační jednotky MT22 a kogenerační jednotky o výkonu 45kW. Dalším cílem je navrhnout úpravy pro optimalizaci zimního a letního provozu kogenerační jednotky. Zimní a letní provoz budeme simulovat pomocí programu Matab a Simulink

2 KOGENERACE, TYPY, VYUŽITÍ

V této kapitole se budeme zabývat základním principem kogenerace. Také rozebereme typy kogeneračních jednotek, které se používají a zaměříme se na kogenerační jednotky nejmenšího výkonu.

2.1 Pojem kogenerace

Kogenerace je zkrácený tvar od kogenerační výroby. Kogenerační výrobu definujeme jako „kombinovanou výrobu elektrické a tepelné energie“. Princip spočívá ve využití energie získané z paliva k výrobě elektrické energie, dále využíváme „odpadní teplo“. Toto teplo využíváme například k vytápění objektu.

Pod definicí kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie si také můžeme představit teplárenskou výrobu neboli teplárnu. Jde o stejný princip a jedná se pouze o to, že v našich podmínkách byla kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie známa jako teplárenská výroba. Pojem kogenerační výroba neboli kogenerace je pojem převzatý. Tento pojem je krátký a výstižný a proto se v literatuře používá čím dál častěji.

Položíme-li si otázku „čím je vlastně kogenerace tak zajímavá?“. Pokud se podíváme na velké elektrárny tak většina pracuje na podobném principu z paliva získá tepelnou energii, kterou přemění na elektrickou. Po využití této energie vznikne odpadní teplo. Ale většina elektráren dále toto teplo nevyužívá nebo využívá ale pouze jeho malou část. Dále provádí jeho ochlazení na potřebnou teplotu. Pokud se zamyslíme, tak jde vlastně o plýtvání s energiemi. Ale zase pokud se podíváme na rozložení elektráren, tak vedení odpadního tepla z elektrárny k odběrateli by bylo velkou vzdáleností, jelikož řada velkých elektráren pracuje na území s nízkou hustotou osídlení. Proto vedení tohoto tepla na velkou vzdálenost by bylo drahé a neekonomické. Ale pokud postavíme malou elektrárnu, kterou umístíme v objektu nebo v jeho bezprostřední blízkosti, tak můžeme využívat odpadní teplo k vytápění objektu. Tímto vlastně z paliva získáme mnohem více energie (zařízení bude mít vyšší účinnost) a to má za následek nižší spotřebu paliva tím i nižší náklady na provoz.

2.2 Typy pohonných jednotek

Je několik typů kogeneračních jednotek, ale všechny se skládají ze čtyř základních částí a to na pohon generátoru (dále jako motor), generátoru, výměníku a z řídicí jednotky. Nejčastěji se dělí podle typu motoru (pohonu generátoru). Nyní si popíšeme základní typy.

2.2.1 Parní turbíny

U parní turbíny funkci motoru vykonává parní turbína. Tato turbína je určena pro větší odběratele. Nejčastěji si používá v průmyslu ve středních a velkých závodech. Máme dva základní typy turbín:

- Parní turbína kondenzační
- Parní turbína protitlaková

Dále můžeme tyto turbíny dělit podle jejich výkonu, podle počtů odběrů, podle počtů stupňů podle typů uložení atd.

2.2.2 Parní motor

Parní motor se skládá z bloku motoru, válců, pístů a šoupátkového rozvodu. Motor je připojen ke generátoru. Motor je umístěn na společném rámu s generátorem. K provozu stačí i sytá pára. Parní stroj může být vybaven tak, aby umožňoval provoz v ostrovním režimu. Oproti parním turbínám má výhodu tu, že nemusí zpracovávat velké množství páry. Parní motor musí být zkonstruován tak, aby nedošlo k znečištění páry mazací kapalinou. Parní motory se dají umístit i do malých provozů.

2.2.3 Spalovací turbína

Spalovací turbína se skládá z 4 hlavní částí. Hlavní části jsou kompresor, spalovací komora, turbína a generátor. Kompresor stlačí vzduch a pod určitým tlakem ho žene do spalovací komory, tam je přivedeno palivo, které je spáleno. Dále pokračují spaliny do turbíny. Turbína je napojena na generátor a zároveň na kompresor. Z turbíny jsou odvedeny spaliny ven.

Abychom mohli mluvit o spalovací turbíně jako o kogenerační jednotce, je připojen za turbínou výměník tepla, kdy spaliny předají teplo jinému médiu a až potom jsou odvedeny výfukem ven. Mezi spalovací turbínou a generátorem se umísťuje převodovka, abychom dostaly na generátoru požadované otáčky. Spalovací turbíny jsou poměrně velkých výkonů takže jsou vhodné pro větší objekty. Spalovací turbíny malých výkonů jsou neekonomické a mají malou účinnost.

2.2.4 Spalovací motory

Ke kogeneraci se používají motory odvozené od klasických mobilních motorů (automobily, traktory, lodě ..) Jedná se o pístové motory s vnitřním spalováním. Tyto spalovací motory rozdělujeme do dvou základních skupin:

- Zážehové motory
- Vznětové motory

U zážehových motorů dochází k zapálení paliva pomocí jiskry. Účinnost těchto motorů se pohybuje mezi 26% až 43%. Tyto motory mají oproti vznětovým motorům menší rozsah výkonu.

U vznětových motorů dochází k zapálení samovolně při vstřiku paliva do horkého stlačeného vzduchu. Účinnost těchto motorů se pohybuje mezi 35% až 45%. Moderní vznětové motory mají vyšší kompresní poměr a používají zpožděné zapálení a hoření aby snížily obsah NO_2 . A zachovali si stálý výkon a účinnost. To však klade větší nároky na řídicí systém.

Spalovací motory určené pro kogenerační provoz jsou upraveny pro provoz na zemní plyn. Při spalování dochází k oteplení motoru. Toto teplo odvádíme a dále ho využíváme. Teplo také získáváme z chlazení výfuku.

2.3 Shrnutí

V této kapitole jsme se zabývali pohonem, neboli zařízením, které z nějakého zdroje paliva vytvoří mechanickou energii. Tato energie je dále přenášena buďto přímo nebo přes převodovku na generátor.

3 KOGENERAČNÍ JEDOTKA MT 22

V této kapitole se zaměříme na kogenerační jednotku o výkonu 22kW. Seznámíme se základními parametry této kogenerační jednotky. Provedeme zjištění aktuálního stavu této kogenerační jednotky. Podrobněji se zaměříme na tepelné obvody a na způsoby možného využití odpadního tepla. Také se zaměříme v jakých způsobech může kogenerační jednotka za současného stavu pracovat.

3.1 Základní informace o kogenerační jednotce

Nyní vypíšeme základní parametry kogenerační jednotky MT 22.

Tab. 3-1 Parametry kogenerační jednotky[9]

Typ	MT 22
Elektrický výkon	22kW
Tepelný výkon	43kW
Spotřeba paliva	8,6m ³ /h
Účinnost elektrická	27,0%
Účinnost tepelná	53,0%
Využití paliva	80,0%

Parametry v této tabulce platí pro zemní plyn o spodní výhřevnosti 34MJ/m³. Kogenerační jednotku jako pohon využívá motor Škoda Favorit. Jedná se o první typ kogenerační jednotky od společnosti TEDOM. V roce 1991 byla uvedena do provozu první kogenerační jednotka tohoto typu. Soustrojí je vybaveno asynchronním motorem a je určena pro paralelní provoz se sítí (ze sítě odebírá jalovou složku proudu nutnou pro vytvoření magnetického pole).

3.2 Informace o zařízení v tepelných obvodech

Základní parametry kogenerační jednotky jsme si popsali v předchozí kapitole. Nyní se zaměříme na zařízení která jsou součástí tepelné části.

3.2.1 Zdroj tepelné energie

Zdrojem tepla je již zmiňovaná kogenerační jednotka MT 22. Její tepelný výkon je přibližně 43kW. Jako záložní zdroj je v tepelném obvodu umístěn kotel na tuhá paliva. V případě odstavení kogenerační jednotky, můžeme jako zdroj tepla použít kotel na tuhá paliva. V kogenerační jednotce je umístěno čerpadlo v době provozu zajišťuje tepelný oběh.

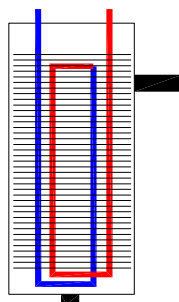
3.2.2 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž je válec o rozměrech délky asi 3m a průměr 1,5m. Z nádrže je odebírána voda pro chlazení kogenerační jednotky. V nádrži je umístěn výměník. Tento výměník odděluje vodu v nádrži od vody užitkové (pitná voda). Tato nádrž je umístěna ve stejné místnosti jako kogenerační jednotka. Je však oddělena izolační stěnou. Tato stěna má dvě funkce, jednak izolovat nádrž, aby nedocházelo k tepelným ztrátám a aby nebyla kogenerační jednotka

vystavována vyšším teplotám prostředí. Nádrž je vyrobena z plechu a posazena na betonovém podkladu.

3.2.3 Výměník tepla

Další částí je výměník tepla. Do tohoto výměníku je přivedena částečně voda (zbytek je odveden do akumulární nádrže) s výstupem kogenerační jednotky. Tato voda protéká výměníkem válcového tvaru o rozměrech 55cm na výšku a o průměru 15cm. Poté je napojena na rozvod topení. Užitková voda z výměníku, který je umístěn v akumulární nádrži, dále pokračuje do tohoto samostatného výměníku. Teplá voda pak dále pokračuje do rozvodů teplé užitkové vody.

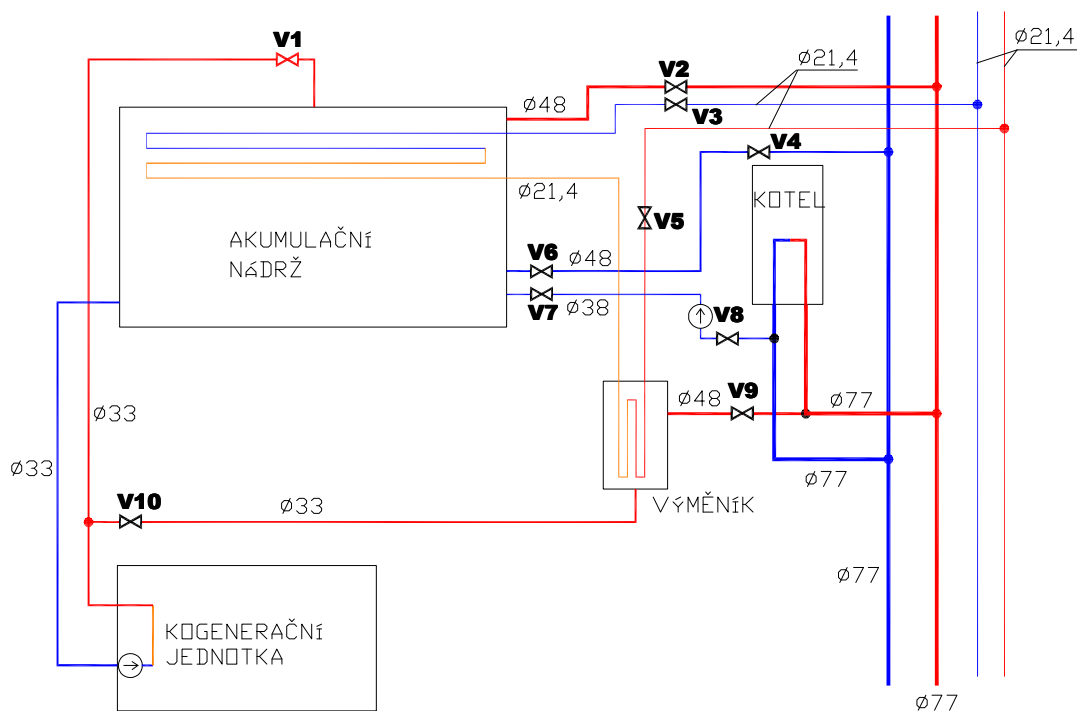


Obr. 3-1 Výměník tepla

Na obrázku je znázorněn přibližně princip jakým je vytvořen tento výměník. Skládá se z trubek, ze kterých je vytvořena smyčka. Na tuto smyčku jsou naletované plechy o tloušťce 2mm. Tyto plechy slouží ke zvýšení přestupní plochy. Jelikož se jedná o doma vyrobený výměník, neznáme jeho přesné parametry. Velikost jeho výkonu odhadujeme na maximálně 10kW.

3.3 Aktuální stav tepelných obvodů

Nyní se seznámíme se schématem zapojení tepelných obvodů.



Obr. 3-2 Schéma tepelného obvodu

Na obrázku je zobrazeno schéma tepelných obvodů s popisem vnějších průměrů trubek. Křížky značí, že je v tomto místě umístěn ventil. Trubky s větším průměrem jak 22 mm jsou určeny pro topení, trubky s průměrem 21,4 jsou trubky na teplou vodu. Z velikosti průměrů trubek lze usoudit, že topná soustava byla navržena na přirozenou cirkulaci vody. Nyní je do obvodu zapojeno čerpadlo.

3.4 Možné stavy regulace

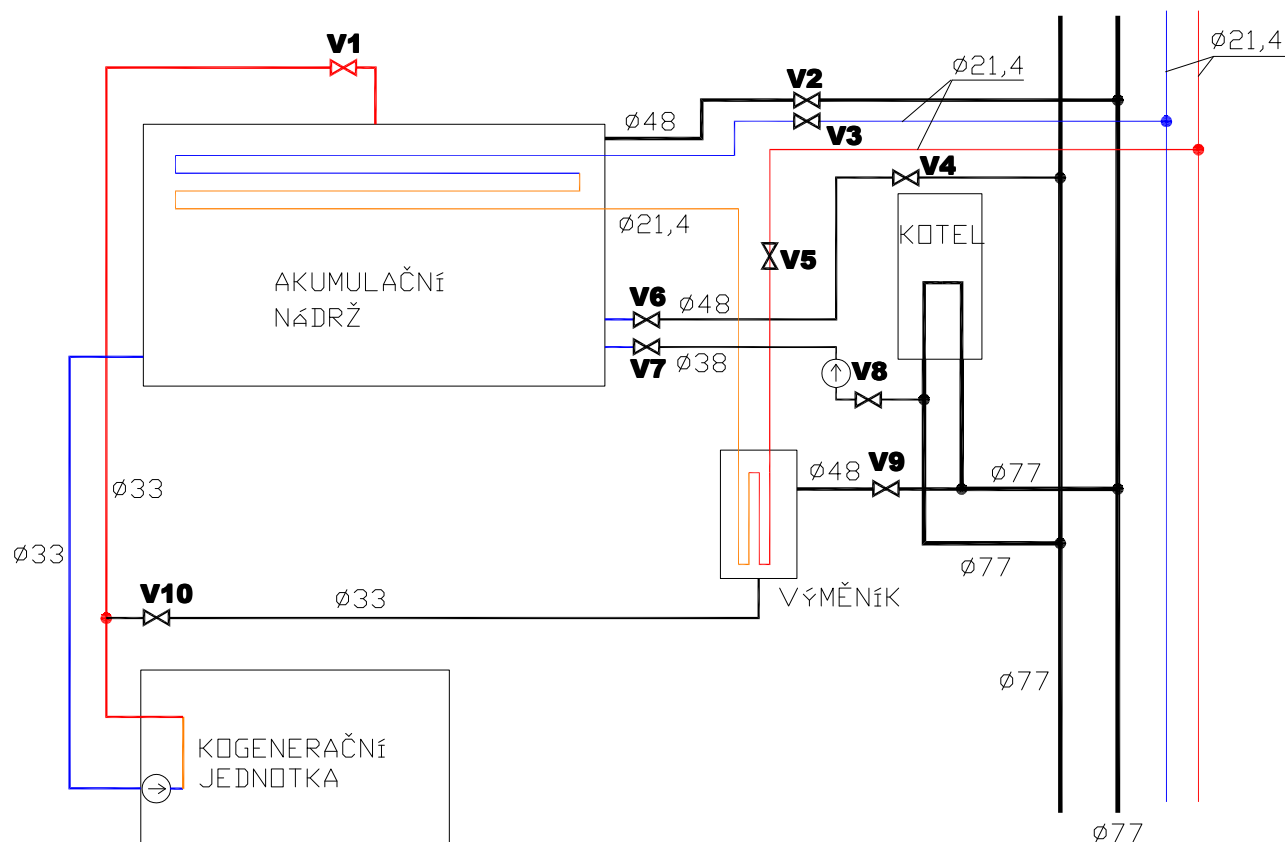
V této podkapitole se budeme zabývat možnými způsoby nastavení regulace. Některá tato nastavení jsou výhodná, některá méně.

3.4.1 Regulace teplé užitkové vody

Poté, co se podíváme do obrázku 3.2, je hned na první pohled jasné, že možnost regulace není téměř žádná. Jediné, co můžeme zavírat a otevírat ventily. Tepelný okruh prochází nejprve výměníkem tepla umístěného v akumulční nádrži. Před vstupem do akumulční nádrže je umístěn ventil V3 dále pokračuje do malého výměníku. Z tohoto výměníku pak pokračuje dále do rozvodů teplé užitkové vody.

3.4.2 Regulace při provozu KJ - 1. varianta regulace

Na obrázku vidíme jeden ze způsobů regulace, kdy je teplo z kogenerační jednotky odváděno pouze do akumulční nádrže.



Obr. 3-3 Schéma tepelného obvodu možná regulace 1

Jelikož má akumulární nádrž poměrně velký objem, bude její nahřívání trvat delší časové období. Ale toto období bude menší jak v případě, kdy je otevřen ventil V10 do samostatného výměníku. Nyní provedeme výpočet množství tepla pro ohřev akumulární nádrže z teploty 20°C na 70°C. Kdy Objem nádrže je 4600 kg vody (při hustotě 1000kg/m³) a měrná teplaná kapacita vody je 4186,7 J/kg °K⁻¹

$$Q_{AN} = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (3.1)$$

Po odsazení získáme :

$$Q_{AN} = 4600 \cdot 4186,7 \cdot (70 - 20) = 962,941 MJ \quad (3.2)$$

Výpočet doby provozu kogenerační jednoty pokud budeme uvažovat, že veškeré teplo které vyrobí kogenerační jednotka se bude akumulovat v akumulární nádrži provedeme následovně :

$$t = \frac{Q_{AN} / 3600}{Q_{MT\ 22}} [h; J/h; J] \quad (3.3)$$

Po dosazení:

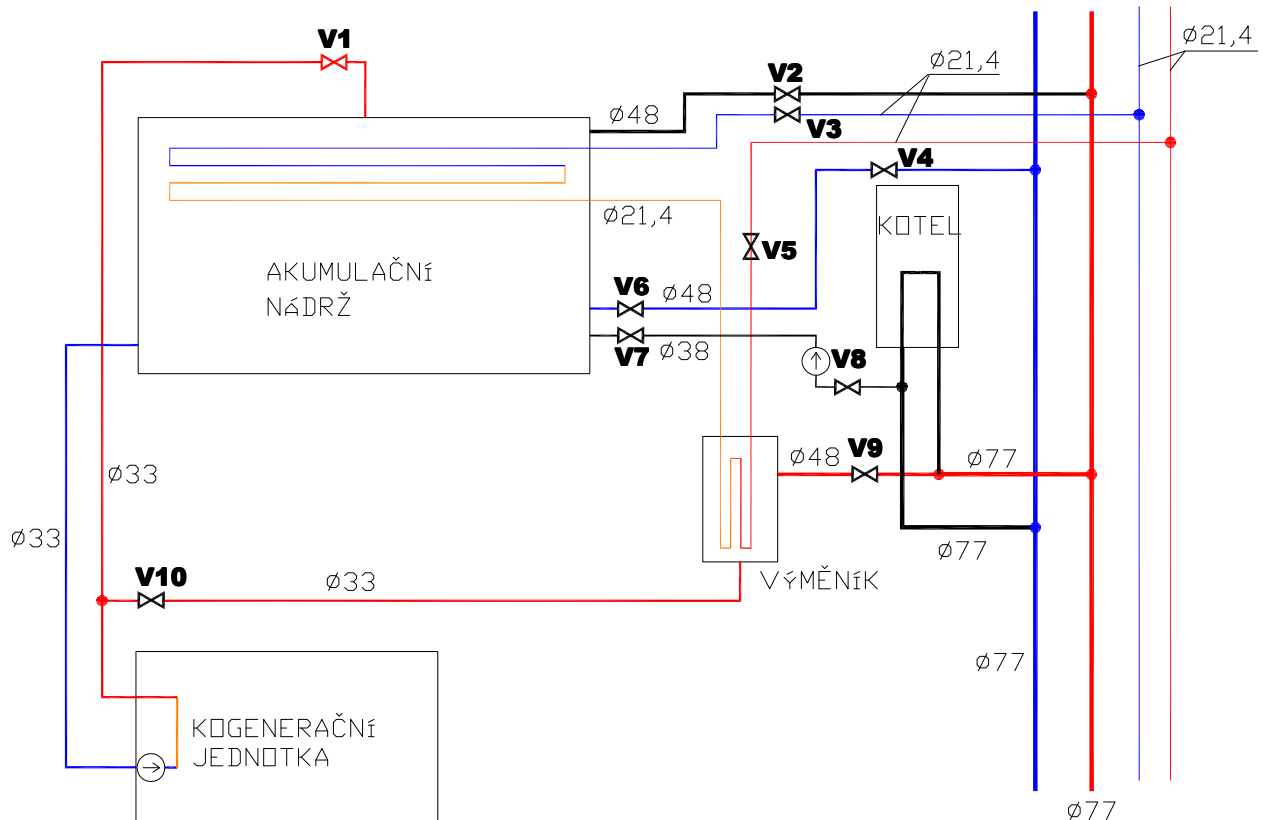
$$t = \frac{962,941 \cdot 10^6 / 3600}{43000} = 6,22 h \quad (3.4)$$

Doba za kterou se nahřeje akumulární nádrž je minimálně 6,22h a to za předpokladu že zanedbáme veškeré ztráty (ohřívání TUV, chladnutí a předávání teploty okolnímu vzduchu atd.)

Ohřev teplé užitkové vody bude na menší teplotu, jelikož nebude docházet k dalšímu ohřevu v samostatném výměníku a abychom měli požadovanou teplotu teplé užitkové vody, musí být akumulární nádrž nahřátá na vyšší teplotu. Také dojde k značnému zpoždění mezi obdobími, kdy zapneme kogenerační jednotku a kdy začne téci teplá voda.

3.4.3 Regulace při provozu KJ – 2. varianta regulace

Další možností zapojení regulace je společné vytápění akumulární nádrže a výměníku tepla. Teplený okruh se uzavírá přes topení objektu.



Obr. 3-4 Schéma tepelného obvodu možná regulace 2

V tomto nastavení dochází na výstupu z kogenerační jednotky k dělení teplé vody. Část jde do akumulační nádrže a část ide do samostatného výměníku.

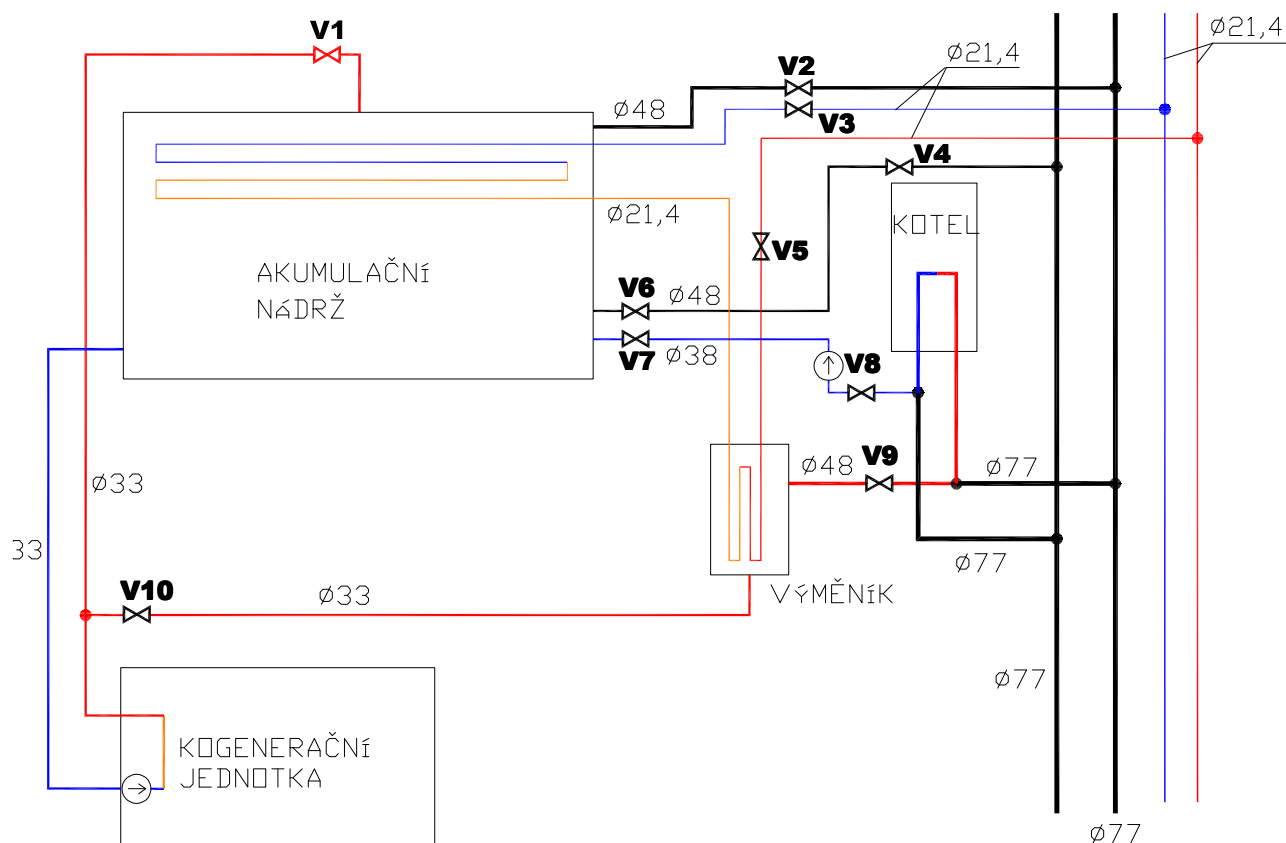
Ohřívání teplé užitkové vody je nyní rozděleno na dvě části. Z počátku se teplá užitková voda předeřeje ve výměníku umístěného v akumulární nádrži na teplejší vodu. Potom dále pokračuje do samostatného výměníku. V tomto výměníku se její teplota zvýší. Z výstupu je připojena na rozvod teplé užitkové vody v objektu.

Teplá voda z kogenerační jednotky, která část tepelné energie předala v samostatném výměníku teplé užitkové vodě, pokračuje do okruhu vytápění. Poté se opět dostává zpět do akumulární nádrže. U kotle na tuhá paliva bude s největší pravděpodobností docházet k menší cirkulaci.

Pomoci cirkulaci můžeme otevřít ventil V2 v horní části nádrže, kde je vyvedena teplá voda do obvodu topení.

3.4.4 Regulace při provozu KJ - 3. varianta regulace

V předchozích dvou zapojení jsme se zabývali možnostmi, kdy běžel společně ohřev teplé užitkové vody a vytápění objektu. Nyní se zaměříme na možnost, kdy budeme chtít využívat kogenerační jednotku pouze k ohřevu teplé užitkové vody.



Obr. 3-5 Schéma tepelného obvodu možná regulace 2

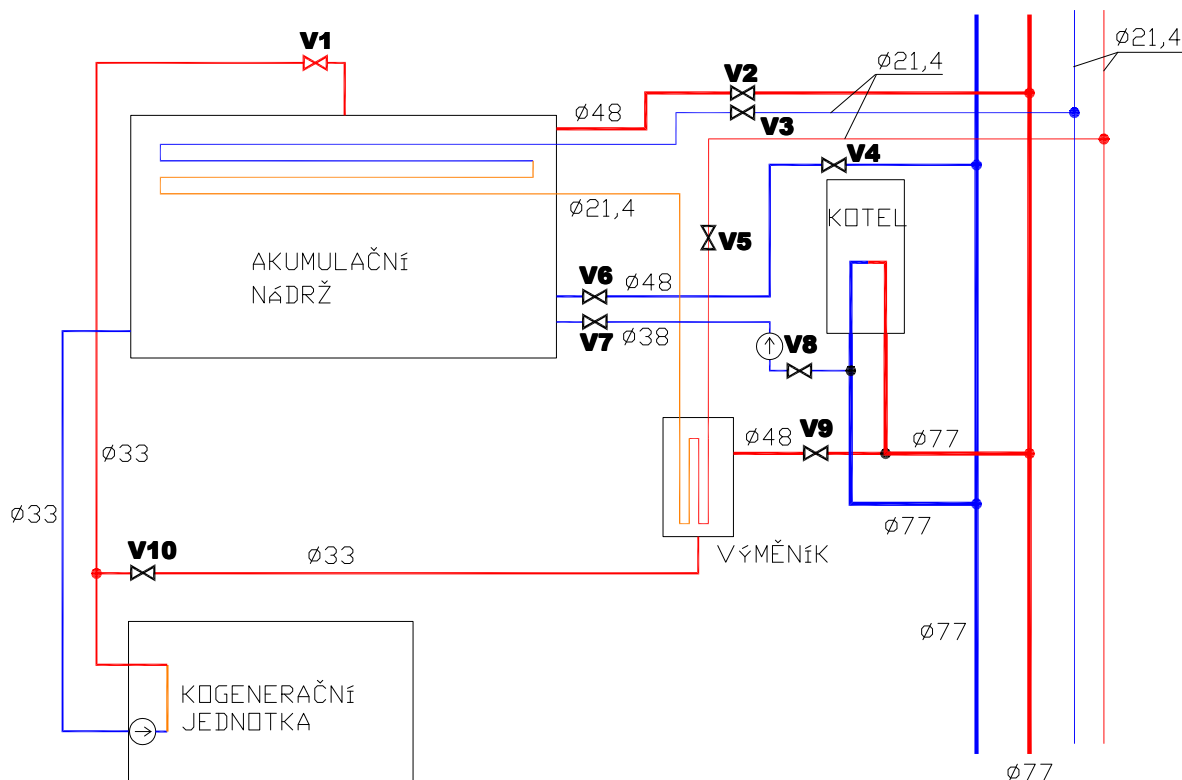
Voda z kogenerační jednotky se dělí. První část jde přímo do akumulární nádrže a druhá část jde přes samostatný výměník také do akumulární nádrže. Jelikož vývod teplé vody ze samostatného výměníku je umístěn nad okruhem studené vody je umístěno čerpadlo, které má za úkol čerpat tuto vodu do akumulární nádrže.

Ve výměníku umístěného v akumulární nádrži dochází k předeřtí teplé užitkové vody. Tato voda dále pokračuje do samostatného výměníku, kde je zvýšena její teplota. Tato voda pak dále pokračuje do okruhu teplé užitkové vody.

3.4.5 Regulace při provozu KJ - 4. varianta regulace

V předchozích případech jsme se zabývali možnostmi, kdy regulace byla různými kombinacemi zapínání a vypínání částí tepelného schématu. Nyní se pokusíme seznámit se stavem, v jakém byla kogenerační jednotka v době, kdy jsme prováděli místní šetření.

Průzkum byl prováděn v zimním období. Byl prováděn zároveň ohřev teplé užitkové vody a vytápění objektu. Všechny ventily byly otevřené.



Obr. 3-6 Schéma tepelného obvodu možná regulace 3

V době provozu dodává kogenerační jednotka tepelnou energii částečně do výměníku a částečně do akumulací nádrže. Ohřev teplé užitkové vody je stejný jak v předchozím případě. Tedy ve výměníku umístěného v akumulací nádrži se přehřeje a v samostatném výměníku dojde k dalšímu zvýšení teploty.

Teplá voda z chladicího okruhu kogenerační jednotky proudí jednak přes samostatný výměník do obvodu topení a také částečně z akumulací nádrže.

3.5 Zhodnocení stavu regulace

Po zhodnocení stavu schématu zapojení kogenerační jednotky jsme provedli vytvoření 4 variant při kterých by mohla být kogenerační jednotka provozována. Některé varianty jsou určeny pouze pro ohřev teplé užitkové vody a některé kombinací výroby teplé užitkové vody a vytápění objektu.

Ve schématu vidíme, že ohřev teplé užitkové vody je komplikovaný. Jednak se musí nahřát akumulací nádrž na vysokou teplotu. Toto zahřátí vzhledem k objemu nádrže bude trvat poměrně dlouhou dobu. Dále pak dochází k ochlazování nádrže a teplota teplé užitkové vody se bude postupem času postupně zmenšovat. Proto bude opět zapotřebí pomoci kogenerační jednotky opět akumulací nádrž nahřát na vyšší teplotu.

4 KOGENERAČNÍ JEDOTKA 45 KW

V této kapitole se zaměříme na kogenerační jednotku o výkonu 45kW. Seznámíme se základními parametry této kogenerační jednotky. Provedeme zjištění aktuálního stavu této kogenerační jednotky. Podrobněji se zaměříme na tepelné obvody a na způsoby možného využití odpadního tepla. Také se zaměříme na to, v jakých způsobech může kogenerační jednotka za současného stavu pracovat. Jedná se o kogenerační jednotku, která je stará přes 10 let.

4.1 Základní informace o kogenerační jednotce

Nyní vypíšeme základní parametry kogenerační jednotky, která má podobný typ složení dvojice Motor-Generátor stejný jak typ kogenerační jednotky TEDOM MT 45.

Tab. 4-1 Parametry kogenerační jednotky

Typ	MT 45
Elektrický výkon	45kW
Tepelný výkon	60kW
Spotřeba paliva	16,4m ³ /h
Účinnost elektrická	29,0%
Účinnost tepelná	52,0%
Využití paliva	81,0%

Parametry v této tabulce platí pro zemní plyn o spodní výhřevnosti 34MJ/m³. Jedná se o kogenerační jednotku s motorem Zetor 1001.03 G. Součástí soustrojí je asynchronní generátor. Kogenerační jednotka je domácí výroby. Jednotlivé části byly samostatně koupeny a poté smontovány v jeden celek.

4.2 Informace o zařízení v tepelných obvodech

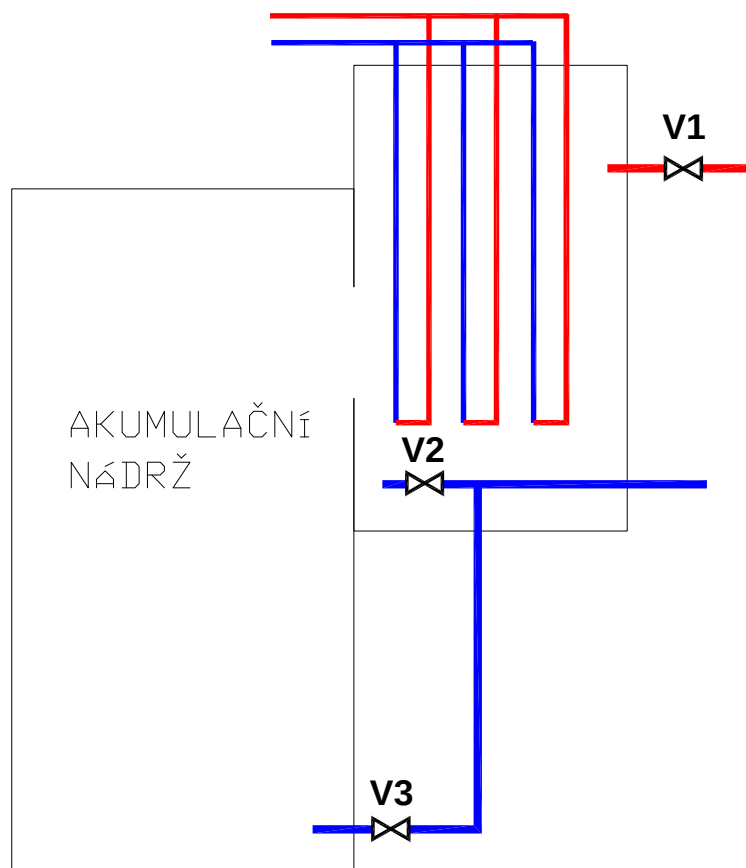
Základní parametry jsme si popsali v předchozí části. Nyní se zaměříme na části, které se nachází v tepelném obvodu.

4.2.1 Zdroj tepelné energie

Zdrojem tepelné energie je kogenerační jednotka. Teplo získáváme z chlazení spalovacího motoru a z chlazení výfuku. Tepelný výkon je přibližně 60kW. Jako záložní zdroj teplené energie může pracovat kotel na tuhá paliva. Druhým záložním zdrojem jsou elektrická topná tělesa. Elektrická tělesa a kotel na tuhá paliva pracují přímo do okruhu topení a nejdou přes akumulární nádrž.

4.2.2 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž se skládá ze dvou nádrží obdélníkového tvaru. Menší nádrž má rozměry 100cm x 100cm podstava a výška 170cm. Větší nádrž má rozměry 125cm x 125cm a výšku má 250cm. Větší nádrž je kompletně uzavřena a propojena s menší nádrží ve své vrchní části. Menší nádrž není naplněna úplně plná a slouží k vyrovnání hladiny vody. V menší nádrži jsou také umístěny výměníky tepla. Z akumulační nádrže jsou provedeny 2 vývody které jsou spojeny a vyvedeny do kogenerační jednotky. Jeden je umístěn uprostřed nádrže a druhý u dna velké nádrže. Takovéto provedení nám umožňuje odebírat vodu ze středu nádrže nebo ze spod. Vývod studené vody je přes ventil ještě spojen s vývodem teplé vody z kogenerační jednotky. Je to provedeno proto, abychom mohli místit studenou vodu s teplou a do kogenerační jednotky nepřiváděli příliš studenou vodu.



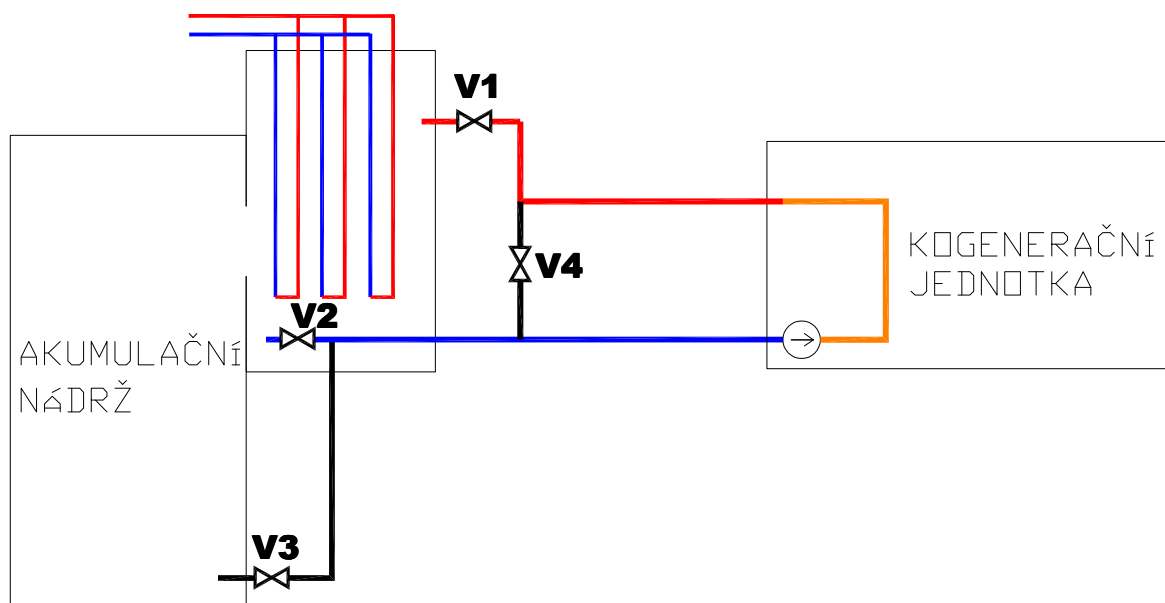
Obr. 4-1 Akumulační nádrž

4.2.3 Výměník tepla

Výměník tepla umístěný v akumulační nádrži se skládá ze tří dílčích výměníků. Tyto výměníky jsou navzájem paralelně propojeny. Jsou tvořeny z měděných trubek.

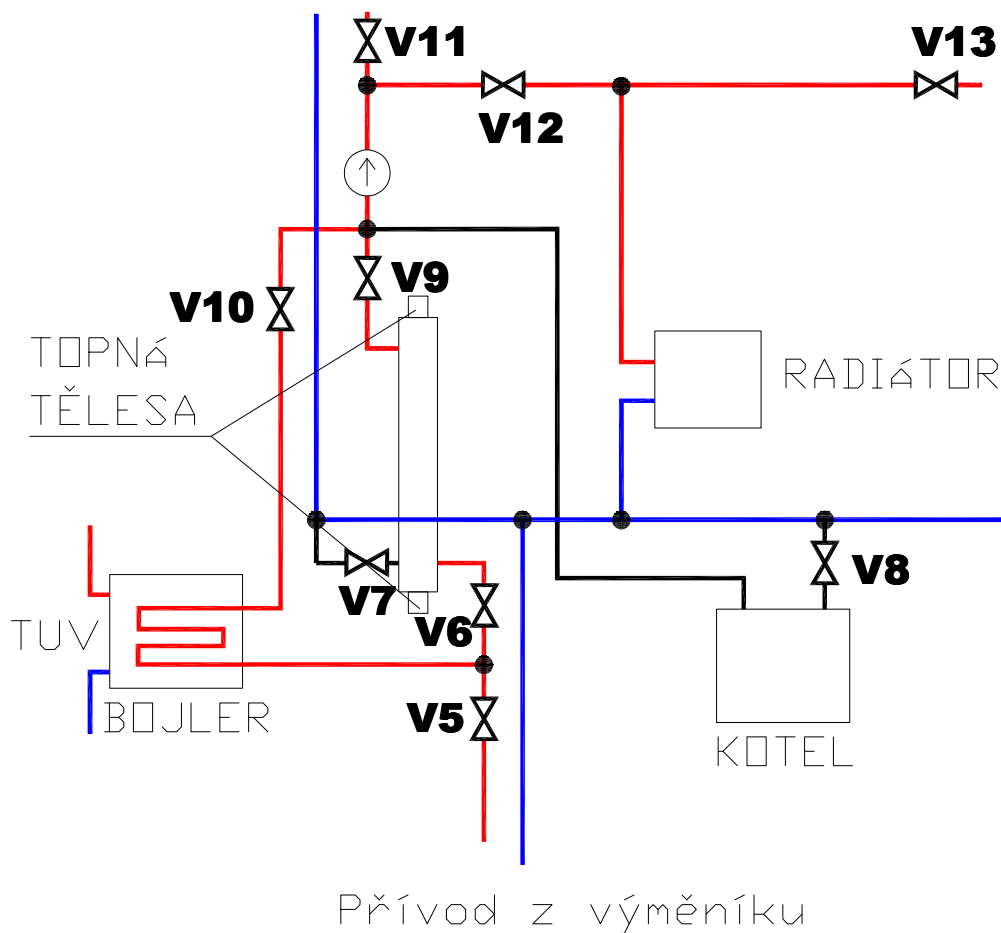
4.3 Aktuální stav tepelných obvodů

V současné době je kogenerační jednotka zapojená do dvou okruhů. Jeden okruh je kogenerační jednotka a akumulační nádrž.



Obr. 4-2 Schéma prvního okruhu

Další část se skládá s výměníku tepelné energie, kotle na tuhá paliva, malého elektrického kotle a dílčích odběrů (bojler, topná soustava). V topné soustavě je pro oběh použito čerpadlo.



Obr. 4-3 Schéma druhého okruhu

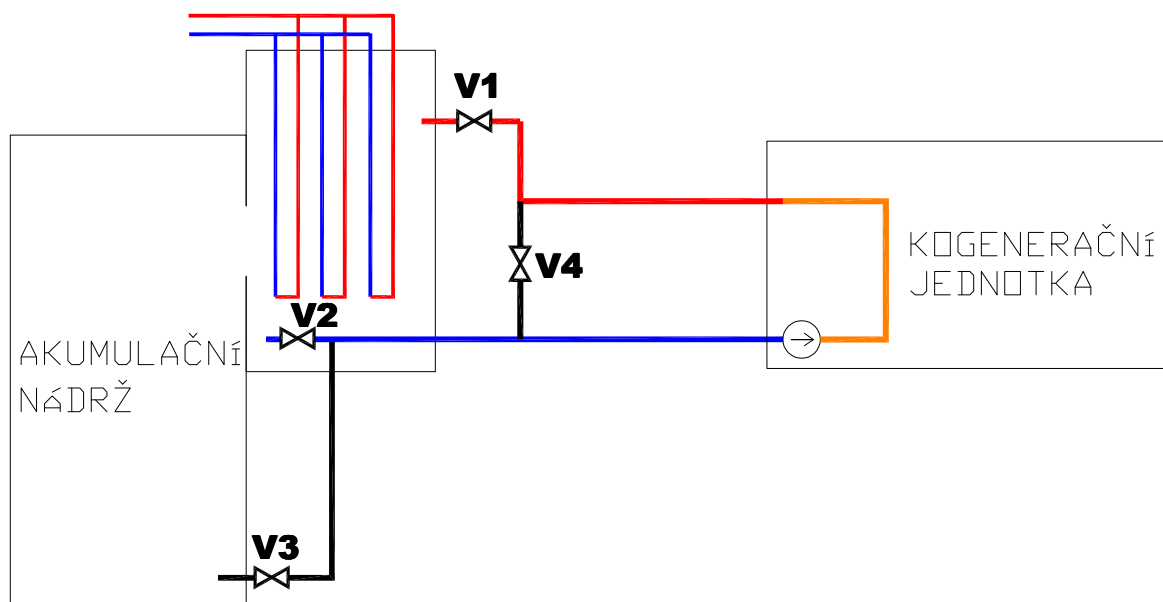
Topná soustava v rodinném domě je rozdělena na dva okruhy. Na stranu, která je otočena na jih a stranu, která je otočena na sever. Je to z důvodu, že do místností, které jsou umístěny na severní stranu nesvítí slunce, jsou chladnější a je potřeba je vytápat dříve než místnosti, do kterých svítí slunce z jižní strany.

4.4 Možné stavy regulace

V této kapitole se budeme zabývat způsoby možné regulace tepelného okruhu. Jednotlivé možnosti regulace jsou stanoveny podle aktuálního stavu zapojení tepelných obvodů.

4.4.1 Regulace při provozu KJ prvního okruhu

Regulaci na primárním okruhu lze provádět pouze regulací teploty studené vody, která proudí do kogenerační jednotky. Tato regulace se provádí manuálně, proto se provádí, kdy je potřeba. Proudění vody v okruhu zajišťuje čerpadlo.

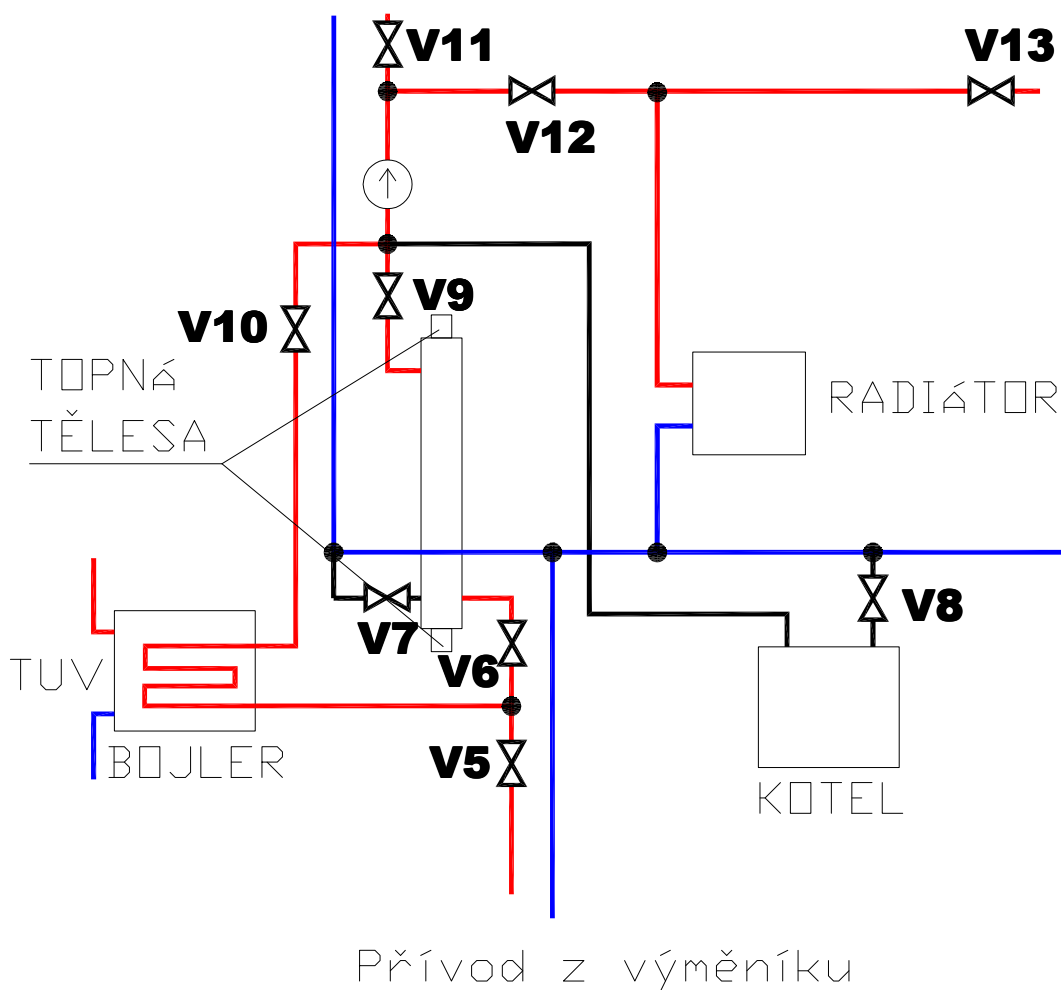


Obr. 4-4 Schéma prvního okruhu regulace

4.4.2 Regulace při provozu KJ druhého okruhu varianta 1

Varianta, kdy kogenerační jednotka pracuje jak pro výrobu teplé vody tak pro vytápění objektu.

Je provedena odbočka k bojleru, který souží jako akumulaci nádrž pro teplou užitkovou vodu. Uvnitř boileru je umístěn výměník, který předává teplo teplé užitkové vody.



Obr. 4-5 Schéma druhého okruhu regulace varianta 1

Pomocí oběhového čerpadla je zajištěna cirkulace v tepelném okruhu. Pomocí ventilů umístěných nad oběhovým čerpadlem můžeme určit která část objektu se bude vytápět (jižní strana, severní strana, obě) . Radiátor, který je nakreslen v tomto okruhu je přivřen, aby co největší část teplé vody proudila do vytápěného objektu. Z obrázku vyplývá, že bojler a elektrický kotel jsou zapojeny paralelně k sobě. Toto nám umožňuje tři způsoby provozu.

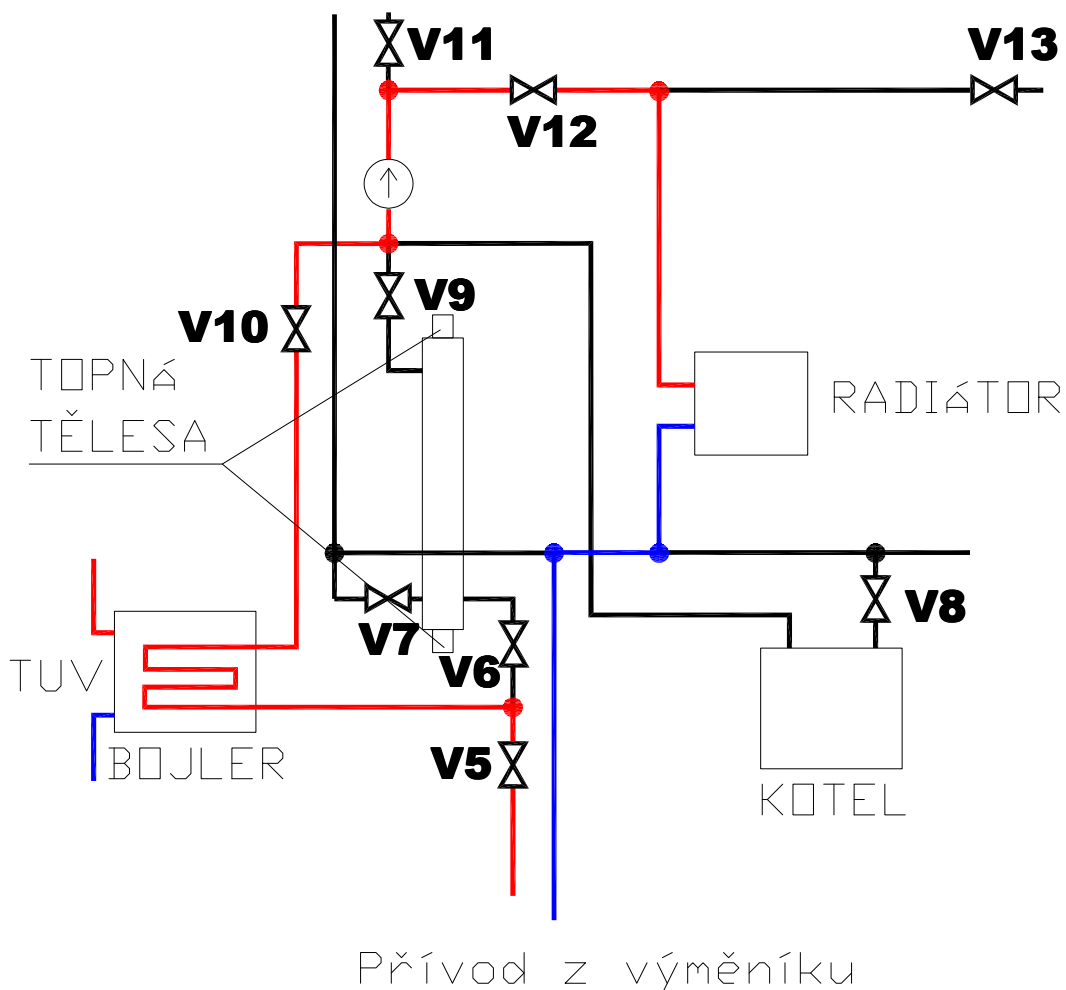
První možností je, že veškerá voda z kogenerační jednotky bude procházet přes bojler. Tento způsob se používá v době, kdy je mírná zima a je potřeba rychle nahřát teplou užitkovou vodu na požadovanou teplotu.

Druhý způsob zapojení je, že veškerá voda bude procházet přes elektrický kotel. Tento způsob je možný, ale většinou se nepoužívá. Jedná se o vytápění pouze topné soustavy. Není ohřívána teplá užitková voda.

Třetím způsobem je kombinace předchozích dvou. Část bude procházet přes elektrický kotel a část přes bojler. Tento způsob je kombinací obou předchozích variant. Pomocí škrťacích ventilů V6, V9 nebo V10 nastavíme jak se bude dělit voda v okruhu.

4.4.3 Regulace při provozu KJ druhého okruhu varianta 2

Další možností, která je využívána v letním období je ohřev pouze teplé užitkové vody. Pokud tento ohřev provádíme z kogenerační jednotky je nutné, aby byl v provozu jeden radiátor. Tento radiátor musí být zapnutý z důvodu, aby mohla pomocí čerpadla cirkulovat voda. Z kogenerační jednotky získáme velké množství tepla a nedojde k dostačenému ochlazení pomocí ohřevu teplé užitkové vody. Proto se v současné době tato varianta příliš nepoužívá.



Obr. 4-6 Schéma druhého okruhu regulace varianta 2

4.5 Zhodnocení stavu regulace

Jedná se o kogenerační jednotku, která je umístěna mimo vyhřívaný objekt, ale je umístěna v blízkosti tohoto objektu.

Ve schématu je vidět, že bojler a topná tělesa jsou navzájem k sobě připojeny paralelně, to umožňuje v případě poruchy kogenerační jednotky odpojit výměníky umístěné v akumulární nádrži a provádět cirkulaci pouze mezi elektrickým kotlem a bojlerem.

Ve schématu je vidět komplikovaný ohřev teplé vody, protože je nutné přejít přes 2 výměníky tepla a přes delší trasu, kde dochází ke ztrátám. Veškerou regulaci je nutné provádět manuálně pomocí ventilů.

5 OHŘEV TEPLÉ UŽITKOVÉ VODY

V této kapitole se budeme zabývat množstvím tepelné energie potřebné pro ohřev teplé užitkové vody. Nejdříve provedeme teoretický výpočet a potom provedeme výpočet pro sledované objekty.

5.1 Základní princip

Pro určení množství tepla potřebného pro ohřev teplé užitkové vody využijeme kalorimetrickou rovnici.

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta T \quad (\text{J; kg, J/kg K}^{-1}, \text{K}) \quad (5.1)$$

Kde je Q –potřebná energie, m – hmotnost, c – měrná tepelná kapacita (v našem případě se jedná o vodu), ΔT – je rozdíl teplot.

Pro výpočet nyní určíme potřebné údaje. Prvním parametrem je určení množství teplé užitkové vody, kterou budeme ohřívat. U staveb pro bydlení se uvažuje 0.082 m³/osobu [11]. Dále musíme stanovit teplotu vstupní a výstupní vody. Teplota vstupní vody závisí na venkovní teplotě a pokud prochází vyhřívanými místnostmi, tak dochází k oteplení vody. Dále výstupní teplota vody se volí v rozmezí 55-85 stupňů. Měrná tepelná kapacita je tabulková hodnota.

Nyní bychom měli již všechny potřebné hodnoty pro určení množství tepla potřebného pro ohřev teplé užitkové vody. Ještě než začneme provádět přesný výpočet, musíme ještě uvažovat nad ztrátami: tepelné ztráty akumulární nádrže na teplou užitkovou vodu a ztráty v potrubí, proto provedeme upravení rovnice (5.1) na tvar kde „ z “ bude určovat ztráty:

$$Q = (1 + z) m \cdot c \cdot \Delta T \quad (\text{J; -, kg, J/kg K}^{-1}, \text{K}) \quad (5.2)$$

Tepelné ztráty akumulární jsou závislé na velikosti a na kvalitě izolace akumulární nádrže. Ztráty v potrubí jsou závislé na velikosti daného objektu neboli na vzdálenosti jednotlivých odběrných míst od akumulární nádrže na teplou užitkovou vodu.

5.2 Výpočet pro daný objekt MT22

Nyní provedeme výpočet množství tepla které je potřeba pro ohřev TUV pro 4 člennou rodinu. Jednotné hodnoty, které budeme zadávat do rovnice (5.2), si znázorníme v přehledné tabulce .

Tab. 5-1 Vstupní parametry a tabulkové hodnoty MT 22

Parametr	Jednotka	Hodnota
Měrná tepelná kapacita	J/kg °K ⁻¹ (nebo J/kg °C ⁻¹)	4186.7
Ztráty	–	1
Vstupní teplota	°C	15
Výstupní teplota	°C	65
Množství vody [11]	m ³	4 x 0.082

Pokud budeme uvažovat, že hustota vody je 1000 kg/m³, tak bude potřeba 328 kg vody. Výpočet dle rovnice (5.2) tedy je :

$$Q_{MT\ 22} = (1 + 1) \cdot 328 \cdot 4186,7 \cdot (65 - 15) \quad (5.3)$$

Výsledné množství energie potřebného k ohřátí 328 kg vody :

$$Q_{MT\ 22} = 137,324\ MJ \quad (5.4)$$

Velikosti nádrží na teplou užitkovou vodu, které se používají v rodinných domech se pohybují okolo 200 litrů, proto i pro náš případ budeme předpokládat, že v domě bude umístěna 200 litrová nádrž na teplou užitkovou vodu. Dále provedeme výpočet, který nám určí jaké množství energie je potřeba pro ohřátí 200 litrů vody (při hustotě 1000 kg/m³ se jedná o 200kg).

$$Q_{MT\ 22} = (1 + 1) \cdot 200 \cdot 4186,7 \cdot (65 - 15) \quad (5.5)$$

Výsledné množství energie potřebné k ohřátí 200 kg vody :

$$Q_{MT\ 22} = 83,734\ MJ \quad (5.6)$$

Na ohřátí 200 l vody je potřeba tepelná energie o velikost 83,734 MJ.

5.3 Výpočet pro daný objekt 45kW

Nyní provedeme výpočet množství tepla, které je potřeba pro ohřev teplé užitkové vody pro 5 člennou rodinu. Jednotné hodnoty, které budeme zadávat do rovnice 5.2, si znázorníme v přehledné tabulce .

Tab. 5-2 Vstupní parametry a tabulkové hodnoty 45kW

Parametr	Jednotka	Hodnota
Měrná tepelná kapacita	J/kg °K ⁻¹ (nebo J/kg °C ⁻¹)	4186.7
Ztráty	–	1
Vstupní teplota	°C	15
Výstupní teplota	°C	65
Množství vody [11]	m ³	5 x 0.082

Pokud budeme uvažovat, že hustota vody je 1000 kg/m³, tak bude potřeba 410 kg vody . Výpočet dle rovnice (5.2) tedy je :

$$Q_{45\ kW} = (1 + 1) \cdot 410 \cdot 4186,7 \cdot (65 - 15) \quad (5.7)$$

Výsledné množství energie potřebného k ohřátí 410 kg vody :

$$Q_{45kW} = 171,654 \text{ MJ} \quad (5.8)$$

Velikosti nádrží na teplou užitkovou vodu, které použijeme v domě, má velikost 205 litrů. Provedeme výpočet množství energie potřebné pro ohřátí 205 litrů vody (při hustotě 1000 kg/m^3 se jedná o 205kg.

$$Q_{45kW} = (1 + 1) \cdot 205 \cdot 4186,7 \cdot (65 - 15) \quad (5.9)$$

Výsledné množství energie potřebné k ohřátí 205 kg vody :

$$Q_{45kW} = 85,827 \text{ MJ} \quad (5.10)$$

Na ohřátí 205 l vody je potřeba tepelná energie o velikost 85,827 MJ.

5.4 Náhradní zdroj tepelné energie

Jelikož se musíme zaměřit i na možnost, že kogenerační jednotka bude mimo provoz, musíme zajistit náhradní zdroj tepelné energie. Výpočet zdroje tepelné energie pro zajištění ohřevu TUV.

$$P = \frac{Q}{3600} \text{ [W;J]} \quad (5.11)$$

$$P = \frac{83,734 \cdot 10^6}{3600} = 23,259 \text{ kW} \quad (5.12)$$

Pro ohřev 200 litrů vody za hodinu bychom potřebovali zdroj o výkonu minimálně 23,259kW. Můžeme použít zdroji o nižším výkonu, což by mělo za důsledek prodloužení doby ohřevu.

6 VYTÁPĚNÍ OBJEKTU

Základním parametrem každého objektu jsou jeho tepelné ztráty. Tepelné ztráty objektu ovlivňuje řada faktorů například: venkovní teplota, vítr, oblačnost. Dále záleží na konstrukci objektu například: na tloušťce stěn, velikosti oken, použitím materiálu ve stěně atd.

Nyní se budeme zabývat výpočtem množství tepla pro vytápění rodinného domu. Jelikož oba objekty jsou ve své velikosti podobné, provedeme jeden výpočet pro oba objekty. Ztráty objektu se pohybují okolo 12kW. Tato hodnota byla určena z hodnot, které odpovídají skutečnému stavu na objektu, kde je umístěna 45kW kogenerační jednotka.

Pro další výpočet je potřeba určit prostředí ve kterém se dané objekty nacházejí. Oba objekty se nacházejí v okrese Žďár nad Sázavou. Pomocí toho, že známe okres, můžeme určit parametry oblasti. Prvním parametrem, který můžeme určit je venkovní výpočtová teplota. Podle tabulky v příloze 1 je venkovní výpočtová teplota $t_e = -15^\circ\text{C}$.

Dalším parametrem je střední denní venkovní teplota pro začátek a konec topného období. Na tomto parametru závisí počet topných dní a střední venkovní teplota za topné období. Pro určení střední denní venkovní teploty pro začátek a konec otopného období, potřebujeme znát průměrnou denní teplotu venkovního vzduchu v 7, 14 a 21 hodin a to měřenou ve stínu s vyloučením sálání okolních stěn. Výpočet se provádí následovně:

$$t_{em} = \frac{t_7 + t_{14} + 2 \cdot t_{21}}{4} [^\circ\text{C}; ^\circ\text{C}, ^\circ\text{C}, ^\circ\text{C}] \quad (6.1)$$

kde t_7, t_{14}, t_{21} – průměrné denní teploty venkovního vzduchu v určitém čase

Pro výpočet jsme zvolili střední denní venkovní teplotu pro začátek a konec topného období 13°C . Pro tuto hodnotu v okrese Žďár nad Sázavou odpovídá průměrná teplota během otopného období teplotě $t_{es} = 3.1^\circ\text{C}$

Další parametr, který si musíme zvolit je průměrná vnitřní výpočtová teplota. Tato teplota se pohybuje v rozmezí $14-21,5^\circ\text{C}$. V našem případě jsme si zvolili teplotu $t_{is} = 19^\circ\text{C}$. Nyní můžeme vypočítat o kolik stupňů bude denně vytápět objekt.

$$t_d = (t_{is} - t_{es}) [^\circ\text{C}] \quad (6.2)$$

Pokud tuto teplotu dále vynásobíme počtem dnů topné sezony, získáme údaj, počtu stupňů potřebných k vytopení objektu za celou topnou sezonu.

Množství tepla pro vytápění vypočítáme ze vztahu:

$$Q = \frac{24 \cdot Q_c \cdot t_d}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3600 [J; J, s, s, s] \quad (6.3)$$

kde Q_c jsou celkové tepelné ztráty objektu, t_d počet stupňů potřebných denně pro vytopení objektu, t_{is} průměrná vnitřní výpočtová teplota, t_e venkovní výpočtová teplota

Rovnice 6.3 platí však za ideálních podmínek. Aby se tento vztah přiblížil reálným hodnotám, musíme ho upravit pomocí opravných součinitelů a účinností systému.

Po úpravách rovnice 6.3 pomocí opravných koeficientů a účinností dostaneme vztah:

$$Q = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot t_d}{(t_{is} - t_c)} \cdot 3600 \quad [\text{J}; -, -, \text{J}, \text{s}, \text{s}, \text{s}] \quad (6.4)$$

kde ε je součin opravných koeficientů, η_o je účinnost možnosti regulace soustavy, η_r – účinnost rozvodné soustavy

Účinnost možnosti regulace soustavy [19] se volí v rozmezí 0.9 pro kotelnu na pevná paliva bez rozdělení kotelný na sekce až po 1.0 pro plynovou kotelnu s otopnou soustavou rozdělenou do sekcí například podle světových stran s automatickou regulací.

Účinnost rozvodu vytápění [19] se volí v rozmezí 0.95 až 0.98 podle provedení.

Celkovou velikost opravných koeficientů získáme z rovnice:

$$\mathcal{E} = \varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d \quad [-] \quad (6.5)$$

Kde ε_i je nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem, ε_t snížení teploty v místnosti během dne respektive noci, ε_d zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu.

Dále se budeme zabývat součinitelem určením nesoučasnosti tepelnými ztrátami infiltrací a tepelných ztráty prostupem [19]. Protože tepelná ztráta infiltrací v běžných případech tvoří 10-20 % celkové tepelné ztráty, volí se součinitel v rozmezí 0.8 až 0.9.

Dále se budeme zabývat součinitelem snížením teploty v místnosti během dne respektive v noci [19]. V některých objektech je vlivem vhodné regulace možno snížit teplotu po určitou část dne. Volí se v rozmezí 0.8 např. pro školy s polodenním vyučováním až po 1.0 pro nemocnice, kde vyžadujeme 100 % výkon otopné soustavy po celých 24 hodin.

Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu [19]. Podle využití budov v průběhu týdne se volí součinitel ε_d v rozmezí od 1.0 pro budovy se sedmidenním provozem, přes 0.9 pro budovy se šestidenním a 0.8 pro budovy s pětidenním provozem.

6.1 Výpočet pro obě kogenerační jednotky

Nyní provedeme výpočet potřebného výkonu pro vytápění objektu. Výpočet provedeme pro obě kogenerační jednotky zároveň.

Tab. 6-1 Vstupní parametry opravných koeficientů a účinností

Parametr	Hodnota
Nesoučasnost tepelné ztráty infiltrací a tepelné ztráty prostupem zvolíme hodnotu	0.9
Snížení teploty v místnosti během dne respektive v noci volíme koeficient	0.93
Zkrácení doby vytápění u objektu s přestávkami v provozu volíme	1
Účinnost možnosti regulace soustavy	0.95
Účinnost rozvodu vytápění	0.95

Nyní provedeme výpočet opravného koeficientu:

$$\varepsilon = \varepsilon_i \cdot \varepsilon_t \cdot \varepsilon_d = 0.9 \cdot 0.93 \cdot 1 = 0.84 \quad [-] \quad (6.6)$$

Dále provedeme výpočet t_d :

$$t_d = (t_{is} - t_{es}) = 19 - 3,1 = 15.9^\circ\text{C} \quad (6.7)$$

V následné tabulce 6.2 provedeme rekapitulaci proměnných pro výpočet rovnice 6.4

Tab. 6-2 Parametry pro výpočet tepla pro vytápění

Parametr	Symbol	Hodnota	Jednotka
Celkové tepelné ztráty objektu	Q_c	12	kW
Průměrná vnitřní výpočtová teplota	t_{is}	19	$^\circ\text{C}$
Venkovní výpočtová teplota	t_e	-15	$^\circ\text{C}$

Výpočet potřebného tepla pro vytápění za den:

$$Q_{VYT} = \frac{\varepsilon}{\eta_o \cdot \eta_r} \cdot \frac{24 \cdot Q_c \cdot t_d}{(t_{is} - t_e)} \cdot 3600 = \frac{0.84}{0.95 \cdot 0.95} \cdot \frac{24 \cdot 12 \cdot 10^3 \cdot 15.9}{(19 - (-15))} \cdot 3600 \quad (6.8)$$

Výsledek množství tepla za 1 den:

$$Q_{VYT} = 367,56 \text{ MJ} \quad (6.9)$$

Výpočet množství tepla za sekundu:

$$Q_{VYT,s} = \frac{Q_{VYT,s}}{3600 \cdot 24} = \frac{367,56 \cdot 10^6}{3600 \cdot 24} = 4254,28 \text{ J} \quad (6.10)$$

6.2 Zhodnocení vytápění

Abychom zajistili vytápění objektu při průměrných dnech, musíme dodávat 4254,28 J tepelné energie. Ve skutečnosti tato hodnota neustále kolísá vlivem venkovního počasí, proto hodnotu 4254,28J budeme dále pro náš výpočet považovat za konstantní.

Dalším parametrem, se kterým musíme dále počítat, je délka topné sezony. V příloze 1 jsou vedle průměrných teplot zobrazeny počty dní topné sezony po dané okresy.

7 SIMULACE KOGENERACNÍ JEDNOTKY MT22

Pomocí programů Matlab a Simulink jsme provedli simulování kogenerační jednotky MT22. Jednotlivé části jsme si rozdělili na samotné subsystémy.

7.1 Simulace KJ MT22 pro zimní provoz

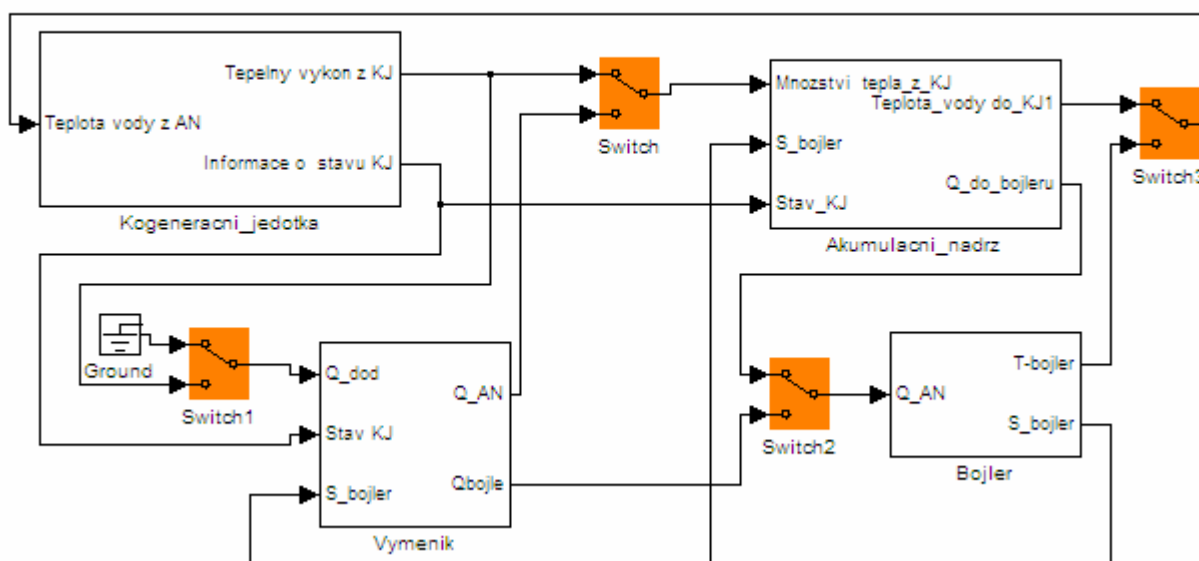
V zimním provozu spotřebováváme větší množství tepla potřebného pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Množství tepla, které je potřeba pro vytápění a pro ohřev teplé užitkové vody, jsme si vypočítali v předchozích kapitolách 5 a 6. Simulaci provádíme v minutách.

Tab. 7-1 Tabulka vstupních hodnot - zimní provoz

Parametr	Proměnná	Hodnota	Jednotka
Doba prvního zapnutí KJ v minutách	trozb	720	min
Množství tepelné energie na vytápění	Qtop	4.25	kJ/s
Ostatní ztráty	Qzt	4	kJ/s
Množství vody v AN (při hustotě 1000)	m	4600	kg
Počáteční teplota v AN	Tpoc	30	°C
Výměník 10kW	Pv1	10	kW
Výměník v AN	Pv2	500	W
Nový výměník 40 kW	Pvnew	Vypnuto	kW

V ostatních ztrátách jsou zahrnuty ztráty přestupem tepla mezi akumulací nádrží a okolím a ztráty při předávání tepelné energie mezi kogenerační jednotkou a akumulací nádrží.

Kogeneracni jednotka MT 22



Obr. 7-1 Celkové schéma s kogenerační jednotkou MT22 - zimní provoz

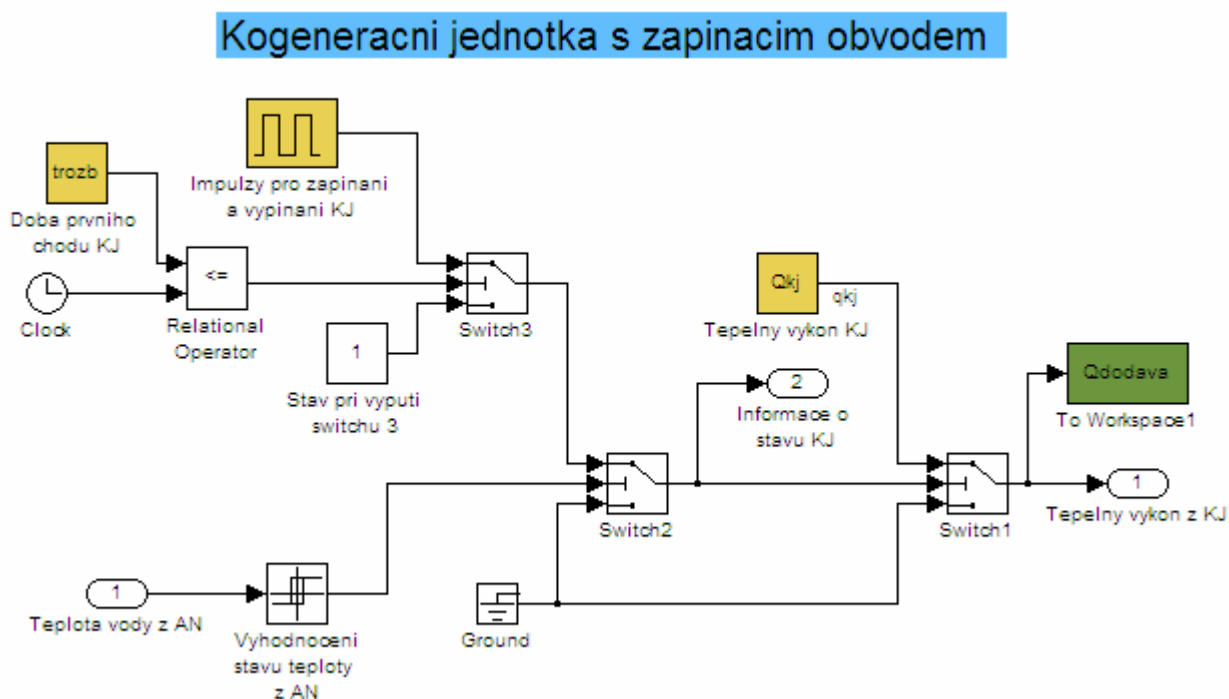
Jednotlivé části kogenerační jednotky jsou zobrazeny pomocí subsystémů. Vypínače v horní poloze označují simulaci zimního provozu. Ze schématu je vidět, že veškeré teplo z kogenerační jednotky směřuje do akumulární nádrže. Nový výměník je při tomto provozu odstaven. Nyní se budeme zabývat jednotlivými subsystémy.

7.1.1 Schéma kogenerační jednotky

Schéma kogenerační jednotky se skládá ze dvou základních částí. První částí je spouštění kogenerační jednotky v pravidelných intervalech. Tyto intervaly jsou dle požadavků provozovatele sítě. Druhou částí je kontrola teploty chladicí vody do kogenerační jednotky.

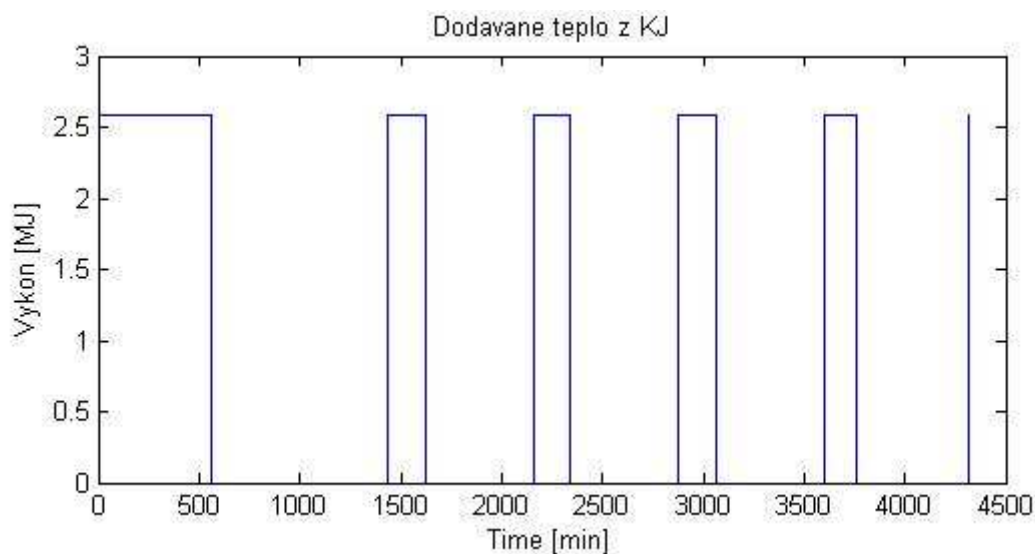
Impulzy pro spouštění kogenerační jednotky získáváme pomocí generátoru impulzu. Simulaci provádíme na krátkém intervalu. Akumulační nádrž je před začátkem simulace ve vychladlém stavu, zařadíme do spínacího schématu rozběhový čas (t_{roz}), který má nahřát akumulární nádrž do provozního stavu. V případě simulace bez rozběhového času, by bylo nutné prodloužit sledovaný interval a zpočátku bychom neměli dostatečný tepelný spád pro nahřátí bojleru na požadovanou teplotu.

Teplotu vstupní vody do kogenerační jednotky (spalovacího motoru) musíme kontrolovat. Kontrolujeme, zda má vstupní chladicí voda požadovanou teplotu 60-70°C. Vstupní teplotu upravujeme pomocí směšovacího ventilu. Voda na chlazení je odebírána z akumulární nádrže z její spodní části. Překročí-li teplota vody z akumulární nádrže teplotu 70°C, musíme zajistit vypnutí kogenerační jednotky, aby nedocházelo k přehřívání spalovacího motoru.



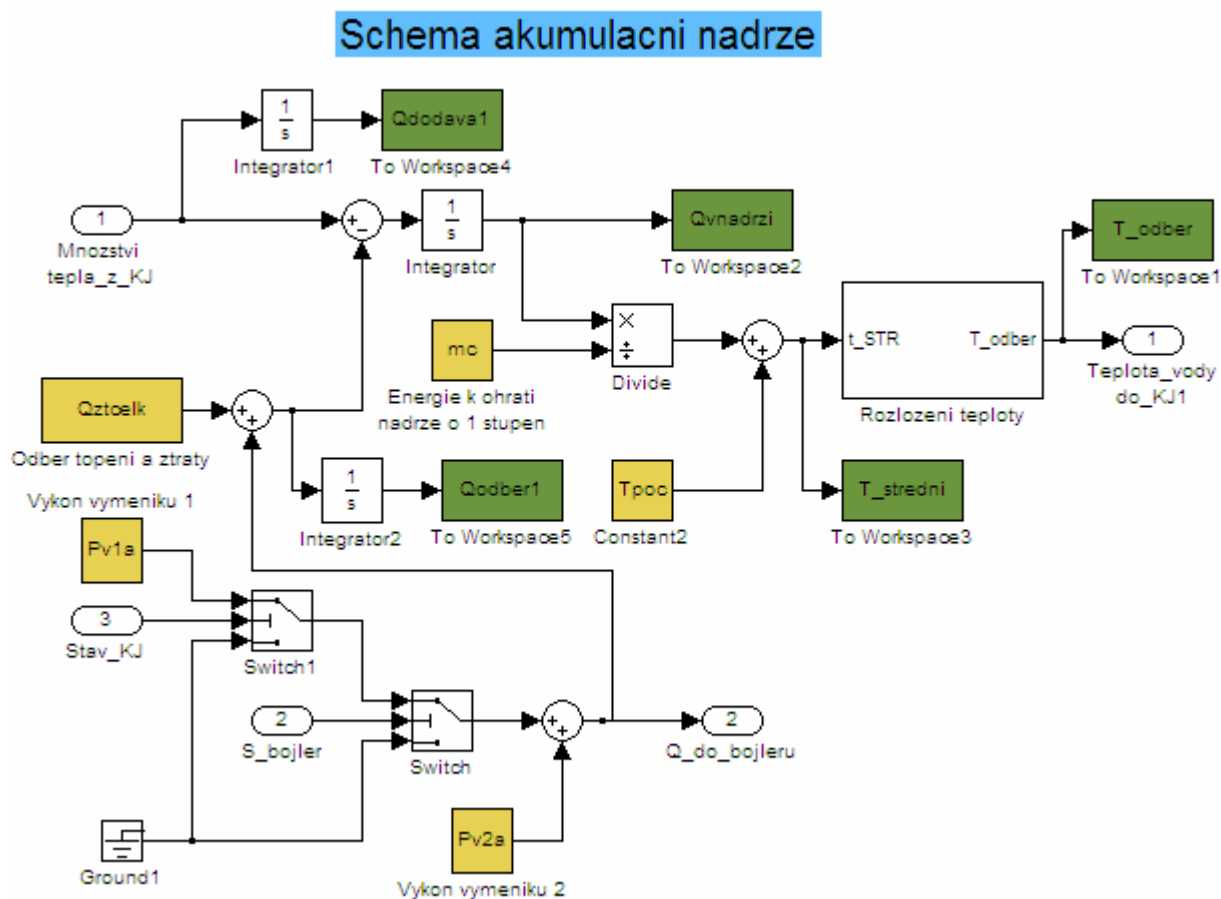
Obr. 7-2 Schéma kogenerační jednotky MT22

Na obrázku jsou žlutou barvou zobrazeny vstupní hodnoty, které zadáváme ručně nebo pomocí m-file souboru. Zelenou barvou jsou zobrazeny výstupní hodnoty, které dále zpracováváme. Na obrázku 7-3 vidíme průběh dodávaného výkonu kogenerační jednotkou.



Obr. 7-3 Průběh dodávaného výkonu – zimním provozu

7.1.2 Schéma akumulční nádrže



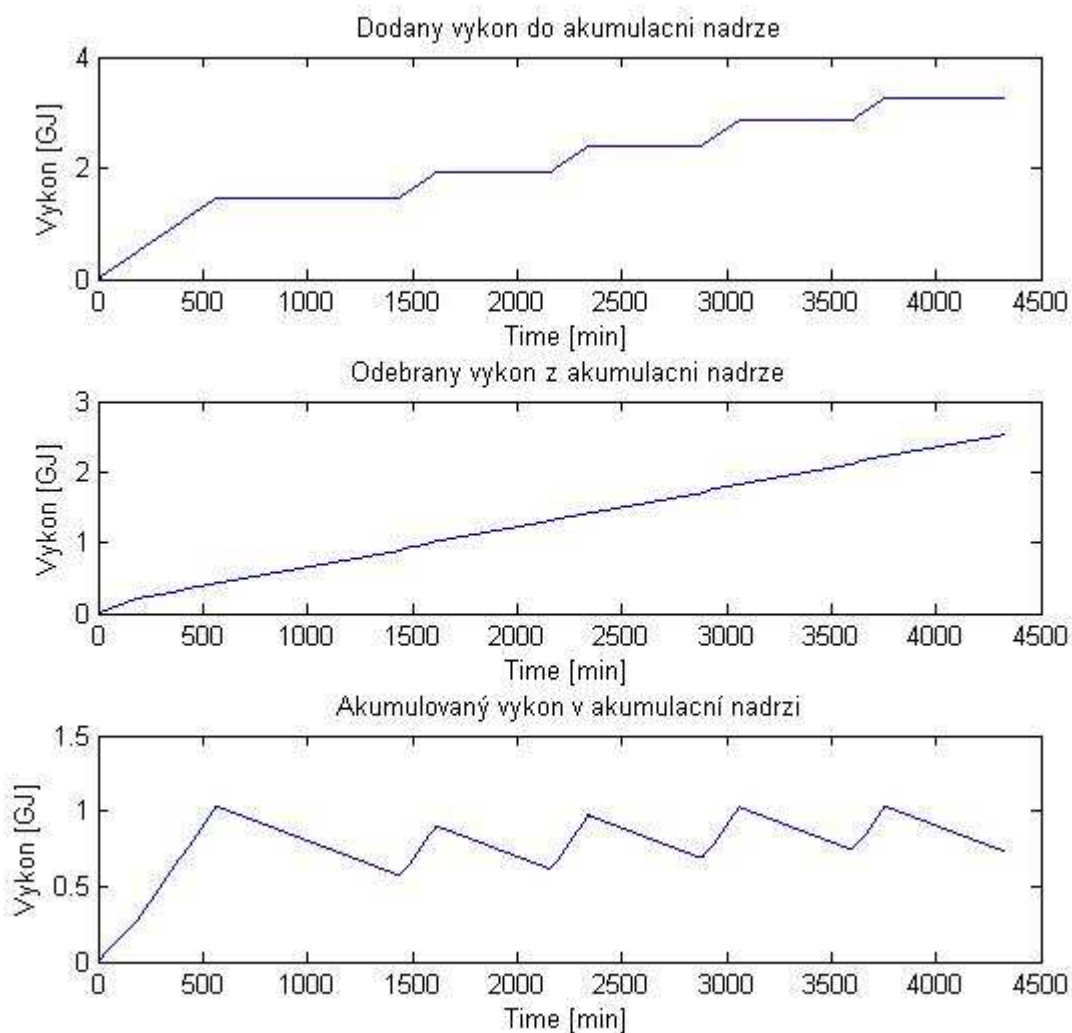
Obr. 7-4 Schéma akumulční nádrže

Schéma akumulční nádrže je rozděleno na tři částí. První částí je dodávka a akumulace tepelné energie, druhou částí jsou ztráty a odběr elektrické energie a třetí částí je výpočet rozložení teploty v akumulční nádrži.

Od dodané tepelné energie z kogenerační jednotky odečteme ztráty a odběry tepelné energie a získáme množství akumulovaného tepla v akumulacní nádrži. Dodaný, odebraný a akumulovaný výkon je zobrazen na obrázku 7-5.

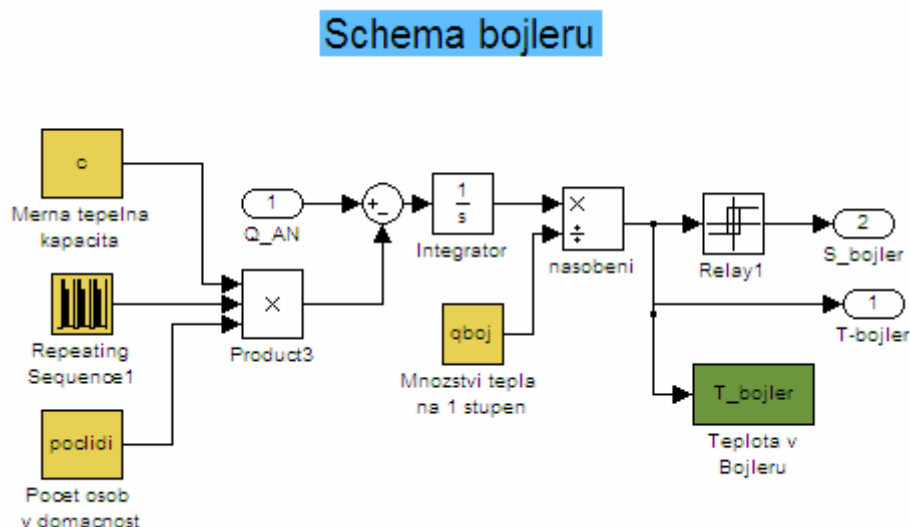
Odběr je složen z energie potřebné pro vytápění objektu, energie potřebné pro ohřívání teplé užitkové vody a ztrát. Ztráty způsobuje přestup tepelné energie z akumulacní nádrže do okolního prostředí. Ohřev teplé užitkové vody je prováděn pomocí výměníku umístěného v akumulacní nádrži a v době provozu kogenerační jednotky je zapnut 10kW výměník, který je mimo akumulacní nádrž.

Z množství akumulovaného tepla v akumulacní nádrži vypočítáme rozložení teplot v nádrži. Tento výpočet provádíme pouze zjednodušeným výpočtem, kdy považujeme rozložení v akumulacní nádrži za lineární. Ve skutečnosti je velmi složité určit přesné rozložení v akumulacní nádrži, jelikož dochází v akumulacní nádrži různým cirkulacím.



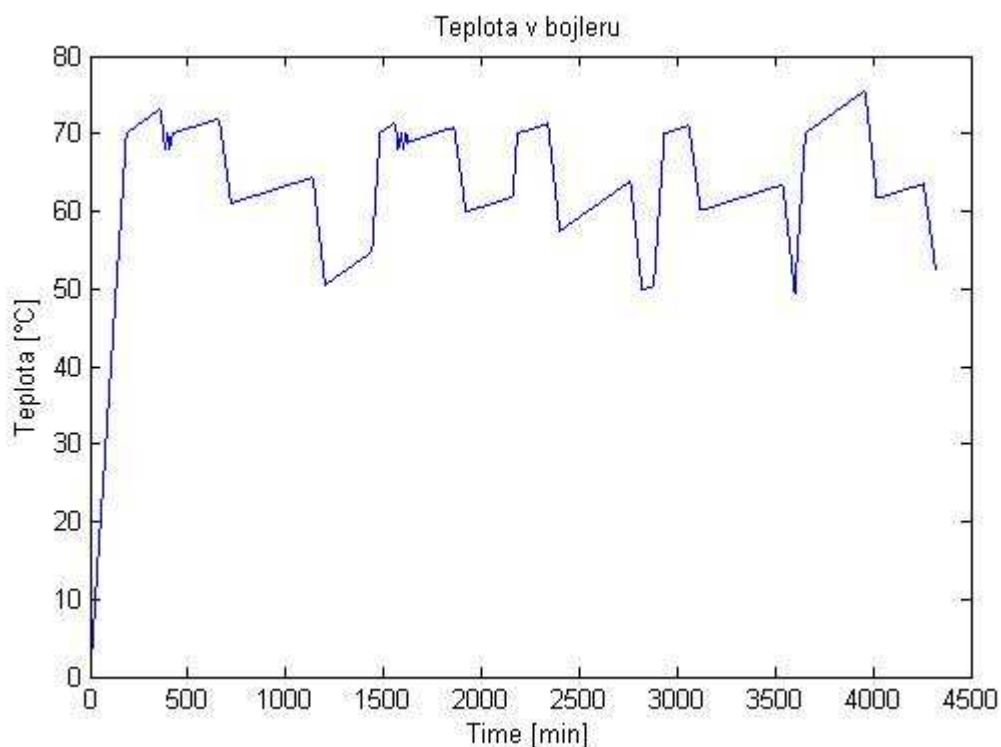
Obr. 7-5 Dodávaný,odebíraný a akumulovaný výkon MT22-zimní provoz

7.1.3 Schéma bojleru



Obr. 7-6 Schéma bojleru

Na schématu bojleru je pomocí proměnné Repeating Sequence zobrazen přibližný odběr teplé vody z bojleru. Dále provádíme výpočet střední teploty v bojleru. Odběr násobíme počtem osob v domácnosti.



Obr. 7-7 Průběh teploty v bojleru – zimní provoz

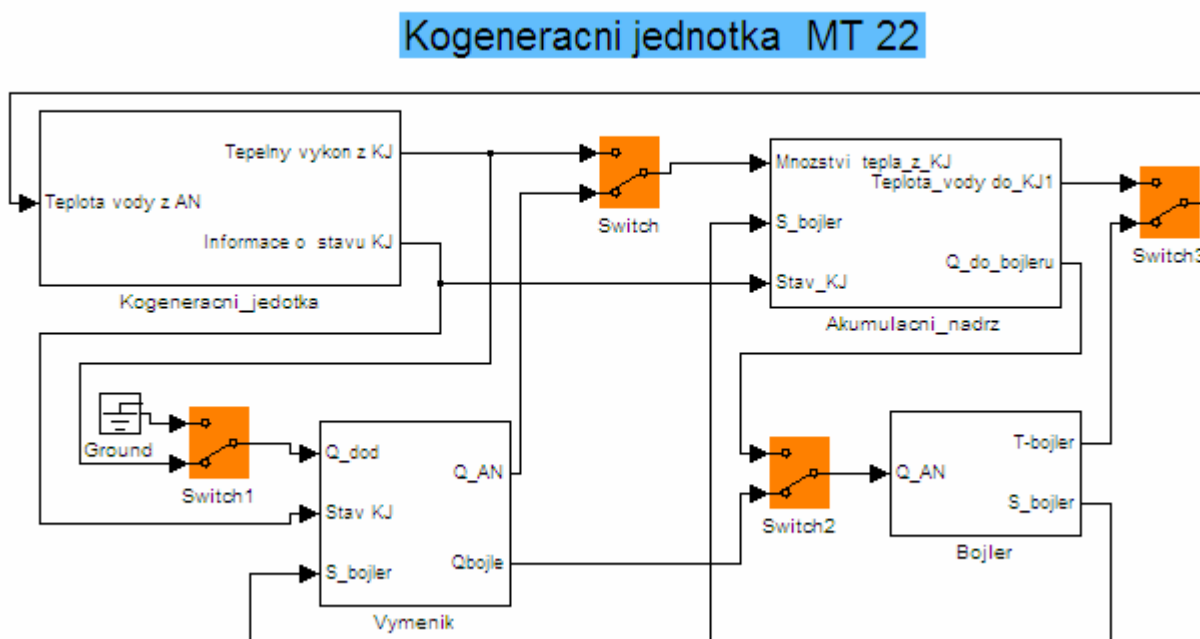
Na obrázku je vidět, že teplota velice kolísá díky nerovnoměrnému odběru teplé užitkové vody. Ráno, v poledne a večer je odběr největší. Odběr vždy závisí na způsobu užívání objektu. Je velký rozdíl, zda je celá rodina celý den doma, nebo zda ráno odejdou všichni z domu a večer se vrátí. V tomto výpočtu uvažujeme spotřebu 82 litrů vody na osobu za den.

7.2 Simulace kogenerační jednotky MT22 pro letní provoz

V lením provozu se zaměříme pouze na ohřev teplé užitkové vody. Při použití akumulární nádrže dochází k velkým ztrátám vlivem přestupu tepla mezi akumulární nádrží a její okolím. Pro omezení ztrátového tepla přestupem zařadíme do obvodu výměník tepla, který větší část tepelné energie z kogenerační jednotky předá teplé užitkové vodě. Teplou užitkovou vodu dále akumulujeme v bojleru. Přebytkové teplo, které se nevyužije na ohřívání teplé užitkové vody, se odvede do akumulární nádrže.

Tab. 7-2 Tabulka vstupních hodnot – letní provoz

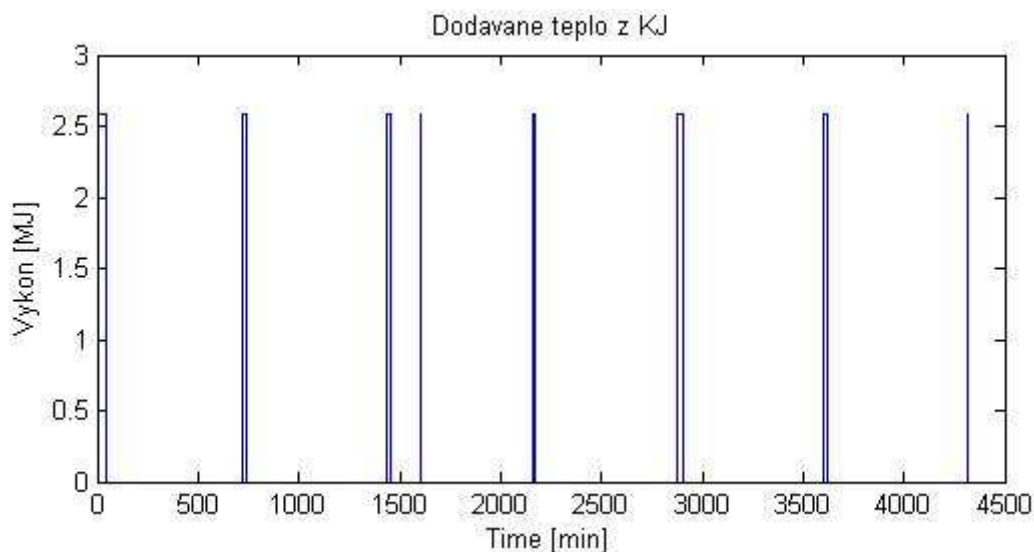
Parametr	Proměnná	Hodnota	Jednotka
Doba prvního zapnutí KJ v minutách	trozb	200	min
Množství tepelné energie na vytápění	Qtop	Vypnuto	kJ/s
Ostatní ztráty	Qzt	Minimální	kJ/s
Množství vody v AN (při hustotě 1000)	m	4600	kg
Počáteční teplota v AN	Tpoc	30	°C
Výměník 10kW	Pv1	Vypnuto	kW
Výměník v AN	Pv2	Vypnuto	W
Nový výměník 40 kW	Pvnew	40	kW



Obr. 7-8 Celkové schéma s kogenerační jednotkou MT22 - letní provoz

Přepnutí vypínačů do spodní polohy signalizuje letní provoz. Doba provozu kogenerační jednotky s porovnáním se zimním je kratší. Pomocí nového výměníku dojde k rychlému zahřátí nádrže na teplou užitkovou vodu o velikosti 200 litrů, než nádrže o velikosti 4600 litrů. Na

obrázku vidíme množství a dobu provozu kogenerační jednotky potřebné pro ohřev teplé užitkové vody.



Obr. 7-9 Průběh provozu kogenerační jednotky - letní provoz

Doba provozu kogenerační jednotky může být delší než je zobrazeno v grafu. Při delším provozu se přebytečné teplo odvede do akumulární nádrži.

7.2.1 Výměník tepla

Tento výměník není součástí současného stavu teplených obvodů kogenerační jednotky. Proto jsme provedli návrh tohoto výměníku o co největším výkonu, abychom dosáhli maximálního využití odpadního tepla z kogenerační jednotky. Pomněná „Pvnew“ určuje výkon výměníku. V následující tabulce je proveden výpočet parametrů výměníku pomocí programu reflex [16]

Tab. 7-3 Parametry výměníku rhc 60/14 [16]

Parametr	Jednotka	Primární strana	Sekundární strana
Výkon	[kW]	40,0	
Vstupní teplota	[°C]	90,0	20,0
Výstupní teplota požadovaná	[°C]	35,0	70,0
Výstupní teplota skutečná	[°C]	35,0	75,8
Max. tlaková ztráta	[kPa]	25,0	25,0
Tlaková ztráta skutečná	[kPa]	5,6	5,0
Průtok	[m ³ /h]	0,654	0,720

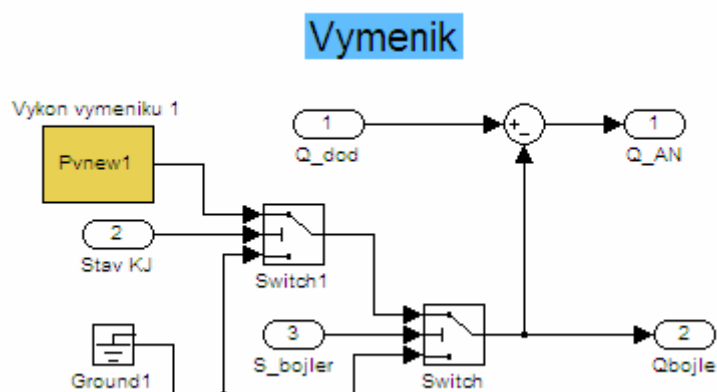
Tab. 7-4 Konstrukční parametry výměníku rhc 60/14[16]

Parametr	Jednotka	Hodnota
Log. teplotní difference	[K]	17,4
Hodnota K Skutečná/Požadovaná	[W/m ² *K]	4 017,7/ 3 270,7
Plocha Skutečná/Požadovaná	[m ²]	0,76/ 0,62

Jelikož je velké množství konstrukcí výměníku a mnoho způsobů provedení, není vhodné provádět teoretický výpočet, protože by bylo velice zdlouhavé a velice obsáhlé. Proto jsme si zvolili typ výměníku longtherm rhc 60/13. Tento výměník není závazný, může se použít jakýkoliv jiný výrobce, pouze musí být dodržen dostatečný výkon a přestupová plocha výměníku.



Obr. 7-10 Výměníky longtherm [16]



Obr. 7-11 Schéma nového výměníku

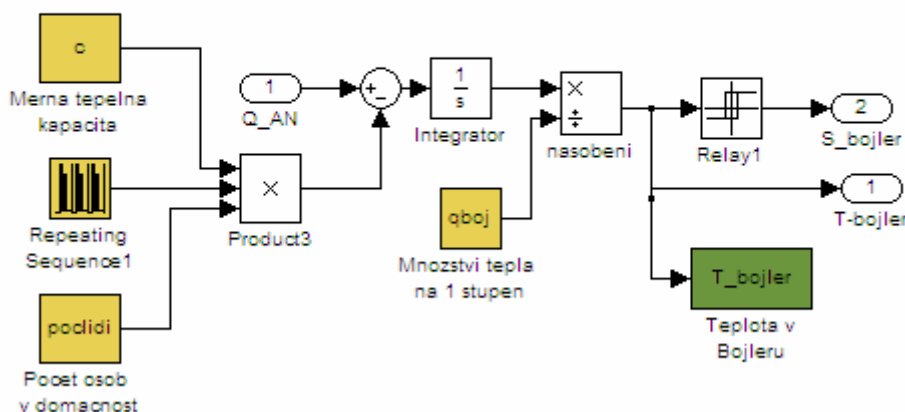
Po zapnutí kogenerační jednotky předává výměník odpadní teplo teplé užitkové vodě. V naší simulaci, pokud dojde k nahřání teplé užitkové vody na požadovanou teplotu, se vypne kogenerační jednotka. Přebytkové teplo odchází do akumulační nádrže.

7.2.2 Schéma bojleru

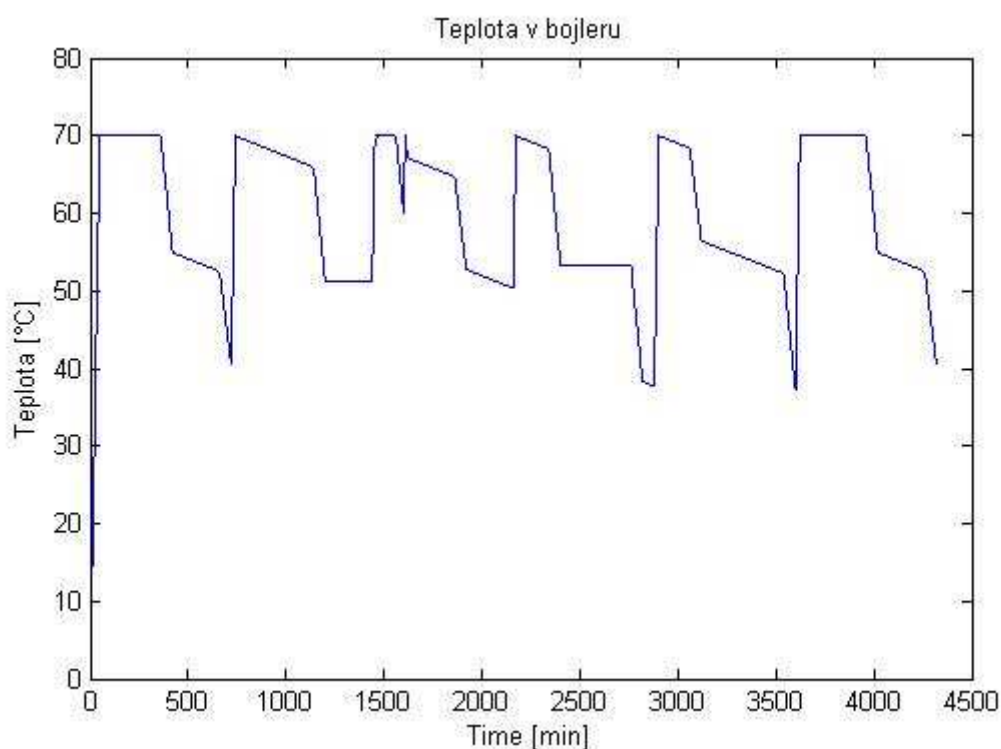
Na schématu je znázorněno zapojení bojleru kogenerační jednotky. V letním provozu sledujeme teplotu vody bojleru, pokud v této simulaci dosáhne střední teplota v boileru hodnoty

70°C, dojde k vypnutí kogenerační jednotky. Toto můžeme však nastavit pomocí časového spínání kogenerační jednotky. Pokud bude běžet kogenerační jednotka delší dobu než je potřeba k nabití bojleru, tak se přebytečné teplo akumuluje v akumulární nádrži.

Schema bojleru



Obr. 7-12 Schéma bojleru



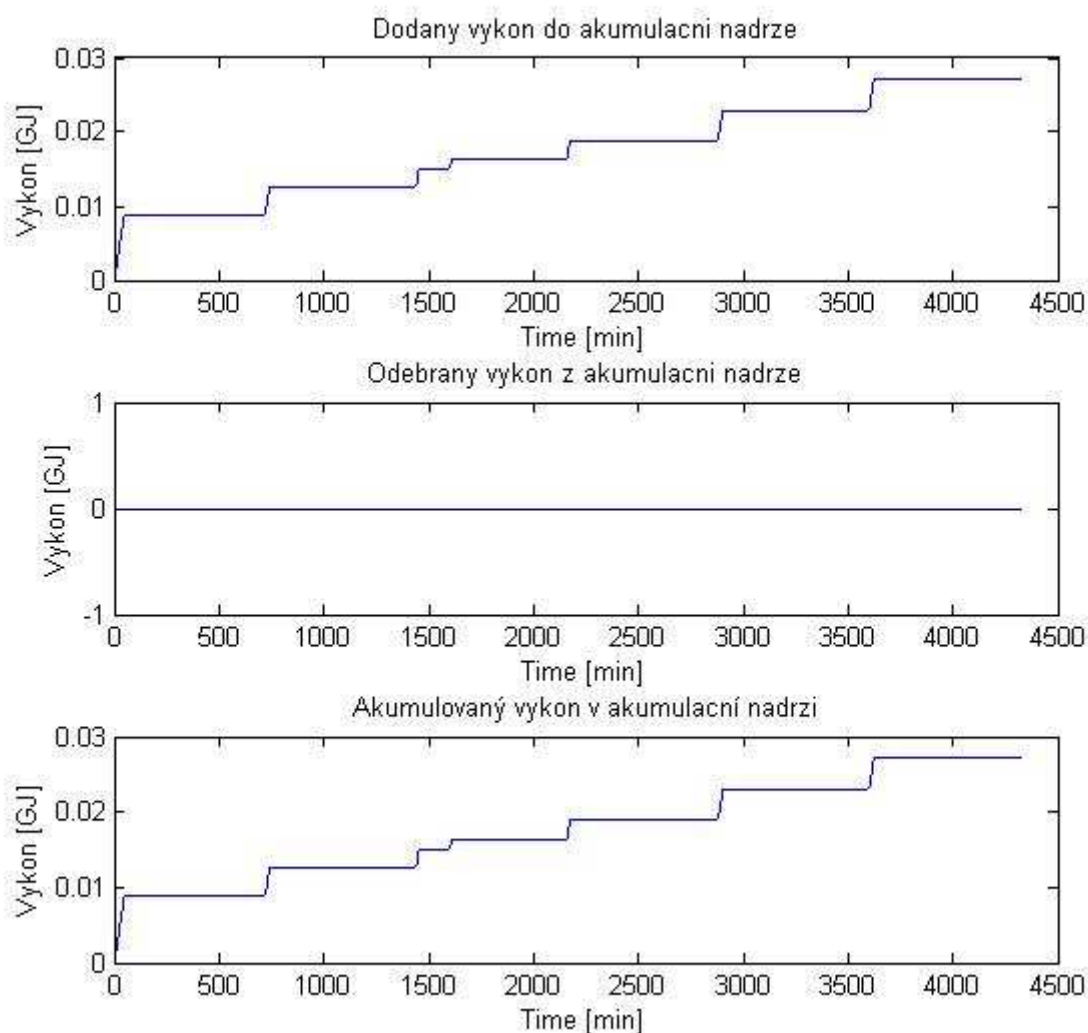
Obr. 7-13 Průběh střední teploty v bojleru – letní provoz

Na průběhu je vidět velké kolísání střední teploty. Kolísání způsobuje krátký běh kogenerační jednotky a nepravidelný odběr tepelné energie. Nevýhodou je skutečnost, že pokud neběží kogenerační jednotka, nedochází k ohřívání teplé užitkové vody.

7.2.3 Schéma akumulární nádrže

Schéma kogenerační jednotky je totožné se schématem v zimním provozu. Jediná odchylka je rozdíl tepla akumulovaného v akumulární nádrži. Narozdíl od zimního provozu je teplo do

akumulační nádrže pouze dodáváno. Jelikož je tam dodáno velice malé množství tepelné energie kdy se střední teplota pohybuje 25-30 °C, je těžké určit, jaké budou ztráty přestupem, jelikož teplotní rozdíl mezi venkovním vzduchem a teplotou v nádrži bude minimální.



Obr. 7-14 Průběh výkonu v akumulační nádrži

7.3 Zhodnocení stavu letního a zimního provozu

V této kapitole jsme se zabývali letním a zimním provozem kogenerační jednotky MT22. Pomocí programů Matlab a Simulink jsme prováděli simulace jednotlivých stavů. V letním provozu jsme pomocí výměníku předávali odpadní teplo z kogenerační jednotky přímo teplé užitkové vodě. V zimním provozu byl tento výměník vypnutý a teplo se akumulovalo v akumulační nádrži. V zimním provozu bychom mohli tento výměník používat v případě potřeby rychlého nahřátí bojleru.

Na jednotlivých průbězích teplot v bojleru je vidět, že při zimním provozu nedochází k velkým výkyvům teploty. Výhodou oproti letnímu provozu je neustálé dohřívání teplé užitkové vody z akumulační nádrže. V letním provozu kogenerační jednotka pracuje krátkou dobu a po ukončení provozu již není do bojleru dodávána žádná tepelná energie, která by dále přehřívala vodu.

8 KOGENERACNÍ JEDOTKA 45kW

V této kapitole se zabýváme optimalizací provozu kogenerační jednotky o výkonu 45kW. Provedeme simulace kogenerační jednotky pomocí programů Matlab a Simulink. Na této kogenerační jednotce jsme provedli úpravu výměny bojleru a zvětšení výměníku pro ohřev teplé užitkové vody. Předchozí výměník, který byl použit byl malého výkonu okolo 0,5kW.

8.1 Simulace KJ 45kW pro zimní provoz

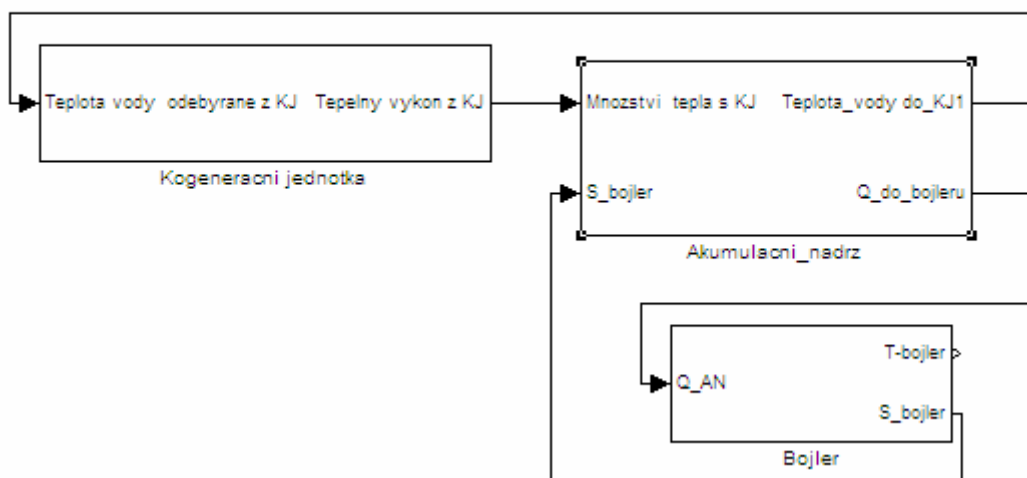
Tab. 8-1 Tabulka vstupních hodnot – zimní provoz

Parametr	Proměnná	Hodnota	Jednotka
Doba prvního zapnutí KJ v minutách	trozb	720	min
Množství tepelné energie na vytápění	Qtop	4.25	kJ/s
Ostatní ztráty	Qzt	7	kJ/s
Množství vody v AN (při hustotě 1000)	m	5400	kg
Počáteční teplota v AN	Tpoc	30	°C
Výměník 4kW	Pv1	4	kW

V ostatních ztrátách jsou zahrnuty ztráty přestupem mezi akumulací nádrží a okolím, dále mezi kogenerační jednotkou a akumulací nádrží, a také ztráty při vedení tepla z akumulací nádrže do kotelny rodinného domu.

Nyní provedeme simulaci, kdy bude kogenerační jednotka pracovat v zimním provozu. Budeme odebírat tepelnou energii pro vytápění a ohřev teplé užitkové vody. Narozdíl od kogenerační jednotky MT 22 je tato kogenerační jednotka umístěna mimo vytápění objekt, proto zde dochází k větším tepelným ztrátám.

Kogeneracni jednotka 45kW



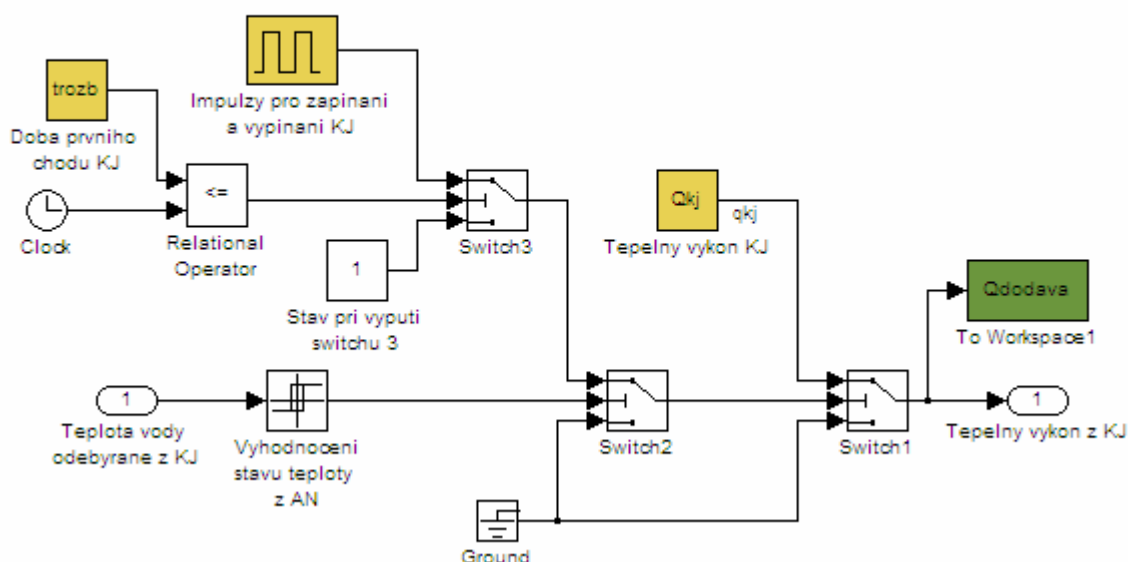
Obr. 8-1 Celkové schéma s kogenerační jednotkou 45kW

8.1.1 Schéma kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka je spínána pomocí generátoru impulzů. Vypínání je provedeno pomocí impulzu vypnutí nebo pokud teplota vstupní vody do kogenerační jednotky přesáhne hodnotu 70°C. Před generátorem impulzů je umístěn rozběhový čas (t_{roz}) sloužící k nahřání akumulární nádrže do provozního stavu.

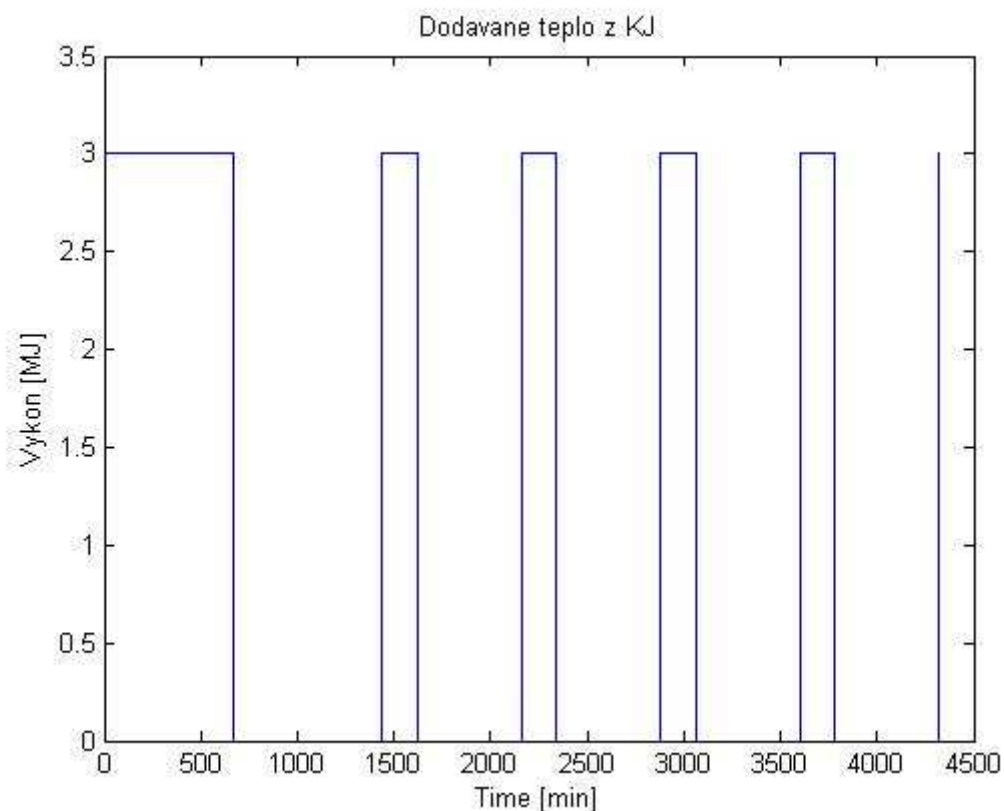
Sice se jedná o kogenerační jednotku o výkonu 45kW, ale pokud se podíváme na kogenerační jednotku výrobce tedom označenou jak MT 45, tak hodnota tepelného výkonu je 80kW. Ovšem v našem případě není kogenerační jednotka provozována na plný výkon. Její výkon je snížen. Toto snížení je způsobeno jednak stářím soustrojí a také provozními podmínkami v závislosti na provozovateli distribuční sítě.

Kogeneracni jednotka s zapinacim obvodem



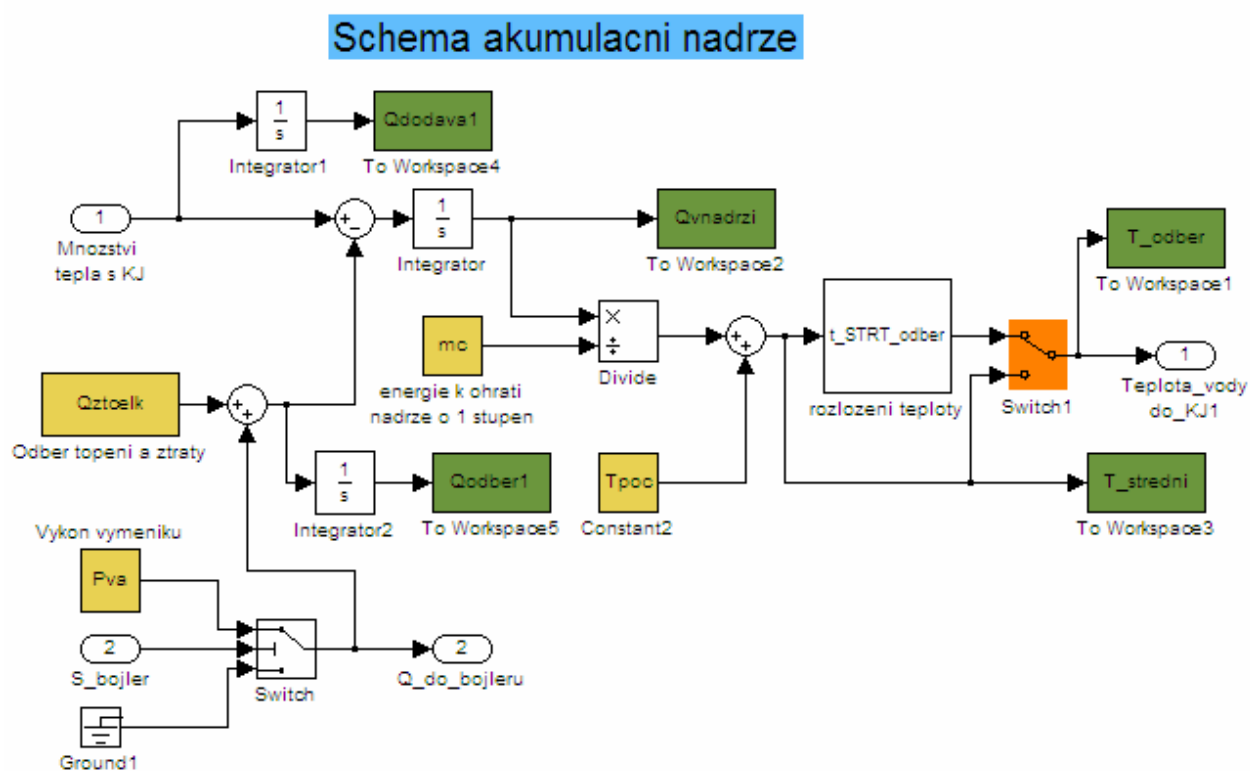
Obr. 8-2 Schéma kogenerační jednotky

Na obrázku jsou žlutou barvou znázorněny vstupní hodnoty, které zadáváme pomocí m-file souboru. Zelenou barvou jsou zobrazeny výstupní hodnot, které dále zpracováváme. Na obrázku 8-3 vidíme průběh dodávaného výkonu kogenerační jednotkou.



Obr. 8-3 Průběh dodávaného výkonu z kogenerační jednotky - letní provoz

8.1.2 Schéma akumulční nádrže



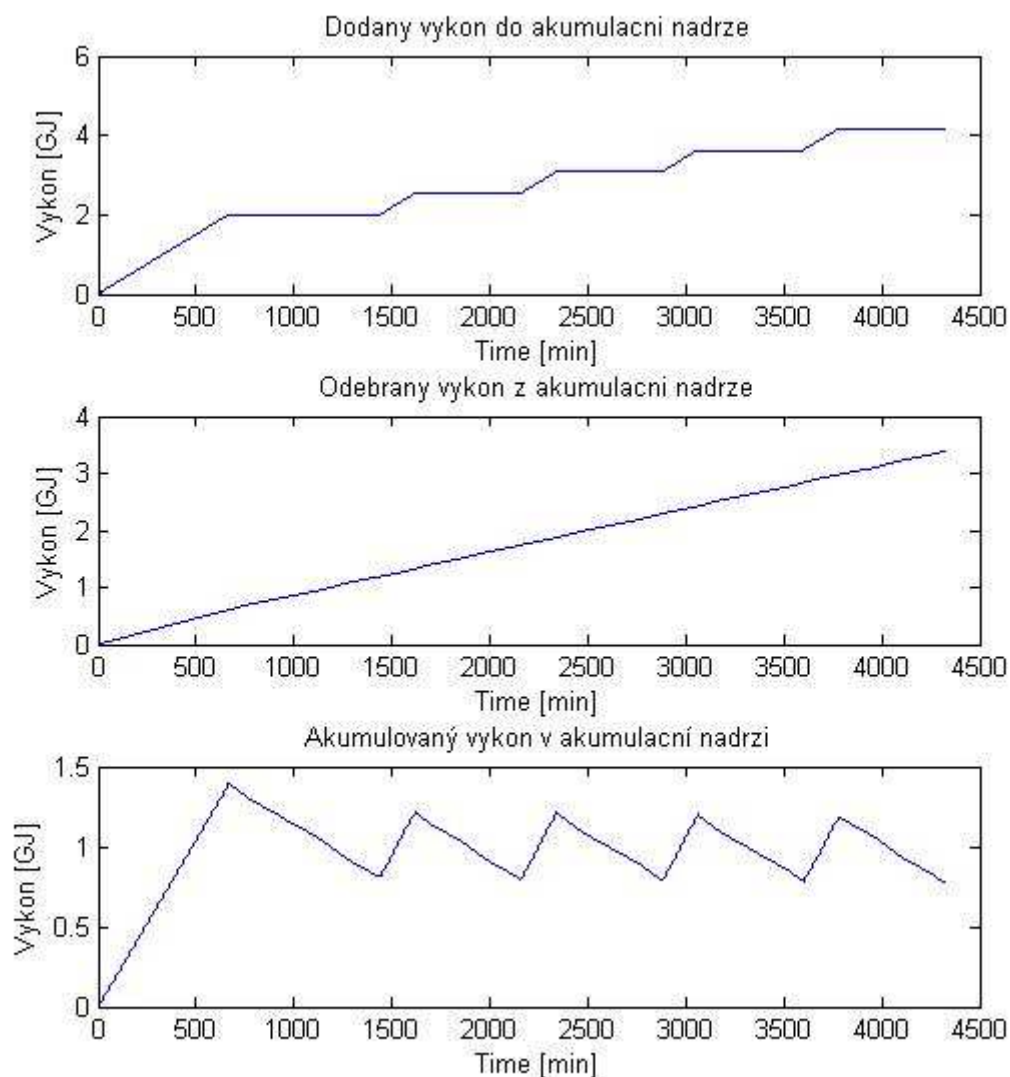
Obr. 8-4 Schéma akumulční nádrže – zimní provoz

Akumulační nádrž se skládá ze tří částí. První částí je výpočet akumulované energie v nádrži. Druhou částí je odběr tepelné energie na vytápění a ohřev teplé užitkové vody a na pokrytí ztrát soustavy. Třetí částí je výpočet rozložení teploty v akumulační nádrži. Velikost akumulační nádrže je 5400 litů vody.

Od dodané tepelné energie z kogenerační jednotky odečteme ztráty a odběry tepelné energie a získáme množství akumulovaného tepla v akumulační nádrži. Dodaný, odebraný a akumulovaný výkon jsou zobrazeny na obrázku 8-5.

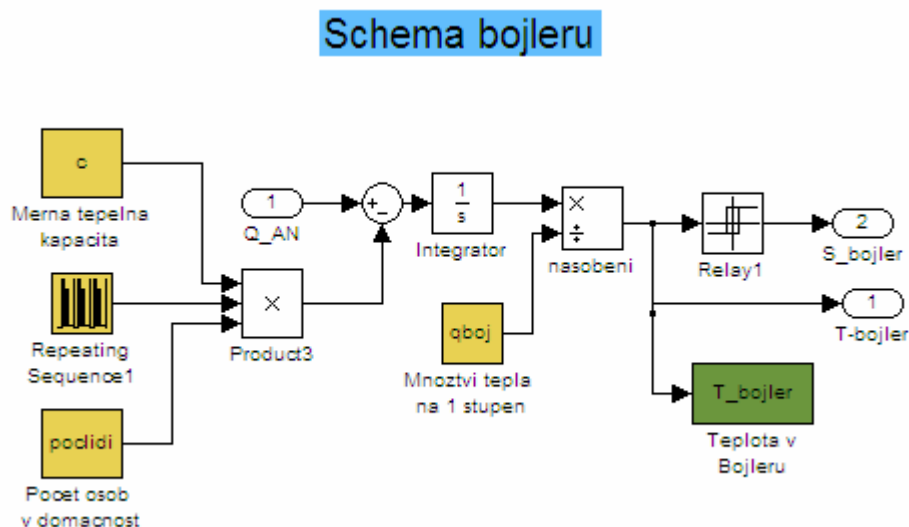
V druhé části odebíráme tepelnou energii z akumulační nádrže pomocí výměníku. Z výměníku pokračuje část vody do bojleru, kde pomocí dalšího výměníku předá energii teplé užitkové vodě a dále pak pokračuje do topné soustavy. Záleží na způsobu jak je soustava zregulována. Podrobněji jsme se zabývali regulací v kapitole 4.4

V třetí části provádíme zjednodušený výpočet rozložení teplot v akumulační nádrži. Rozložení používáme pro zjištění teploty vody odebírané pro chlazení kogenerační jednotky.



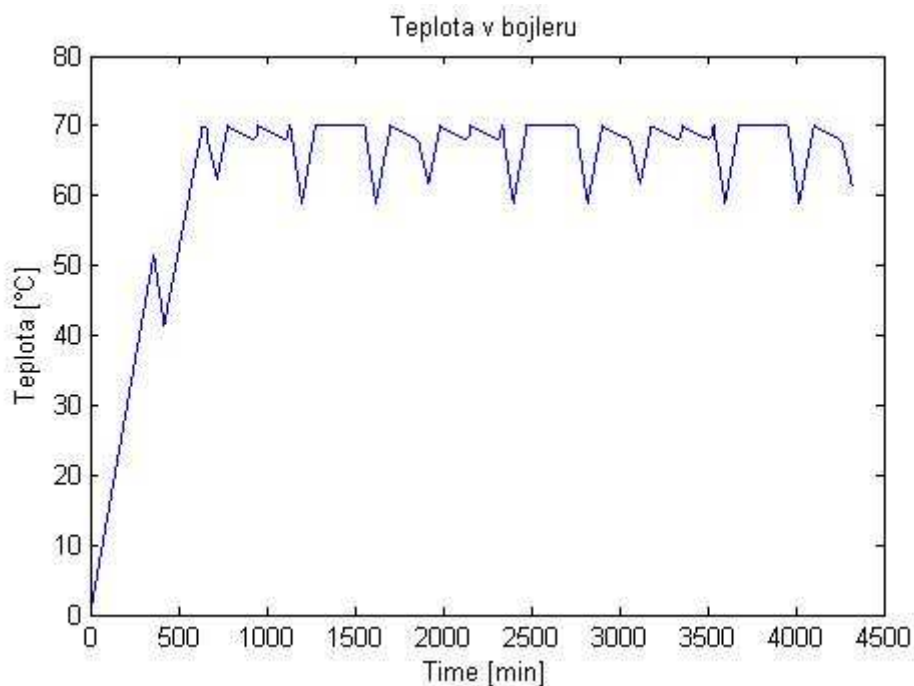
Obr. 8-5 Dodávaný, odebíraný a akumulovaný výkon v nádrži – zimní provoz

8.1.3 Schéma bojleru



Obr. 8-6 Schéma bojleru

Bojler se skládá ze dvou částí. V první části je v určitých intervalech zajištěn odběr teplé užitkové vody a v druhé části provádíme výpočet střední teploty v bojleru. Výstupním parametrem je střední teplota vody a stav bojleru, zad-li dokáže ještě dále pojmout tepelnou energii nebo ne. Množství odběru teplé užitkové vody je uvažováno pro pětičlennou rodinu. Předpokladem je, že průměrná spotřeba vody na osobu je 82 litů.



Obr. 8-7 Průběh teploty v bojleru

V bojleru se nachází výměník o výkonu 4kW. Tento výměník průběžně dohřívá vodu v bojleru. Rychlost průtoku je ovlivněna okružovým čerpadlem.

8.2 Simulace kogenerační jednotky 45kW pro letní provoz

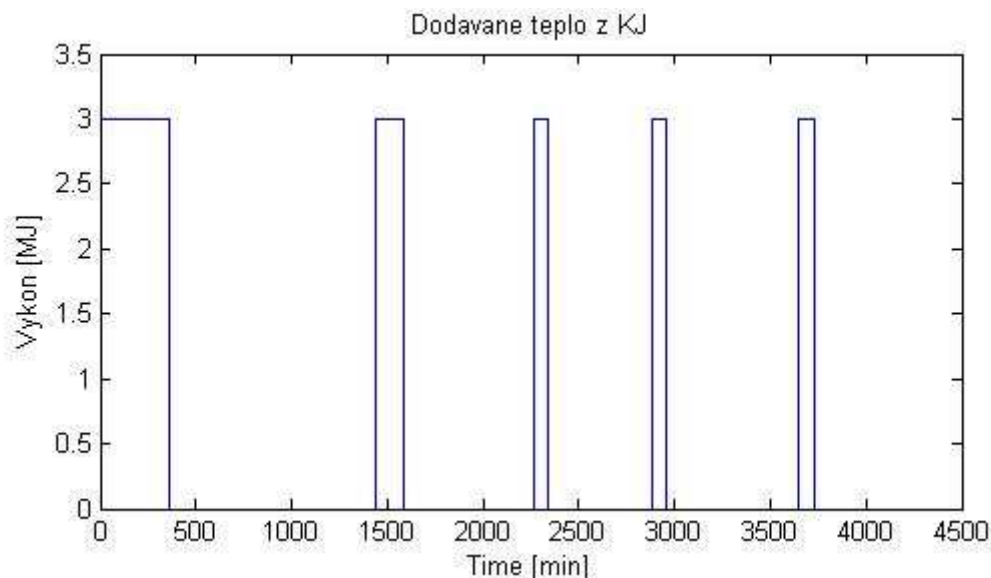
Kogenerační jednotka je připojena přímo na akumulaci nádrž, proto ji nemůžeme v letním provozu vypojit, jak u kogenerační jednotky MT 22, ale můžeme akumulaci nádrž nahřívat pouze částečně. Pro ohřev teplé užitkové vody potřebujeme teplotu kolem 80°C, a proto i když bude v akumulaci nádrži akumulováno dostatek tepelné energie, budeme ji muset dohřívat abychom získali dostatečný tepelný spád.

Tab. 8-2 Tabulka vstupních hodnot – letní provoz

Parametr	Proměnná	Hodnota	Jednotka
Doba prvního zapnutí KJ v minutách	trozb	400	min
Množství tepelné energie na vytápění	Qtop	Vypnuto	kJ/s
Ostatní ztráty	Qzt	4	kJ/s
Množství vody v AN (při hustotě 1000)	m	5400	kg
Počáteční teplota v AN	Tpoc	30	°C
Výměník 4kW	Pv1	4	kW

8.2.1 Schéma kogenerační jednotky

Schéma kogenerační jednotky je totožné se schématem kogenerační jednotky na obrázku 8-2. Vstupní chladicí vodou do kogenerační jednotky, kterou budeme sledovat, není voda z dna nádrže, ale ze středu. Pokud bude ve středu nádrže teplota kolem 70°C, tak v horní části se bude teplota pohybovat přes 80°C.

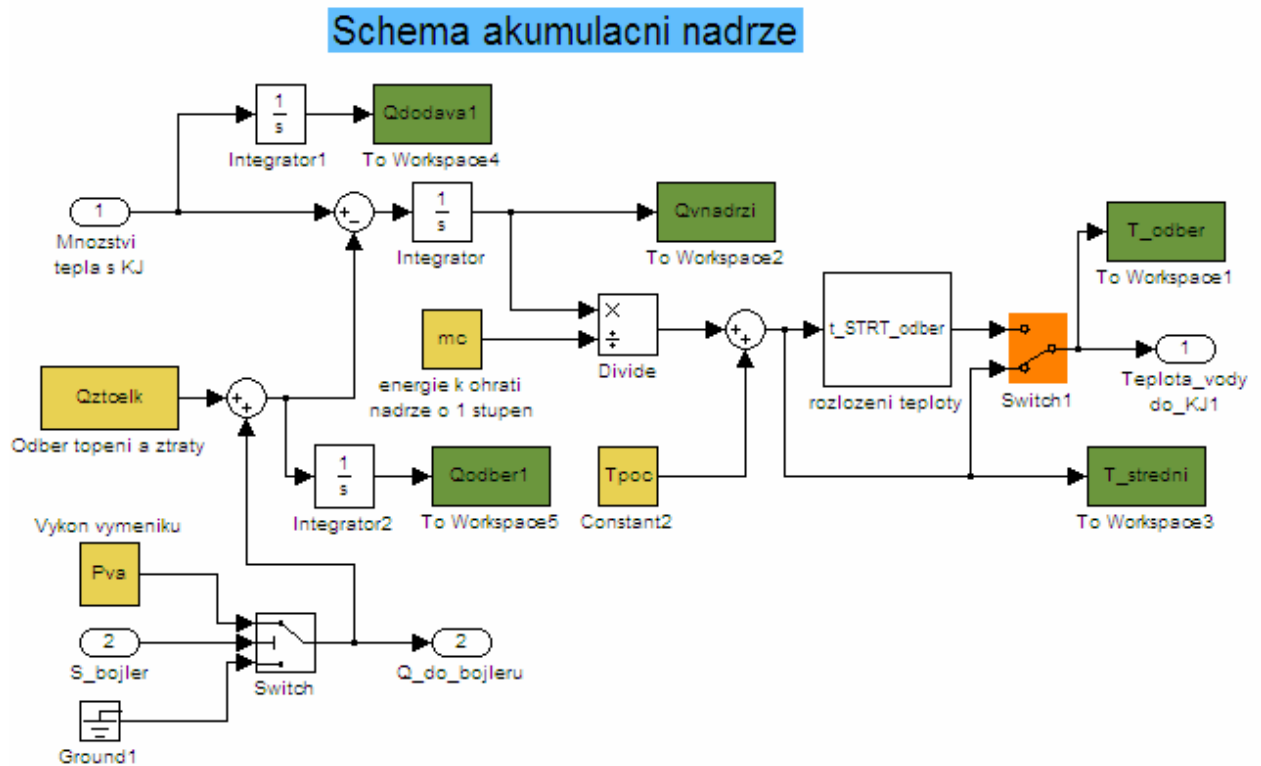


Obr. 8-8 Velikost dodaného výkonu z KJ

Narozdíl od zimního provozu je doba běhu kogenerační jednotky mnohem kratší. Dlouhý impulz na začátku slouží k nahřátí akumulaci nádrže do provozního stavu.

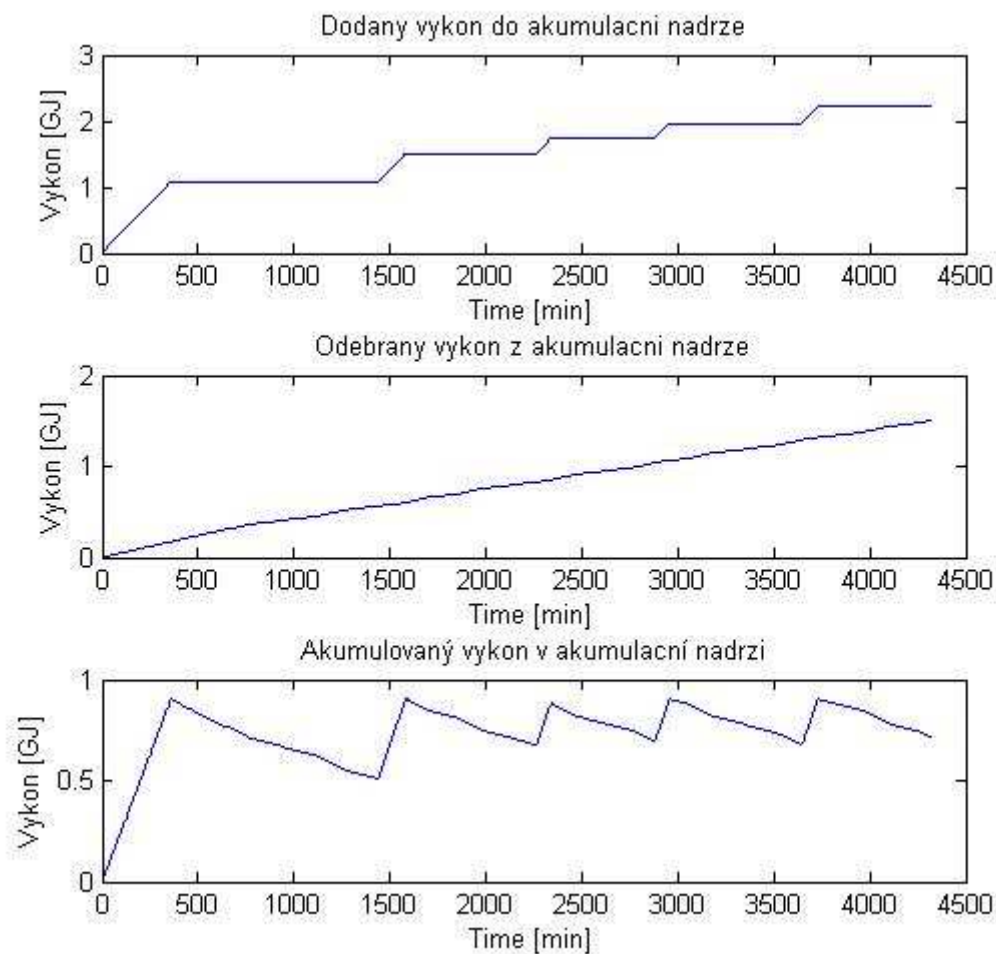
8.2.2 Schéma akumulční nádrže

Narozdíl od zimního provozu není potřeba nahřívát akumulční nádrž celou, proto můžeme nahřívát pouze část nádrže.



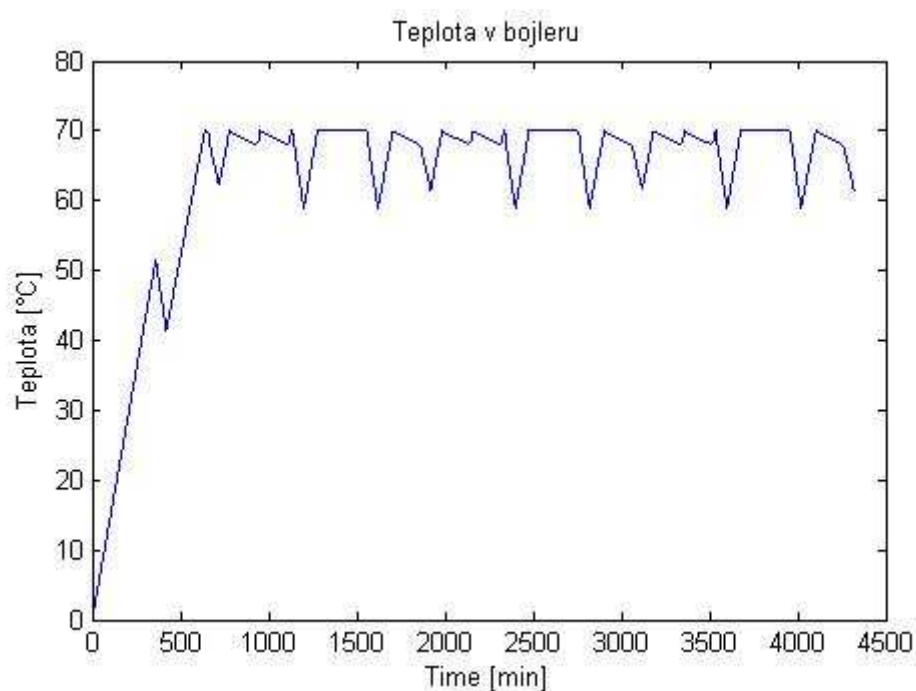
Obr. 8-9 Schéma akumulční nádrže – letní provoz

Akumulční nádrž se musí neustále dohřívát na teplotu okolo 80°C, abychom získali dostatečný teplený spád pro ohřev teplé užitkové vody. Dále také musíme uvažovat ztráty způsobené přestupem tepla z akumulční nádrže do okolí.



Obr. 8-10 Dodávaný, odebíraný a akumulovaný výkon v nádrži – letní provoz

8.2.3 Schéma bojleru



Obr. 8-11 Teplota v bojleru - letní provoz

Teplota v bojleru má podobný průběh jako v zimním provozu. Výkyvy jsou způsobeny velkým odběrem teplé vody. Chvilí potrvá než se voda opět dohřeje na požadovanou teplotu.

8.3 Zhodnocení stavu letního a zimního provozu

V reálném provozu nemusíme odebírat chladicí vodu ze středu nádrže, ale můžeme ji odebírat ze spodu. Dobu provozu kogenerační jednotky nastavujeme pomocí časových hodin. Využívat akumulární nádrž na její plnou kapacitu však nese riziko, že v letním provozu nebudeme schopní snížit teplotu akumulární nádrže na tolik, abychom mohly provozovat kogenerační jednotku jako v zimním provozu

V letním provozu musíme udržovat v akumulární nádrži teplotu kolem 80°C, abychom získali dostatečný tepelný spád, a proto i když máme v akumulární nádrži velké množství tepelné energie, musíme ji neustále dohřívat. Z toho vyplývá, že teplota v bojleru má podobný průběh teplot jak v zimním tak v letním provozu.

9 NÁKLADY NA ÚPRAVY KJ

V této kapitole se pokusíme odhadnout přibližné náklady na optimalizaci kogeneračních jednotek. Provedeme odhad pro každou kogenerační jednotku zvlášť. Budeme uvažovat pouze ceny za materiál nikoliv cenu za práci.

9.1 Náklady na kogenerační jednotku MT 22

Při optimalizaci této jednotky budou největší náklady na pořízení akumulární nádrže a pořízení externího výměníku. Dále budeme pořizovat spojovací materiál a trubky. Další součástí, která bude potřeba, je oběhové čerpadlo.

Tab. 9-1 Tabulka přepokládaných nákladů pro MT22 varianta 1

Položka	Cena Kč
Bojler	7000-11000
Výměník 40kW	12000
Oběhové čerpadlo	2500
	21500-25500

Tab. 9-2 Tabulka přepokládaných nákladů pro MT22 varianta 2

Položka	Cena Kč
Akumulární nádrž nerezová 205 litů	13000
Výměník 40kW	12000
Oběhové čerpadlo	2500
Topné těleso (příslušný materiál)	2300
	29800

Provedli jsme návrh dvou variant možností provedení. První varianta uvažuje, že si pořídíme bojler a výměník. Bojler bude mít v sobě zároveň topné těleso pro záložní ohřev. Druhá možnost je pořízení samostatné nádoby a výměníku a topného tělesa samostatně. Topné těleso bude umístěno mimo akumulární nádrž na teplou užitkovou vodu. Cena spojovacího materiálu závisí na umístění bojleru (akumulární nádrže) v objektu a není započítána do ceny.

9.2 Náklady na kogenerační jednotku o výkonu 45kW

Při optimalizaci této jednotky budou největší náklady na pořízení akumulární nádrže a pořízení externího výměníku. Dále vzniknou pořizovací náklady na oběhové čerpadlo, další náklady na trubky a spojovací materiál. V tomto případě použijeme samostatnou nádrž, proto ještě potřebujeme náhradní zdroj tepelné energie. V našem případě použijeme jako zdroj topné energie topné těleso.

Tab. 9-3 Tabulka nákladů pro kogenerační jednotku o výkonu 45kW

Položka	Cena Kč
Akumulační nádrž nerezová 205 litů [zdroj]	13000
Oběhové čerpadlo	2500
Topné těleso (příslušný materiál)	2300
Materiál (trubky, spojovací materiál)	5000
Výměník	5000
	27800

Narozdíl od kogenerační jednotky MT22 je rekonstrukce částečně již provedena. Zbývá už jen provést konstrukci výměníku a zapojit do tepelné obvodu, kde je prozatím umístěn provizorní výměník.

9.3 Zhodnocení nákladů

Každá kogenerační jednotka má různé náklady na provedení optimalizace. Ceny jsou uváděny s DPH. Ceny jsou pouze orientační a mohou se změnit. Ceny u kogenerační jednotky MT22 se pohybují v rozmezí od 21 500 Kč do 29 800 Kč a to bez nákladů na trubky a spojovací materiál. U kogenerační jednotky se náklady pohybují okolo 27 800 Kč. V cenách dále není započítána práce.

10 ZÁVĚR

V této práci jsme se seznámili se základními typy pohonů generátorů u kogeneračních jednotek. Tyto pohony jsme si popsali pouze orientačně, abychom poznali různé druhy kogeneračních jednotek.

V další části jsme se zabývali dvěma typy kogeneračních jednotek. Jednak kogenerační jednotkou TEDOM MT 22 A a kogenerační jednotkou o výkonu 45 kW sestavenou z motoru zetor a asynchronním generátorem. Jelikož se jedná o již existující typy kogeneračních jednotek, provedli jsme místní šetření a vytvoření tepelného schématu. Dále jsme sestavili varianty, za kterých může být tepelná soustava provozována.

Provedli jsme simulaci pomocí programu Matlab a Simulink. Pro oba typy kogeneračních jednotek. Dále jsme rozlišovali provoz v zimním a letním období. U kogenerační jednotky jsme navrhli přidání velkého výměníku do obvodu v době letního provozu a výměnu bojleru. Výhoda je v rychlém nahřátí bojleru, a proto nepotřebujeme dlouhý provoz kogenerační jednotky.

U kogenerační jednotky jsme provedli výměnu bojleru a zvětšení výkonu výměníku pro ohřev teplé užitkové vody. Narozdíl od kogenerační jednotky MT22 musíme neustále nahřívat akumulární nádrž a jsou i v letním provozu značné ztráty. I když se jedná o ztráty, tak je dále využíváme pro vytápění prostoru s kogenerační jednotkou a přilehlé dílny, a tedy využíváme veškeré teplo s kogenerační jednotky.

V poslední kapitole jsme se zabývali náklady na úpravu pro optimalizaci zimního a letního provozu. V této kapitole jsou zobrazeny předpokládané náklady optimalizaci kogenerační jednotky MT22 a náklady, které stála optimalizace kogenerační jednotky o výkonu 45kW. U kogenerační jednotky o výkonu 45kW je sice započítána cena výměníku, ale tento výměník jako jediná část nebyl ještě zakoupen.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KRBEK, J., POLESNÝ, B. Kogenerační jednotky - Zařizování a provoz, Praha 2007, str. 5-73, ISBN 978-80-7328-151-9
- [2] KRBEK, J., POLESNÝ, B. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích, Praha 1997, ISBN 80-214-0889-8
- [3] BAŠATA, J., ALTMAN, F., FOGAR, P., ŠTOCHL, J., BROŽ, K., VALOUŠEK, R., LENKVIK, J., KOBOSIL, P., JEHLIČKA, J. Kogenerační jednotky a jejich použití : Praha, 22.10.1997 : sborník ze semináře, Praha 1997, ISBN 80-02-01185-6
- [4] OCHRANA, L. Kotle a výměníky tepla, Praha 2004, ISBN 80-214-2847-3
- [5] CIKHART, J. Výměníky tepla v tepelných sítích, Praha 1976
- [6] Tedom : *Co je kogenerace - Jak pracuje kogenerační jednotka* [online]. [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://kogenerace.tedom.cz/co-je-kogenerace-kogeneracni-jednotka.html>>.
- [7] Tedom : *Výhody kogenerace* [online]. [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://kogenerace.tedom.cz/vyhody-kogenerace.html>>.
- [8] Tedom : *Kogenerační jednotky* [online]. [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <http://kogenerace.tedom.cz/kj_tedom.html>.
- [9] Tedom : *Přehled kogeneračních jednotek vyráběných firmou TEDOM*, 1998
- [10] Tedom : *Technická specifikace kogenerační jednotky TEDOM MT-45*, Příloha 7 1998
- [11] REINBERK, Z. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody* [online]. ČVUT, fakulta stavební, 14.2.2003 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=47&h=38>>.
- [12] KUPKA, L. *Matlab & Simulink : úvod do použití*. Lanškroun : SOŠ a SOU Lanškroun, 2007. 168 s. ISBN 978-80-239-8871-0.
- [13] KUPKA, L., JANAČEK J. *Matlab & Simulink : řešené příklady*. Lanškroun : SOŠ a SOU Lanškroun, 2007. -- 224 s. :. ISBN: 978-80-239-9532-9 (brož.)
- [14] HORBAJ P., LUKÁČ P., MIKOLAJ D. *Zásobovanie teplom*. Vyd. 1.. Košice : Technická univerzita, Strojnícka fakulta, Katedra energetickej techniky, 2005. 249 s. :. ISBN: 80-8073-304-X (váz.).
- [15] ŘEHÁNEK J. *Tepelná akumulace budov*. 1. vyd.. Praha : ČKAIT, 2002. 276 s. :. ISBN: 80-86364-59-3 (váz.)
- [16] Reflex : *Výměníky tepla* [online]. 2006-2009 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <<http://www.reflexcz.cz/?page=products3>>.
- [17] KUTATELADZE, S., BORISANSKIJ, V. *Příručka sdílení tepla*. přeložil Ing, Miroslav Hibš. [s.l.] : [s.n.], 1962. 528 s.
- [18] *Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit* [online]. Dostupný z WWW: <<http://vytapani.tzb-info.cz/t.py?t=16&i=25&ph=13&pl=-1&pz=-1>>.
- [19] REINBERK, Z. *Potřeba tepla pro vytápění a ohřev teplé vody-help* [online]. ČVUT, fakulta stavební, 14.2.2003 [cit. 2009-05-17]. Dostupný z WWW: <http://vytapani.tzb-info.cz/docu/tabulky/0000/000047_vythelp.html#_ho>.

Příloha A Venkovní výpočtové teploty a otopná období dle lokalit [18]

Lokalita(místo měření)	Nadmoř- ská výška	Venkovní výpočtová teplota	Otopné období pro					
			$t_{em}=12\text{ °C}$		$t_{em}=13\text{ °C}$		$t_{em}=15\text{ °C}$	
			t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
	h	t_e	t_{es}	d	t_{es}	d	t_{es}	d
	[m]	[°C]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]	[°C]	[dny]
Benešov	327	-15	3,5	234	3,9	245	5,2	280
Beroun (Králov Dvůr)	229	-12	3,7	225	4,1	26	5,3	268
Blansko (Dolní Lhota)	273	-15	3,3	229	3,7	241	5,1	275
Brno	227	-12v	3,6	222	4,0	232	5,1	263
Bruntál	546	-18v	2,7	255	3,3	271	4,8	315
Břeclav (Lednice)	159	-12	4,1	215	4,4	224	5,2	253
Česká Lípa	276	-15	3,3	232	3,8	245	5,1	282
České Budějovice	384	-15	3,4	232	3,8	244	5,1	279
Český Krumlov	489	-18v	3,1	243	3,5	254	4,6	288
Děčín (Březiny, Libverda)	141	-12	3,8	225	4,2	236	5,5	269
Domažlice	428	-15v	3,4	235	3,8	247	5,1	284
Frýdek-Místek	300	-15v	3,4	225	3,8	236	5,1	269
Havlíčkův Brod	422	-15v	2,8	239	3,3	253	4,9	294
Hodonín	162	-12	3,9	208	4,2	215	5,1	240
Hradec Králové	244	-12	3,4	229	3,9	242	5,2	279
Cheb	448	-15	3,0	246	3,6	262	5,2	306
Chomutov (Ervěnice)	330	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264
Chrudim	276	-12v	3,6	225	4,1	238	5,9	276
Jablonec nad Nisou	502	-18v	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Jičín (Libáň)	278	-15	3,5	223	3,9	234	5,2	268
Jihlava	516	-15	3,0	243	3,5	257	4,8	296
Jindřichův Hradec	478	-15	3,0	242	3,5	256	5,0	296
Karlovy Vary	379	-15v	3,3	240	3,8	254	5,1	293
Karviná	230	-15	3,6	223	4,0	234	5,3	267
Kladno (Lány)	380	-15	4,0	243	4,5	258	5,0	300

Klatovy	409	-15v	3,4	235	3,9	248	5,2	286
Kolín	223	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Kroměříž	207	-12	3,5	217	3,9	227	5,1	258
Kutná Hora (Kolín)	253	-12v	4,0	216	4,4	226	5,9	257
Liberec	357	-18	3,1	241	3,6	256	5,1	298
Litoměřice	171	-12v	3,7	222	4,1	232	5,2	263
Louny (Lenešice)	201	-12	3,7	219	4,1	229	5,2	260
Mělník	155	-12	3,7	219	4,1	229	5,3	261
Mladá Boleslav	230	-12	3,5	225	3,9	235	5,1	267
Most (Ervěnice)	230	-12v	3,7	223	4,1	233	5,2	264
Náchod (Kleny)	344	-15	3,1	235	3,7	250	4,8	292
Nový Jičín	284	-15v	3,3	229	3,8	242	5,2	280
Nymburk (Poděbrady)	186	-12v	3,8	217	4,2	228	5,5	262
Olomouc	226	-15	3,4	221	3,8	231	5,0	262
Opava	258	-15	3,5	228	3,9	232	5,2	274
Ostrava	217	-15	3,6	219	4,0	229	5,2	260
Pardubice	223	-12v	3,7	224	4,1	234	5,2	265
Pelhřimov	499	-15v	3,0	241	3,6	257	5,1	300
Písek	348	-15	3,2	235	3,7	247	5,0	284
Plzeň	311	-12	3,3	233	3,6	242	4,8	272
Praha (Karlovy)	181	-12	4,0	216	4,3	225	5,1	254
Prachatice	574	-18v	3,3	253	3,8	267	5,1	307
Prostějov	226	-15	3,4	220	3,9	228	5,0	261
Přerov	212	-12	3,5	218	3,5	252	5,1	259
Příbram	502	-15	3,0	239	3,8	230	4,9	290
Rakovník	332	-15	3,4	232	4,0	250	5,7	297
Rokycany (Příbram)	363	-15	3,0	239	3,5	252	4,9	290
Rychnov n/Kněžnou	325	-15	3,0	241	3,5	254	4,8	291
Semily (Libštát)	334	-18v	2,8	243	3,4	259	4,7	303
Sokolov	405	-15v	3,4	239	3,9	254	5,4	297
Strakonice	392	-15	3,3	236	3,8	249	5,2	288

Svidník	220	-18v	2,7	224	3,0	237	4,3	269
Svitavy	447	-15	2,9	235	3,4	248	4,8	286
Šumperk	317	-15v	3,0	230	3,5	242	5,2	277
Tábor	480	-15	3,0	236	3,5	250	5,0	289
Tachov (Stříbro)	496	-15	3,1	237	3,6	250	5,0	289
Teplice	205	-12v	3,8	221	4,1	230	5,3	261
Trutnov	428	-18	2,8	242	3,3	257	5,0	298
Třebíč (Bítovánky)	406	-15	2,5	247	3,1	263	4,6	306
Uherské Hradiště	181	-12v	3,2	222	3,6	233	5,0	266
Ústí nad Labem	145	-12v	3,6	221	3,9	229	5,0	256
Ústí nad Orlicí	332	-15v	3,1	238	3,6	251	4,9	289
Vsetín	346	-15	3,2	225	3,6	236	4,9	270
Vyškov	245	-12	3,3	219	3,7	229	4,9	260
Zlín (Napajedla)	234	-12	3,6	216	4,0	226	5,1	257
Znojmo	289	-12	3,6	217	3,9	226	5,2	256
Žďár nad Sázavou	572	-15	2,4	252	3,1	270	4,7	318

Příloha B Soubor se zadanými hodnotami pro KJ MT 22

```
clc
clear all
Provoz=0; %0=letní 1=zimní
cas=60; % na ose x bude čas v minutách

% Kogenerační jednotka:
Q=43000; %Tepelný výkon KJ
if (Provoz==1)
    trozb=720; %doba prvního zapnutí KJ v minutách (zimní)
end
if (Provoz==0);
    trozb=200 %doba prvního zapnutí KJ v minutách (letní)
end
Qkj=Q*cas;

%Akumulační nádrž
if (Provoz==1)
    Qtop=4.25428; %Množství tepelné energie na vytápění
    Qzt=4; %Množství tepelných ztrát v KW
end
if (Provoz==0)
    Qtop=0; % Množství tepelné energie na topení v kW
    Qzt=0; % Množství tepelných ztrát v kW
end
m=4600; %Množství vody v AN v kg (při hustotě 1000)
c=4186.7; % Měrná tepelná kapacita
Tpoc=30; % Počáteční teplota v nádrži
mc=m*c; % Množství energie určitém množství vody
Qztcelk=(Qtop+Qzt)*1000*cas; % Odběr pro vytápění a ztráty

%Výměník 10kW
Pv1=10000;
```

```
Pv1a=Pv1*cas;
Pv2=500;
Pv2a=Pv2*cas;
if (Provoz==0)
    Pv1a=0;
    Pv2a=0;
end
% Rozložení teploty
qpom=150000;
troz=0.5;
for (x=1:149)
    roz (x,1)=x;
    if (x<75);
        roz (x,2)=0.1*30*(sqrt(75^2-(75-x)^2)*2/10);
    end
    if (x==75);
        roz (x,2)=0.1*30*(sqrt(75^2-(0)^2)*2/10);
    end
    if (x>75);
        roz (x,2)=0.1*30*(sqrt(75^2-(x-75)^2)*2/10);
    end
    roz (x,3)=qpom/(roz (x,2)*c)-troz;
end
% Bojler
poclid=4; % Počet lidí v domácnosti
losobu=82; % Počet litrů vody na osobu
velboj=200;
z=2; % Ztráty na rozvodech teplé vody
qboj=velboj*c*z;
% Výměník nový
Pvnew=40000;
Pvnew1=Pvnew*cas;
```


Příloha C Soubor se zadanými hodnotami pro KJ 45kW

```
clc
clear all
Provoz=0; %0=letní 1=zimní
cas=60; % na ose x bude čas v minutách
%Kogenerační jednotka:
Q=50000; %Tepelný výkon KJ
if (Provoz==1)
    trozb=720; %doba prvního zapnutí KJ v minutách (zimní)
end
if (Provoz==0);
    trozb=400 %doba prvního zapnutí KJ v minutách (letní)
end
Qkj=Q*cas;

%Akumulační nádrž
if (Provoz==1)
    Qtop=4.25428; %Množství tepelné energie na topení v kW
    Qzt=7; % Množství tepelných ztrát v kW
end
if (Provoz==0)
    Qtop=0; % Množství tepelné energie na topení v kW
    Qzt=4; % Množství tepelných ztrát v kW
end
m=5400; % Množství vody v AN v kg (při hustotě 1000)
c=4186.7; % Měrná tepelná kapacita
Tpoc=30; % Počáteční teplota v nádrži
mc=m*c; % Množství energie určitém množství vody

Qztcelk=(Qtop+Qzt)*1000*cas; % Odběr pro vytrpění a ztráty

%Výměník
Pv=4000;
```

$P_{va}=P_v \cdot c_{as};$

% Rozložení teploty

qpom=150;

troz=0.5;

for (x=1:149)

roz (x,1)=x;

if (x<25);

roz (x,2)=0.02*1*1;

end

if (x>24);

if (x<85);

roz (x,2)=0.02*1.25*1.25+0.02*1*1;

end

end

if (x>84);

roz (x,2)=0.02*1.25*1.25;

end

roz (x,3)=qpom/(roz (x,2)*c)-troz;

end

%boler

poclidi=5; % Počet lidí v domácnosti

losobu=82; % Počet litrů vody na osobu

velboj=200;

z=2; % Ztráty na rozvodech teplé vody

qboj=velboj*c*z;

Příloha D Soubor po vykreslení grafů

```
%grafy
figure (1)
plot(tout,T_bojler)
ylabel('Teplota [°C]')
xlabel('Time [min]')
title('Teplota v bojleru') % popis grafu

figure (2)
subplot(3,1,1);
plot(tout,Qdodava1/1e9);
ylabel('Vykon [GJ]')
xlabel('Time [min]')
title('Dodany vykon do akumulacni nadrze') % popis grafu
subplot(3,1,2);
plot(tout,Qodber1/1e9);
ylabel('Vykon [GJ]')
xlabel('Time [min]')
title('Odebrany vykon z akumulacni nadrze') % popis grafu
subplot(3,1,3);
plot(tout,Qvnadrzi/1e9);
ylabel('Vykon [GJ]')
xlabel('Time [min]')
title('Akumulovaný vykon v akumulacní nadrzi') % popis grafu

figure (3)
plot(tout,Qdodava/1e6)
ylabel('Vykon [MJ]')
xlabel('Time [min]')
title('Dodavane teplo z KJ') % popis grafu

figure (4)
plot(tout,T_stredni)
ylabel('Teplota [°C]')
xlabel('Time [min]')
title('Stredni teplota ') % popis grafu
```