



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

**IMPLEMENTACE KOGENERACNÍ JEDNOTKY DO SÍTI
"SMART HEATING AND COOLING NETWORKS"**

IMPLEMENTATION OF COGENERATION UNIT IN "SMART HEATING AND COOLING NETWORKS"

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Patrik Uhrík

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Martin Lisý, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání diplomové práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Bc. Patrik Uhrík**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Energetické inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Martin Lisý, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Implementace kogenerační jednotky do sítě "Smart Heating and Cooling Networks"

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem diplomové práce bude implementace výpočtového modelu kogenerační jednotky do celkové koncepce inteligentního regionu ve vazbě na síť rozvodu tepla a chladu.

Cíle diplomové práce:

Zpracovat teoretický popis problematiky provozu kogeneračních jednotek zaměřený především na vyvedení tepelného výkonu.

Zpracovat implementační výpočtový model kogenerační jednotky jako podklad pro nadřazený model celé sítě rozvodu tepla a chladu.

Provést srovnání výpočtového modelu kogenerační jednotky s provozními daty z konkrétní lokality.

Seznam literatury:

KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. Zásobování teplem a kogenerace. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1347-6.

KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích. Brno: PC-DIR, 1997, 100 s.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Cieľom diplomovej práce bolo vytvoriť výpočtový model pre zaradenie kogeneračnej jednotky do chytrej tepelnej siete. Kvôli lepšiemu využitiu odpadného tepla z kogeneračnej jednotky v letnom období, bol k vybranej kogeneračnej jednotke MOTORGAS MGM250 nadimenzovaný absorpčný obeh a zhotovený výpočtový model trigenerácie.

V teoretickej časti práce bola popísaná funkcia, prevádzka a vyvedenie tepelného výkonu kogeneračnej jednotky, ako aj vhodnosť spojenia kogeneračnej a absorpčnej jednotky v letnom období.

V praktickej časti došlo k porovnaniu prevádzkových dát areálu Fakulty strojního inžinýrství Vysokého učení technického v Brně a dát z vytvorených výpočtových modelov kogenerácie a trigenerácie. Na základe tohto porovnania boli vyvedené výsledky vhodnosti použitia oboch výpočtových modelov.

Abstract

The aim of the Master's thesis was to create a computational model for integration of the cogeneration unit into the smart thermal network. For the better use of waste heat from the selected cogeneration unit MOTORGAS MGM250 during the summer period, the absorption circuit was dimensioned and the appropriate trigeneration computational model was formed.

In the theoretical part, the function, operation and heat performance of the cogeneration unit as well as the suitability of the connection of the cogeneration unit with the absorption chiller during the summer period were described.

In the practical part, the operational data of the Faculty of Mechanical Engineering of the Brno University of Technology and the theoretical performance data from created cogeneration and trigeneration computational models were compared. Based on this comparison, the conclusion about the suitability of use of both computational models was made.

Kľúčové slová

kogeneračná jednotka, kogenerácia, absorpčná jednotka, trigenerácia, chytré tepelné siete, výpočtový model

Keywords

co-generation unit, cogeneration, absorption chiller, trigeneration, smart heating and cooling networks, computational model

Bibliografická citácia

UHRÍK, P. *Implementace kogenerační jednotky do sítě "Smart Heating and Cooling Networks"*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 81 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Martin Lisý, Ph.D..

Prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som predloženú diplomovú prácu na tému: *Implementace kogeneracni jednotky do siti "Smart Heating and Cooling Networks"*, vypracoval samostatne s použitím uvedenej literatúry a ďalších informačných zdrojov.

V Brne dňa

.....
(vlastnoručný podpis)

Pod'akovanie

Tento list by som rád venoval pod'akovaniu vedúcemu mojej diplomovej práce Ing. Martinovi Lisému, Ph.D., za odborné konzultácie, ktoré mi poskytol pri jej vypracovaní. Taktiež by som chcel pod'akovať doc. Ing. Petrovi Tomáškov, Ph.D., za rady pri riešení matematickej problematiky tejto práce.

V neposlednej rade chcem týmto vyjadriť vďaku svojim rodičom a priateľom za ich podporu pri mojom štúdiu.

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Kogenerácia a kogeneračné jednotky	12
2.1	Obecný popis kogenerácie	12
2.1.1	Vymedzenie pojmov	12
2.1.2	Úspora primárnych energetických zdrojov	12
2.2	Popis kogeneračnej jednotky	15
2.2.1	Konštrukčné usporiadanie	16
2.2.2	Spôsoby konštrukčného prevedenia kogeneračných jednotiek	17
2.2.3	Rozdelenie a oblasť uplatnenia kogeneračných jednotiek	17
2.3	Kogeneračné jednotky na spaľovanie plyných palív- plynová kogenerácia	18
2.3.1	Spaľovacie motory na spaľovanie plyných palív	20
2.3.2	Úprava spaľovacích motorov pre kogeneráciu.....	20
2.3.3	Generátor kogeneračnej jednotky so spaľovacím motorom.....	21
2.3.4	Prevádzka a údržba.....	21
2.3.5	Emisie škodlivých látok	22
2.4	Vyvedenie tepelného výkonu z kogeneračných jednotiek	22
2.4.1	Kogenerácia.....	22
2.4.2	Trigenerácia.....	25
2.5	Legislatíva v oblasti kogeneračných jednotiek (podpora KVET)	27
2.6	Kombinovaná výroba el. energie a tepla (KVET) v ČR.....	31
2.6.1	Elektrizačná sústava	31
2.6.2	Tepelná sústava	33
2.7	Zhrnutie	34
3	Smart Heating and Cooling network.....	35
3.1	Obecný popis	35
3.2	Meranie spotreby energií	36
3.3	Potreba tepla a dimenzovanie kogeneračnej jednotky so spaľovacím motorom.....	38
3.3.1	Potreba tepla	38
3.3.2	Doba využitia kogeneračnej jednotky	39
3.3.3	Prínos trigenerácie.....	41
3.4	Zhrnutie	43
4	Implementačný model kogeneračnej jednotky	44
4.1	Kogeneračná jednotka MOTORGAS MGM250	44
4.1.1	Základné údaje	44
4.1.2	Technické dáta.....	45

4.1.3	Grafické závislosti a ich funkcie	46
4.2	Zapojenie kogeneračnej jednotky s absorpčnou jednotkou	49
4.3	Výpočet absorpčného obehu	50
4.4	Chladiaci a tepelný výkon pri trigenerácii	57
4.4.1	Trigenerácia bez regulácie chladiaceho a tepelného výkonu	57
4.4.2	Trigenerácia s reguláciou chladiaceho a tepelného výkonu	59
4.5	Zaradenie do nadriadeného systému	62
4.5.1	Obecný popis	62
4.5.2	Samostatne pracujúca kogeneračná jednotka	63
4.5.3	Prevádzka pri spojení kogeneračnej a absorpčnej jednotky	64
5	Porovnanie výpočtového modelu s prevádzkovými dátami	68
5.1	Použitie výpočtového modelu kogenerácie	68
5.2	Použitie kombinácie výpočtového modelu kogenerácie a trigenerácie	70
5.3	Zhrnutie	73
6	Záver	74
7	Zoznam použitých zdrojov	75
8	Zoznam použitých skratiek a symbolov	78
9	Zoznam príloh	81

1 Úvod

V minulosti bola kvôli spoľahlivosti chodu a z ekonomických dôvodov do popredia stavaná predovšetkým centralizovaná výroba energií. V súčasnosti, s rozvojom technických prostriedkov pre distribuované meranie, riadenie a optimalizáciu siete, a taktiež kvôli snahe znižovania emisií a zvyšovania účinnosti energetických procesov, prechádzajú súčasné energetické sústavy premenou, v ktorej bývajú do energetických sietí výraznejšie zaraďované decentralizované zdroje el. energie a tepla. Zaradením týchto zdrojov dochádza k zníženiu strát pri prenose energií, ale aj k zvýšeniu bezpečnosti dodávky energií v danej lokalite, a tým k zlepšeniu stability siete.

Zber veľkého množstva dát a možnosť vzájomnej komunikácie medzi výrobnami a spotrebiteľmi umožňuje túto výrobu a spotrebu energií nielen vyúčtovať, ale taktiež modelovať a predvídať. Možnosť predikcie spotreby energie potom vedie k sofistikovanejšej prevádzke decentralizovaných zdrojov.

Kogeneračné jednotky (ďalej KJ) predstavujú progresívny energetický zdroj, a to najmä kvôli možnosti využívania odpadnej tepelnej energie pri generovaní elektriny. V prípade voľby KJ s piestovým spaľovacím motorom sa tento zdroj vyznačuje širokým rozmedzím výkonov, čo umožňuje jeho vhodné použitie v decentralizovanej výrobe. Keďže sa v prípade KJ jedná o kombinovanú výrobu tepla a el. energie (ďalej KVET), je pre tieto jednotky charakteristická vyššia účinnosť využitia energie z paliva. Ďalšími priaznivými vlastnosťami KJ so spaľovacím motorom pre použitie v decentralizovanej výrobe sú rýchle spúšťanie, stála pohotovosť a malé vonkajšie rozmery.

Problémom prevádzky KJ je ale jej premenlivé zaťaženie v priebehu roka, pretože odpadnú tepelnú energiu, ktorá vzniká u kogenerácie pri produkcii el. energie, je možné najefektívnejšie využiť vo vykurovacom období. V letnom období však významná časť tohto tepla nie je potrebná.

Riešením tohto problému je využitie nepotrebného tepla v letnom a prechodovom období na výrobu chladu v absorpčnej jednotke (ďalej AJ) po spojení s kogeneračnou jednotkou.

Následne je možné tento chlad využívať na zabezpečenie tepelnej pohody v klimatizovaných budovách. V týchto objektoch je v súčasnosti často používané kompresorové chladenie, kvôli čomu dochádza k zvýšenej spotrebe el. energie. Práve náhradou za chladenie absorpčnou jednotkou, by bolo možné túto energiu ušetriť, a taktiež by došlo k využitiu tepla z kogeneračnej jednotky v letnom období, a tým k zefektívneniu jej prevádzky v priebehu roka, čím by bol dosiahnutý zvýšený podiel vyrobenej el. energie z decentralizovaného zdroja.

Ešte je vhodné spomenúť, že v texte tejto práce je často užívaný pojem energetickej výroby a výroby energie, pričom správne by sa malo hovoriť o procese premeny jednej formy energie na inú, podľa zákona zachovania energie.

Táto diplomová práca vznikla v súvislosti s riešením projektu TE02000077 „Smart Regions - Buildings and Settlements. Information Modelling, Technology and Infrastructure for Sustainable Development“.

2 Kogenerácia a kogeneračné jednotky

2.1 Obecný popis kogenerácie

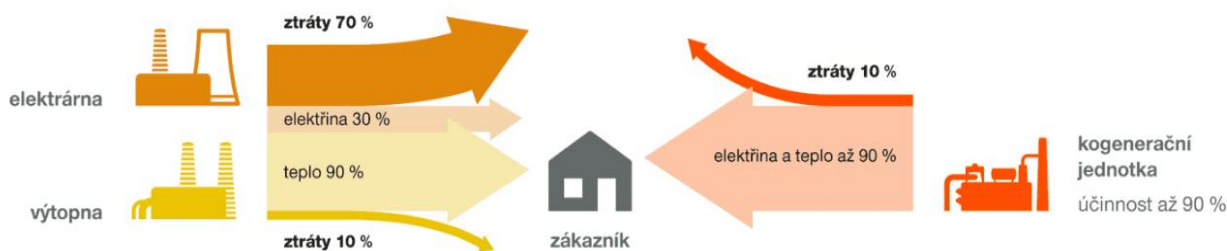
2.1.1 Vymedzenie pojmov

Kogenerácia predstavuje kombinovanú výrobu el. energie a tepla s hlavným účelom efektívnejšieho využitia energie v palive a šetrenia primárnych energetických zdrojov (ďalej PEZ). V literatúre sa taktiež môžeme stretnúť so skratkou KVET- kombinovaná výroba el. energie a tepla, prípadne je pojem kogenerácia zamieňaný s pojmom teplárenstvo, ktorý tiež predstavuje súčasnú výrobu elektrickej energie a tepla, avšak je skôr zažitý pre kogeneračné zdroje vyšších výkonov. ^[1]

Kogeneračná jednotka je súbor technologických zariadení slúžiacich k spoločnej, postupnej, alebo súčasnej výrobe el. energie a tepla, teda ku kogenerácii. ^[1]

2.1.2 Úspora primárnych energetických zdrojov

Ako už bolo spomenuté, dôležitou úlohou kogenerácie je šetrenie PEZ. Množstvo ušetrenej energie závisí od typu KJ ako aj od použitého paliva a ďalších aspektov, avšak teoretické hodnoty, ktoré uvádzajú rôzne literatúry sú si podobné.



Obrázok 2.1- Energetická bilancia oddelenej a súčasnej výroby energií [2].

Na obrázku 2.1 je viditeľné, že pri použití KJ dôjde k úspore paliva. Hlavným dôvodom, prečo je oddelená výroba energií stratavejšia, je vysoká miera nevyužitého odpadného tepla v kondenzačnej elektrárni.

Práve využívanie odpadného tepla pri produkcii el. energie v KJ má za následok vysokú účinnosť tohto zariadenia. Tým dochádza k šetreniu PEZ čo má súvis so znížením škodlivých emisií vznikajúcich pri transformácii PEZ do požadovaných foriem energie. Dôležité je však uviesť, že odpadná tepelná energia má nízku exergiu, tzn. nemá schopnosť vykonávať prácu a jej využitie je obmedzené len v určitej miere, ako je napr. vykurovacie obdobie. ^[1]

V letných mesiacoch, keď toto teplo nie je potreba dochádza k jeho mareniu v chladiči voda/vzduch bez akéhokoľvek úžitku, čo má za následok nasadzovanie menších jednotiek ako by bolo potrebné. Práve riešením tejto problematiky môže byť zapojenie AJ ku KJ. V období, keď je teplo nepotrebné sa použije k výrobe chladu a hovoríme o tzv. trigenerácii. ^[3]

Ilustratívne znázornenie šetrenia PEZ použitím KJ je možné vyjadriť aj pomocou jednoduchých matematických vzťahov. Hoci sú el. energia a teplo kvalitatívne rôzne druhy energií, vo vzťahoch sa uvádzajú v rovnakých merných jednotkách. ^[4]

Množstvo energie v palive potrebné k výrobe elektrickej energie v kondenzačnej elektrárni:

$$Q_{el} = \frac{E}{\eta_{elektr.}} [kJ] \quad (2.1)$$

E je vyrobená el. energia, $\eta_{elektr.}$ je účinnosť samostatnej výroby el. energie, $\eta_{el}=0,3$ podľa [2]

Množstvo energie spotrebované z paliva pri výrobe tepla vo výhrevni:

$$Q_{vyh} = \frac{Q}{\eta_{vyh}} [kJ] \quad (2.2)$$

Q je vyrobená tepelná energia, η_{vyh} je účinnosť samostatnej výroby tepla, $\eta_{vyh}=0,9$ podľa [2]

Spotreba energie z paliva pri kogenerácii:

$$Q_{KJ} = \frac{E + Q}{\eta_{KJ}} [kJ] \quad (2.3)$$

η_{KJ} je účinnosť KJ, $\eta_{KJ}=0,90$ podľa [2]

Na základe týchto rovníc je možné určiť úsporu energie v palive Q_u pri kogenerácii:

$$Q_u = \frac{E}{\eta_{elektr.}} + \frac{Q}{\eta_{vyh}} - \frac{E + Q}{\eta_{KJ}} [kJ] \quad (2.4)$$

Pričom podmienka pre úsporu paliva je $Q_u \geq 0$.

Pokiaľ predpokladáme zjednodušený prípad, že účinnosť výhrevne a KJ sú rovnaké (v skutočnosti sú si podobné), dostávame úpravou rovnice 2.4 nasledujúci vzťah: ;

$$\frac{Q_u}{Q} = \frac{E}{Q} \cdot \left(\frac{1}{\eta_{elektr.}} - \frac{1}{\eta_{KJ}} \right) [-] \quad (2.5)$$

Kde v rovnici 2.4 sa nachádza jeden z najdôležitejších ukazovateľov KJ, a to podiel vyrobenej el. energie a tepla v zariadení. Tento pomer je známy ako teplárenský modul s označením e . V anglicky písanej literatúre sa uvádza ako power/heat ratio. ^[4]

Teplárenský modul je teda:

$$e = \frac{E}{Q} [-] \quad (2.6)$$

Môžeme rovnicu 2.5 napísať v nasledujúcom tvare:

$$\frac{Q_u}{Q} = e \cdot \left(\frac{1}{\eta_{elektr.}} - \frac{1}{\eta_{KJ}} \right) [-] \quad (2.7)$$

Z ktorého je zrejmé, pri zachovaní zjednodušujúceho predpokladu $\eta_{KJ}=\eta_{vyh}$, že úspora z PEZ je priamoúmerná veľkosti parametra e . Pričom veľkosť teplárenského modulu závisí na prevedení KJ. ^[4]

Pokiaľ by sme však neuvažovali zjednodušený prípad, a teda $\eta_{KJ} \neq \eta_{vyh}$, potom by sme úpravou rovnice 2.4 dostali vzťah:

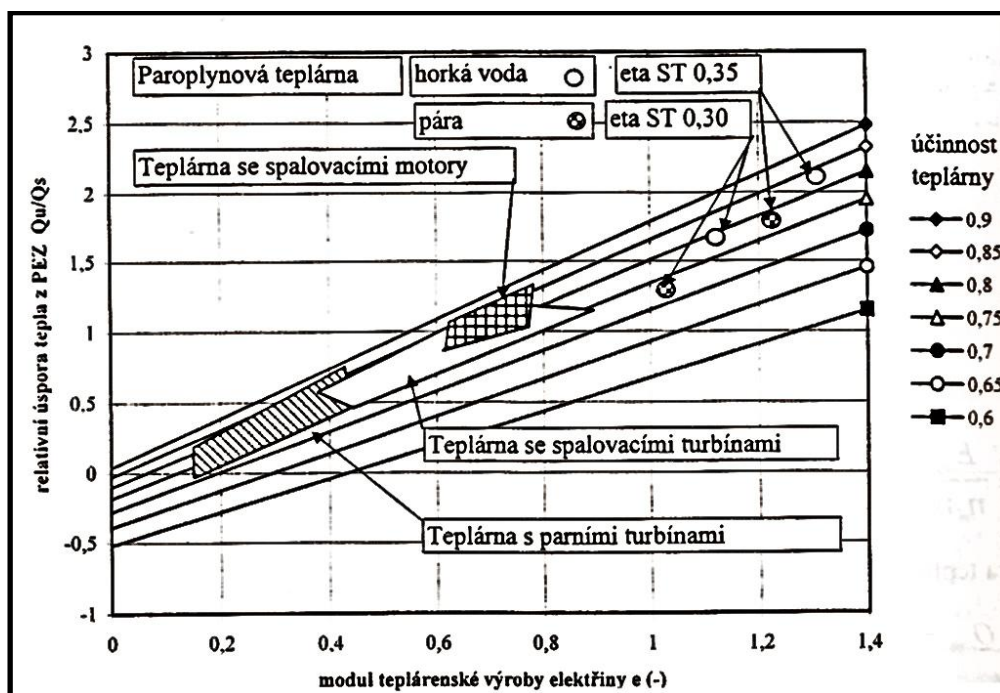
$$\frac{Q_u}{Q} = \left(\frac{1}{\eta_{vyh}} - \frac{1}{\eta_{KJ}} \right) + e \cdot \left(\frac{1}{\eta_{elektr.}} - \frac{1}{\eta_{KJ}} \right) [-] \quad (2.8)$$



Z rovnice 2.8 sa dá pozorovať, že pri návrhu KJ musí byť uplatnená snaha o čo najväčšiu celkovú účinnosť, aby bola dosiahnutá maximálna úspora PEZ. [4]

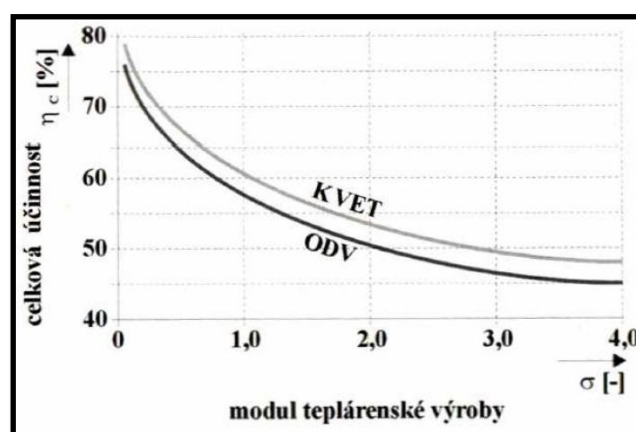
Zhodnotením predchádzajúcich rovníc je možné povedať, že KJ ktorá má vyššiu celkovú tepelnú účinnosť a väčšiu hodnotu parametra e , je šetrnejšia a dosahuje väčšiu úsporu PEZ.

V obrázku 2.2 je spomenuté zhodnotenie viditeľné na grafickej závislosti relatívnej úspory tepla (vzťahnutá na 1 GJ dodaného tepla) a parametra e . Jednotlivé body v diagrame predstavujú rôzne, v súčasnej dobe najpoužívané, kogeneračné technológie. [1]



Obrázok 2.2-Relatívna úspora tepla z PEZ pri kogenerácii [1].

Na použitej kogeneračnej technológii zásadným spôsobom závisí veľkosť teplárenského modulu e a sčasti aj celková účinnosť výroby el. energie a tepla η_c . [5]



Obrázok 2.3- Vplyv teplárenského modulu na celkovú účinnosť [5].

Na obrázku 2.3 je možné pozorovať aký má vplyv veľkosť teplárenského modulu na celkovú účinnosť. Krivka so skratkou KVET predstavuje kombinovanú výrobu energií, kdežto skratka ODV predstavuje oddelenú výrobu. Účinnosť KVET je v podstate pre všetky hodnoty parametra e vyššia, avšak pri nízkych hodnotách parametra e sa účinnosti KVET a ODV približujú.

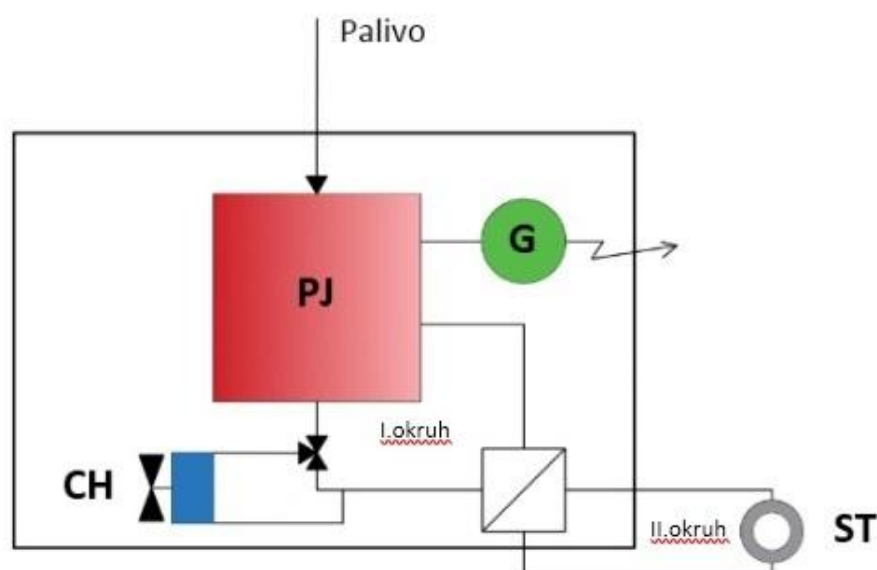
2.2 Popis kogeneračné jednotky

Ako už bolo spomenuté, KJ je súbor zariadení, v ktorých dochádza k premene energie uloženej v palive na energiu elektrickú a tepelnú, ktoré sú vyvedené v dopravovateľnej forme k spotrebiteľovi.

KJ pozostávajú zo štyroch základných častí: ^[4]

- Primárna pohonná jednotka (PJ)
- elektrický generátor (G) vrátane zariadenia pre pripojenie na spotrebiteľskú a verejnú sieť
- kotle alebo výmenníky vrátane pripojenia na tepelné rozvodné siete
- kontrolný a riadiaci systém

Nasledujúca schéma bola vytvorená na základe informácií zo zdrojov [1, 6].



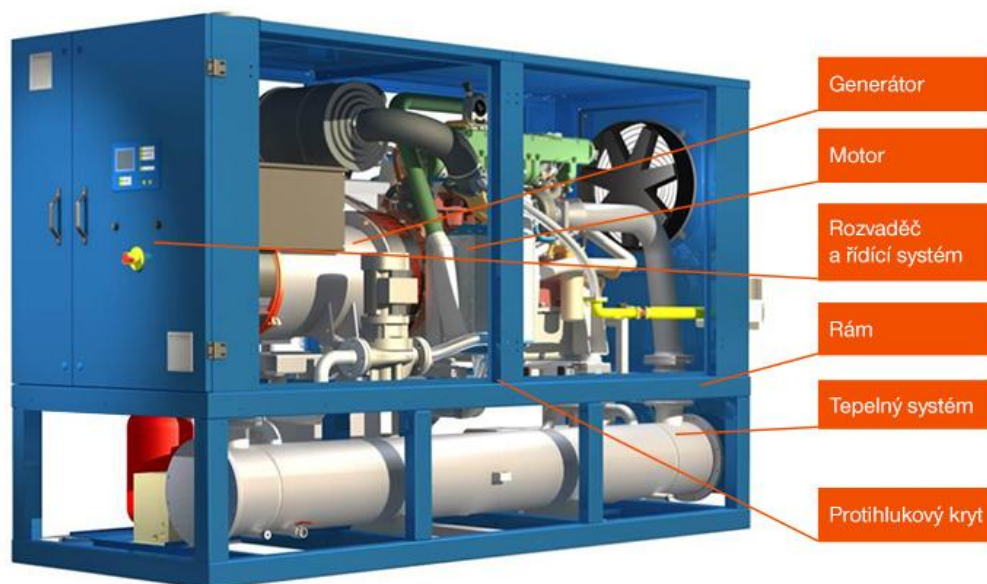
Obrázok 2.4- Bloková schéma KJ s piestovým motorom.

Na základe obrázku 2.4 je možné vysvetliť princíp KJ. Primárna pohonná jednotka PJ, často tepelný motor, je poháňaná palivom a roztáča pripojený generátor, v ktorom sa mení mechanická točivá energia na energiu elektrickú. Súčasne vzniká teplo, ktoré je potreba odvádzať minimálne tak, aby bol stroj schopný prevádzky. V prípade spaľovacích motorov je teplo odvádzané vo forme spalín a chladiacej kvapaliny bloku motoru. U PJ ako sú spaľovacie turbíny, je tepelná energia odvádzaná iba zo spalín, kdežto u parných turbín je teplo odvádzané priamo z expandovanej pary, alebo z parných odberov. Vo väčšine prípadov je tepelná energia z PJ predávaná vo výmenníku teplonosnej látky, ktorou býva v komunálnej sfére voda a v priemyselnej technologická para. Dôležité je však zmieniť, že aby bola KJ použiteľná, je potrebné teplo odoberať spotrebičom tepla ST, a to najlepšie konštantne za celú dobu prevádzky. Pre prípad rýchleho odstavenia PJ, alebo keď je nutné použiť KJ iba ako núdzový zdroj el. energie, sú často KJ vybavené núdzovým chladičom primárneho okruhu CH. ^[1]

U niektorých typov KJ je použité aj chladenie palivovej zmesi ohriatej jej stlačením pomocou turbodúchadla na vyšší tlak, kvôli optimálnemu spaľovaniu. Teplo odvádzané z tohto okruhu má veľmi nízky potenciál a je možné ho využiť v nízkoteplotných okruhoch napríklad na predohrev teplej úžitkovej vody (ďalej TUV), prípadne je marené vo vonkajšej chladiacej jednotke (výmenník voda- vzduch). ^[6]



2.2.1 Konštrukčné usporiadanie



Obrázok 2.5- KJ s popisom [6].

Na obrázku 2.5 je zobrazené kapotové prevedenie KJ so spaľovacím motorom zo stránok ČEZ ENERGO.

Motor s generátorom sú spojené v jeden celok a pomocou silenblokov uchytené k základovému rámu. Ich umiestnenie je v hornej časti rámu spolu s ostatným príslušenstvom. Základový rám je tvorený oceľovými zvarmi, pričom tepelný systém je spolu s tlmičom výfuku umiestnený v spodnej uzavretej časti. Hnací agregát a výmenníky sú spojené cez kompenzátory potrubím. ^[1]

Prevádzkou spaľovacích motorov však vznikajú nevyvážené sily a preto je potreba tieto motory umiestniť na špeciálne navrhnutý základ, ktorý absorbuje vzniknuté vibrácie.

Problémom je aj hluk a pokiaľ sa bavíme o spaľovacích motoroch, jedná sa najmä o nízko-frekvenčné zložky zvuku, ktoré majú nepríjemný dopad na ľudský sluch. Preto je celá jednotka umiestnená do kompaktnej skrine s protihlukovým prevedením a motory je nutné vybaviť kvalitnou hlukovou izoláciou. ^[4]

Riadiaci systém býva vybavený riadiacou jednotkou PJ, jednotkou pre paralelnú prevádzku s verejnou distribučnou sieťou, spätnou výkonovou ochranou a ďalšími riadiacimi a regulačnými prvkami umožňujúcimi ovládanie jednotky lokálne, ale aj diaľkovo pomocou PC, cez internet či mobilný telefón a tým zabezpečovať efektívne fungovanie celého energetického systému. ^[6]

Spolu s kogeneračnou jednotkou býva inštalovaná aj akumulčná nádrž, ktorá používa ako akumulčné médium teplú vodu. Jej úlohou je ukladanie tepla v dobe, keď je nižší odber tepla ako tepelný výkon KJ, alebo slúži k vyrovnaniu zvýšeného odberu tepla v priebehu odberových špičiek. Použitím akumulácie je zabezpečená kvalita dodávok tepla a taktiež sa predlžuje prevádzková doba KJ, čo má za následok zvýšenie efektivity prevádzky. Okrem toho môže akumulčná nádrž slúžiť k dodávke tepla, keď je KJ mimo prevádzky. ^[6]

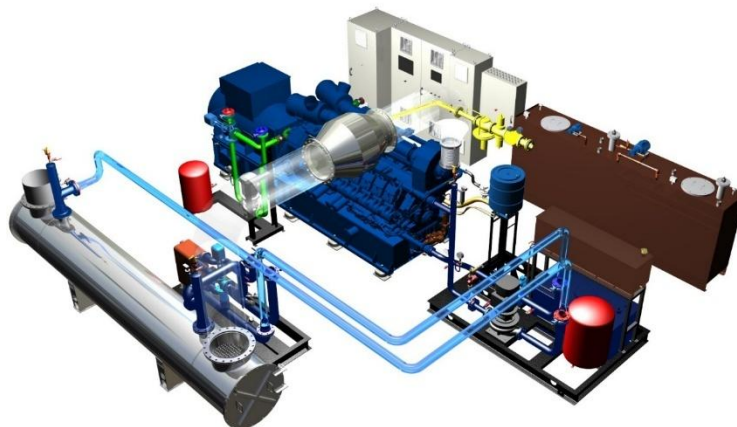
2.2.2 Spôsoby konštrukčného prevedenia kogeneračných jednotiek

- Kapotové prevedenie, ktoré je vhodné pre použitie v budovách, a to najmä kvôli nízkej hlučnosti, jednoduchosti a rýchlej inštalácii. Toto prevedenie je zobrazené na obrázku 2.5.
- Kontajnerové prevedenie, primárne používané pri externej inštalácii mimo objektov kvôli odolnosti voči poveternostným podmienkam. Prevedenie kontajneru môže byť oceľové ale aj betónové. [7]



Obrázok 2.6- Kontajnerové prevedenie KJ [7].

- Modulové prevedenie, je používané najmä u jednotiek väčších výkonov kvôli svojej variabilite a prispôsobivosti individuálnym požiadavkám zákazníka. [7]



Obrázok 2.7- Modulové usporiadanie KJ [7].

2.2.3 Rozdelenie a oblasť uplatnenia kogeneračných jednotiek

Rozdelení KJ podľa rôznych hľadísk je mnoho, avšak uviedol by som jedno z najpodstatnejších, a to podľa použitej primárnej pohonnej jednotky PJ: [4]

- parné turbíny
- spaľovacie turbíny
- spaľovacie motory (s vnútorným spaľovaním)
- paroplynové (kombinované) zariadenia

Vyvíjajúce sa PJ: [4]

- Stirlingove motory (spaľovanie paliva mimo motora)
- mikroturbíny
- zariadenia využívajúce ORC cyklus
- systém Talbott
- palivové články



Tab. 2.1- veľkosť teplárenského modulu pre rôzne KJ [1].

Primárna jednotka	Teplárenský modul e [-]
Parná turbína	0,1 až 0,45
Spaľovacia turbína	0,3 až 0,8
Spaľovací motor	0,65 až 0,8
Paroplynové zariadenie	0,9 až 1,4

V tabuľke 2.1 sú uvedené hodnoty teplárenského modulu pre najpoužívanjšie kogeneračné technológie v súčasnej dobe.

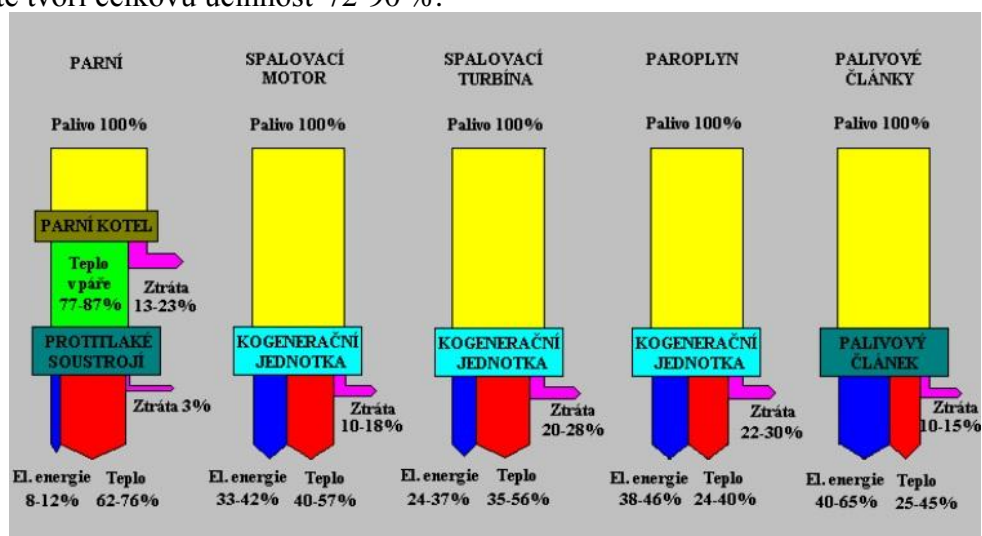
Ideálnym prípadom uplatnenia je prevádzka KJ s celoročnou potrebou tepla, kde sa využíva teplo technologicky a nie len počas sezónneho vykurovania. Využitelná je KJ v prevádzkach s rôznou potrebou tepla, avšak zmenou prevádzky sa pomerovo mení doba návratnosti. [1]

Oblasti uplatnenia KJ: [4]

- malé KJ navrhované pre vykurovanie jednotlivých budov, prípadne menších skupín budov (použitie najmä pre spaľovacie motory ale aj technologické novinky ako mikroturbíny, Stirlingove motory, palivové články)
- KJ menších priemyslových podnikov (najčastejšie spaľovacie motory ale aj palivové články)
- veľké KJ obvykle pre výrobu pary o vyšších parametroch, používané v priemyselných aplikáciách a veľkých komplexoch budov (parné a spaľovacie turbíny alebo spaľovacie motory veľkého výkonu)
- veľké KJ spojené s tepelnými centrálnami (teplárňami) alebo spaľovňami, zaisťujúcimi dodávku tepla do sústav centralizovaného zásobovania teplom (parné turbíny stredného a veľkého výkonu, spaľovacie turbíny najčastejšie v paroplynovom zapojení)
- KJ využívajúce obnoviteľné palivové zdroje rôznych výkonov (najviac spaľovacie motory, občasne parné a spaľovacie turbíny)

2.3 Kogeneračné jednotky na spaľovanie plynných palív- plynová kogenerácia

U týchto KJ dochádza k združenej výrobe el. energie a tepla priamym spaľovaním plynu, a to buď v spaľovacom motore (otvorený Ottov cyklus) alebo v spaľovacej turbíne (otvorený Braytonov cyklus). Premena energie obsiahnutej v palive na el. energiu býva, pre prípad KJ so spaľovacím motorom, v rozmedzí 24 - 42% a účinnosť výroby tepla predstavuje cca 35-57 %, čo v súčte tvorí celkovú účinnosť 72-90 %.



Obrázok 2.8- Porovnanie výroby el. energie a tepla u jednotlivých druhov kogenerácie [8].

Pre výrobu el. energie je ale nutné spaľovať zemný plyn, avšak spaľovacie motory môžu byť prevádzkované aj na iné plynné palivá s odpadnými horľavými plynmi ako bioplyn, drevoplyn alebo skládkový plyn. Tieto plyny však majú nižšiu výhrevnosť dôsledkom čoho sa zníži aj elektrická účinnosť zariadenia. ^[8]

KJ so spaľovacími turbínami pozostávajú zo spaľovacej turbíny, generátoru a spalínového kotla. Palivo, zemný plyn, je spaľovaný v spaľovacej komore, kde musí byť dopravovaný pod tlakom 1,5 – 2,5 MPa podľa kompresného pomeru turbíny. Aby bola zabezpečená dodávka tlakového plynu je často nutné inštalovať posilňovací kompresor, ktorý zvyšuje investičné náklady a svojím el. príkonom znižuje účinnosť KJ. Inštaláciu tohto typu KJ môže komplikovať aj zákaz dopravy tlakového plynu z dôvodu bezpečnosti, ktorý platí v určitých lokalitách, kde hrozí nebezpečenstvo výbuchu.

El. účinnosť sa pohybuje v širokom rozmedzí od cca 16% u starších typov až po špičkové turbíny s účinnosťou 38%. Tento rozsah závisí od prevádzkových parametrov ako je prebytok vzduchu pri spaľovaní, kompresný pomer turbíny atď. Obecne však platí, že so zvyšovaním výkonu KJ, rastie aj jej el. účinnosť ^[8]

Paroplynová kogenerácia (pracujúca podľa Chengovho cyklu) je kombinácia plynnej a parnej kogenerácie so snahou o maximálnu účinnosť výroby el. energie. Môže sa jednať o spojenie spaľovacej turbíny alebo motoru a parnej turbíny, pričom od prevádzkových parametrov jednotlivých súčastí závisí elektrická účinnosť, ktorá sa pohybuje v rozmedziach 38-46 %. ^[8]

Palivové články sa zásadne líšia od ostatných spôsobov kogenerácie, pretože neobsahujú žiadne pohyblivé časti a ich chod je bezhlučný a veľmi spoľahlivý. Jedná sa o priamu premenu chemickej energie plynného paliva pomocou oxidačno-redukčnej reakcie na el. energiu a teplo. Výnimočnosť tejto kogenerácie spočíva taktiež vo vysokej elektrickej účinnosti a veľmi nízkych emisiách. Práve vďaka týmto vlastnostiam sa jedná o veľmi perspektívny zdroj kombinovanej výroby energií. ^[8]

KJ so spaľovacími motormi sú tvorené spaľovacím motorom poháňajúcim generátor a výmenníkmi pre využitie odpadného tepla. Otáčky motora sú volené tak, aby nebolo potrebné inštalovať prevodovku medzi motor a generátor. Narozdiel od KJ so spaľovacími turbínami si nevyžaduje spaľovací motor prívod tlakového zemného plynu, pretože zmes plynu a vzduchu je do valcov motora vháňaná pod tlakom vytvoreným turbodúchadlom, ktoré je poháňané spalínami. Plyn môže byť teda dodávaný z bežného potrubia s redukovaným tlakom a to s hodnotami jednotiek až desiatok kPa.

Elektrická účinnosť jednotky sa pohybuje v rozsahu 33-42 % a je udávaná pre jej nominálny výkon. Pri znižovaní výkonu KJ však pokles účinnosti nie je taký markantný. ^[8]

Porovnaním KJ so spaľovacími motormi a spaľovacími turbínami je možné konštatovať, že KJ so spaľovacími motormi nie je tak citlivá na zmenu výkonu ako je tomu u spaľovacích turbín. Pracovné teploty spaľovacích turbín sú vyššie ako u spaľovacích motorov, čo kladie väčšie nároky na materiálové vybavenie jednotky avšak je možná dodávka celého tepelného výkonu v pare, čo je dôležité pri technologickom využití. KJ so spaľovacími motormi, kvôli nižším pracovným teplotám, dodávajú telo v teplej alebo horúcej vode, vo výnimočných prípadoch v pare.

Z dôvodu podstatne vyššej zložitosti, vyššej mernej cenovej náročnosti a nižšej el. účinnosti najmä u jednotiek menších výkonov, sa inštalujú KJ so spaľovacími turbínami do väčších priemyselných a komunálnych zdrojov s požiadavkou na dodávku pary. ^[8]



V ďalšom priebehu práce bude pojednávané o KJ so spaľovacími motormi, ktoré je možné inštalovať do akéhokoľvek priemyslového alebo komunálneho zdroja tepla, pokiaľ je v danej lokalite dostupný horľavý plyn o dostatočnom množstve a požiadavka na dodávku tepla v teplej alebo horúcej vode. El. energiu je možné využiť v danom objekte, prípadne dodávať do siete. Preto je vhodné spolu s KJ inštalovať tepelný akumulátor pre prevádzku jednotky iba v dobe vyššieho tarifu odberu el. energie. [8]

2.3.1 Spaľovacie motory na spaľovanie plyných palív

Pod pojmom spaľovací motor sa spravidla rozumie piestový spaľovací motor s vnútorným spaľovaním. Jedná sa o tepelný stroj vhodný pre kogeneráciu, pretože motor poháňajúci elektrický generátor produkuje súčasne odpadné teplo. Obecne rozlišujeme piestové spaľovacie motory na dvojtaktné a štvortaktné, pričom v energetike sa kvôli nárokom na nízke emisie stretávame výhradne so štvortaktnými motormi. Podľa spôsobu zapálenia zmesi sa spaľovacie motory rozdeľujú do dvoch skupín: [9]

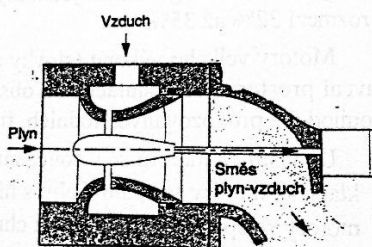
- vznetové motory (majú vysoký kompresný pomer a k zapáleniu paliva dochádza samovznietením pri vstreku do horúceho stlačeného vzduchu)
- zážihové motory (zapálenie zmesi paliva a vzduchu sa uskutoční elektrickou iskrou)

Za účelom kogenerácie sa používajú spaľovacie motory stacionárne ale aj motory pôvodne určené pre mobilné účely. Ich výkonový rozsah sa pohybuje v rozmedzí od 10kW do 40MW. Pokiaľ by ale mali byť klasické sériovo vyrábané motory použité pre kogeneráciu, je ich úprava nevyhnutná. Dôvodom je, že klasické motory spaľujú drahé palivo ako je nafta či benzín, čo by bolo v prípade kogenerácie nevýhodné a preto sa rekonštruujú na spaľovanie plyných palív ako je napr. zemný plyn, poprípade sa motory konštruujú priamo ako plynové. [9]

2.3.2 Úprava spaľovacích motorov pre kogeneráciu

Táto úprava sa týka predovšetkým palivového systému a spaľovacieho priestoru. [4]

U zážihových motorov najmenších výkonov (desiatky kW) je táto rekonštrukcia daná predovšetkým výmenou karburátora za zmiešavacie zariadenie v ktorom sa vytvára zmes plynu a vzduchu o požadovanom zložení. Spojková účinnosť je u týchto motorov obvykle pod 29%. [9]



Obrázok 2.9- Zmiešavacie zariadenie zážihového motora [9].

Nové zážihové motory s vyššími výkonmi (aj okolo 3 MW) používajú predkomôrku, v nej má zmes stechiometrické zloženie. Ich účinnosť je vyššia a približuje sa účinnosti vznetových motorov, ktoré majú vyššiu účinnosť najmä z dôvodu väčšieho kompresného pomeru. [4]

V prípade vznetových motorov stredných výkonov (stovky kW) sa pridáva preplňovacie turbodúchadlo, ktoré sa priaznivo prejaví najmä zvýšením výkonu, vzťahnutého na jednotku pracovného objemu valca a tým aj nižšími investičnými nákladmi. Motory sa v plynovej verzii prevádzkujú ako zážihové a ich spojková účinnosť je v rozmedzí 31% až 35%. [9]

Niekedy sa u motorov s veľkým výkonom používa aj dvojpalivový systém, keď je k dosiahnutiu zapálenia s plynom vstrekané malé množstvo motorovej nafty (približne 5% z celkového tepelného vstupu).^[4]

Motory veľkých výkonov (stovky až tisíce kW) sú zložitejšie agregáty a bývajú odvodené z dlhodobu pracujúcich lodných a trakčných popriprade stacionárnych motorov na kvapalnú palivú.^[9]

2.3.3 Generátor kogeneračnej jednotky so spaľovacím motorom

Kogeneračné agregáty zvyčajne pracujú paralelne s nadriadenou elektrizačnou sústavou a sú vybavené asynchrónnym alebo synchrónnym generátorom. Nižšie výkony sú predávané pomocou silového kabela do najbližšieho nízkonapäťového rozvádzača nn. V prípade vyšších výkonov je pripojenie k transformačnej stanici a el. energia je dodávaná do siete vysokého napätia.^[9]

Asynchrónne generátory sú jednoduchšie, lacnejšie, pretože nevyžadujú synchronizačné zariadenie. Sú používané u jednotiek nižších výkonov okolo 100 kW, z dôvodu obmedzenia prúdových rázov pri pripojení. Nevýhodou je, že tento typ generátoru umožňuje iba paralelnú prevádzku KJ so sieťou, kde dodávajú vyrobenú el. energiu.

Synchrónne generátory sú zložitejšie ale majú vyššiu účinnosť. Ich pripojenie k sieti je prevedené automatickými synchronizačnými zariadeniami a ich nasadenie môže byť pre ostrovnú, núdzovú alebo náhradnú prevádzku. Čo do výkonu, je ich použitie neobmedzené, ale používajú sa prevažne u zariadení vyšších výkonov.^[10]

2.3.4 Prevádzka a údržba

KJ pracujú bezobslužne a prípadné nepravidelnosti chodu by mali odhaliť denné obhliadky. Nábeh KJ a odstavenie z prevádzky je zvyčajne automatické, s danou hierarchiou činností- premazanie, štart bez zaťaženia, prífázovanie, zaťažovanie, prevádzka, odľahčenie, odľahčovanie, odstavenie.

Charakteristickou vlastnosťou KJ so spaľovacím motorom je vyššia spotreba mazacieho oleja, z dôvodu, že sa nejedná o rotačný stroj ale o stroj s cyklickým pohybom piestu, kde dochádza aj k väčšiemu opotrebeniu mechanických súčastí a sú potrebné vyššie nároky na utlmenie vibrácií.

Prevádzkové celky KJ sú priebežne monitorované a hodnoty dôležitých teplotných a elektrických veličín sú porovnávané s nastavenými hodnotami. Pokiaľ je určitá hodnota veličiny mimo povolený rozsah, sú vyvedené určité opatrenia a prevádzka jednotky môže byť automaticky upravená, popriprade odstavená. Namerané hodnoty sa taktiež ukladajú do pamäte riadiaceho systému pre možnosť spätnej kontroly prevádzky jednotky.^[10]

Tab. 2.2- Základná údržba KJ so spaľovacím motorom [9].

Činnosť	Interval prevádzkových hodín [h]
výmena mazacieho oleja (podľa druhu oleja)	1000 až 4000
výmena zapalovacích sviečok	1000 až 4000
čistenie a náprava kontaktov	2900
nastavenie ventilov	800 až 2000
čistenie výmenníka tepla výfukových spalín	1x ročne

Plánované bežné obhliadky by mali prebiehať každých 700 až 1000 hodín, stredné opravy 6000 až 8000 hodín a generálne opravy 20000 až 50000 hodín.^[9]



2.3.5 Emisie škodlivých látok

Spaľovaním zemného plynu v motoroch vzniká neškodná vodná para a lokálne neškodný oxid uhličitý (CO_2), ktorý globálne tvorí skleníkový plyn. Medzi škodlivé látky patrí najmä oxid uhoľnatý (CO), oxidy dusíka (NO_x) a nespálené uhl'ovodíky (C_xH_y).

Oxidy dusíka NO_x vznikajú v dôsledku vysokých teplôt spaľovania. Podmienkou vysokých hodnôt NO_x je dostatočná koncentrácia kyslíka, avšak najvyššie teploty spaľovania sa dosahujú u mierne bohatých (podstechiometrických) zmesí. Teda s rastúcim prebytkom vzduchu klesá koncentrácia NO_x vplyvom zriedenia prebytočným vzduchom a poklesom spaľovacích teplôt. Oxid uhoľnatý CO vzniká nedokonalým spaľovaním pri nedostatku kyslíka (bohatá zmes) a príliš vysokým ochladením plameňa.

Nespálené uhl'ovodíky C_xH_y sa tvoria v miestach s nízkou teplotou plameňa a s pomalou rýchlosťou horenia dôsledkom príliš bohatej alebo chudej zmesi. Tieto studené miesta tzv. mŕtve kúty sú predovšetkým v štrbinách medzi valcom a piestom a v blízkosti stien. ^[11]

Pre obmedzenie týchto emisií sa používajú primárne a sekundárne opatrenia. Primárne opatrenia predstavujú konštrukčné úpravy motora a prevádzkové opatrenia. Tieto primárne zásahy znižujú tvorbu určitých emisných látok ale môžu zvyšovať tvorbu iných, preto je dôležité voliť určité optimum. V súčasnosti sa dbá na koncepciu spaľovania chudobnej zmesi (lean burn technology), prispôsobenie bodu zážihu, zníženie zaťaženia motora (vhodné tiež pre zvýšenie životnosti) a konštrukčné opatrenia ako odstránenie mŕtvych kútov. ^[9]

K sekundárnym opatreniam patrí zaradenie katalyzátora. V praxi sa stretávame s rozdelením katalyzátorov na dvojcestné a trojcestné, čím je vlastne mienené, koľko základných škodlivín je schopný katalyzátor likvidovať. Dvojcestný katalyzátor znižuje emisie oxidu uhoľnatého CO a nespálených uhl'ovodíkov C_xH_y . V prípade trojcestného katalyzátora sa jedná o znižovanie obsahu NO_x , CO aj C_xH_y a jeho použitie je u väčších a drahších jednotkách. Zariadenia veľkého výkonu používajú katalitickú redukciu NO_x pomocou čpavku NH_3 a to tak, že čpavok sa pridá do prúdu spalín buď ako plyn alebo vodný roztok. Toto dávkovanie sa riadi obsahom NO_x v spalínach a môže dôjsť k zníženiu emisií aj o viac než 80%. ^[9]

U prevádzkovaných spaľovacích motorov sú koncentrácie emisií: ^[8]

- NO_x približne 250 – 400 mg/Nm³
po aplikácii trojcestného katalyzátora len približne 100 mg/Nm³
- CO približne 290 – 400 mg/Nm³
po aplikácii trojcestného katalyzátora len približne 29 mg/Nm³

Podľa vyhlášky MŽP 146/2007 Sb. sú emisné limity v ČR pre prevádzku KJ so spaľovacími motormi pri referenčnom obsahu kyslíka v spalínach 5% nasledovné: ^[8]

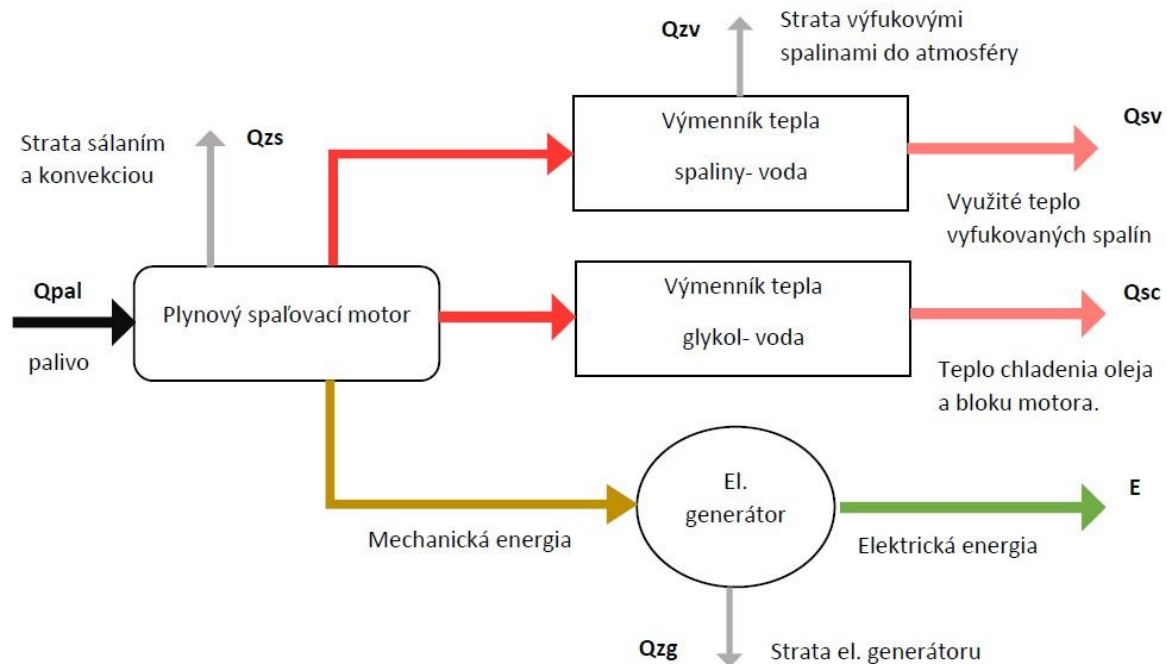
- NO_x 500 mg/Nm³
- CO 650 mg/Nm³

2.4 Vyvedenie tepelného výkonu z kogeneračných jednotiek

2.4.1 Kogenerácia

Premena energie uloženej v palive, je vykonaná tak, že najskôr sa využije vysokopotenciálna tepelná energia (pracovná látka má vysokú teplotu) k vykonaniu práce a až potom sa pracovná látka o nižšej teplote využije pre pokrytie potrieb tepla. ^[4]

Na nasledujúcom obrázku 2.10 je zobrazený tok energií u KJ s plynovým motorom, ktorý bol vytvorený podľa literatúry [9].



Obrázok 2.10- Toky energií u KJ so spařovací motorom

Tepelný výkon KJ je tvorený odpadným teplom vznikajúcim pri produkcii elektrickej energie a pozostáva z odpadného tepla chladenia motoru (blok valcov a hlava motoru), chladenia mazacieho oleja a odpadného tepla výfukových plynov. ^[10]

Tab. 2.3-Zastúpenie odpadných tepiel v celkovom tepelnom výkone KJ so spařovací motorom [10].

Podiel tep. výkonu KJ [%]	Typ odpadného tepla
60	Chladenie bloku motoru a oleja
40	Odpadné teplo spalín

Odpadné teplo vzniká aj pri komprimovaní plniacej zmesi turbodúchadlom poháňaným spalínami, odchádzajúcimi zo spařovacieho motoru. Toto teplo predstavuje cca 8% množstva tepelného výkonu a zvyčajne sa do tepelného výkonu nezahrňuje, pretože je odvádzané na nižšej teplote. ^[10]

Teplo z chladenia mazacieho oleja ako aj teplo z chladenia bloku motoru a hláv valcov je odvádzané teplotonosným médiom (glykol, voda) do výmenníka tepla (glykol-voda, voda-voda). Voda na vstupe do výmenníka má teplotu cca 80°C a na výstupe cca 89°C.

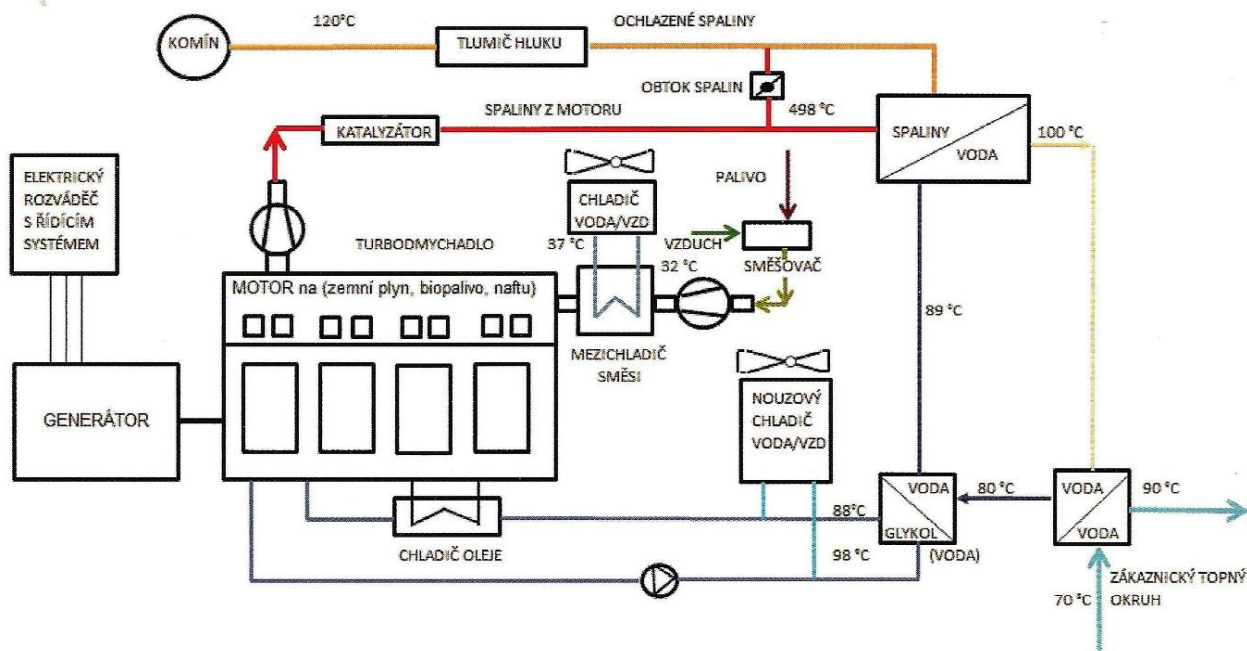
Výstupná teplota tejto vody môže dosahovať aj (100-110) °C, ale primárny okruh už musí byť prevedený ako tlakový, preto je výhodnejšie aby bol výstup vykurovacej vody pod 100°C, vhodne okolo 90°C.

Teplota spalín, ktorá dosahuje teploty 400°C až 540°C, je zužitkovaná vo výmenníku spaliny- voda. Tento výmenník môže ohriať tlakovú vodu na teploty vyššie ako 129°C, prípadne vyrábať paru. ^[9]

Teplo chladiacej vody motoru je nutné odvádzat', kvôli správne mu chodu motoru, pričom teplo zo spalín sa využíva predovšetkým pre zvýšenie účinnosti jednotky. ^[9]

Zvyčajne sú KJ konštruované pre dodávku tepla do teplovodných systémov 90/70 °C, menej do systémov tlakovej vody 110/85 °C prípadne 129/90 °C. Môže sa jednať aj o výrobu pary

o nízkom tlaku, avšak tá je technicky obtiažnejšia a býva efektívna za predpokladu hybridnej potreby tepla, čiže súčasnej potreby tepla v pare a v teplej vode. [12]



Obrázok 2.11- Bilančná schéma zapojenia KJ s turbodúchadlom [13].

Na obrázku 2.11 je možné vidieť zapojenie KJ so spaľovacím motorom do teplovodného systému 90/70 °C.

Výmenník chladenia motoru býva doskový a spalínový výmenník trubkový. Zvyčajne prevedenie spalínového výmenníka je z konštrukčnej ocele, ale je potreba dodržať nižšiu drsnosť vnútorného povrchu trubiek aby sa nezanášali nečistotami zo spalín. [10]

Ako teplotné médium v primárnom okruhu sa používa voda, prípadne vodný roztok vody a etylenglykolu (glykolu) s približnou koncentráciou okolo 35%. [14]

Chladič oleja nemusí byť inštalovaný, je však vhodné ho zaradiť najmä z dôvodu dosiahnutia vyššej teploty chladiacej vody a zvýšenia intervalu pre výmenu mazacieho oleja. Chladič plniacej zmesi zaisťuje vhodné podmienky spaľovania paliva v motore. Teplo z oboch chladičov je možné využiť na predohrev TUV, ohrev vetracieho vzduchu a pod. [10]

V prípade obrázku 2.11 je teplo chladiča oleja použité pre ohrev vykurovacej vody a teplo z chladiča plniacej zmesi je marené.

Súčasťou KJ je aj autonómny systém núdzového chladenia, ktorý umožňuje plnú výrobu el. energie aj v situácii, keď nie je dostatočný odber tepla od spotrebiteľa, prípadne ak nie je žiadny odber tepla a KJ pracuje iba ako núdzový zdroj el. energie.

Úlohou tohto chladiča (voda-vzduch) je zabezpečiť správnu teplotu pre chod KJ aby nedošlo k prehrievaniu motora, či mazacieho oleja. [13]

Z priestoru KJ je nutné odvádzať tzv. ventilačný vzduch, aby bolo odstránené nízkopotenciálne teplo vyžiarené povrchom motora, prípadne je možnosť toto teplo tiež využiť. [10]

Ventilačný vzduch do jednotky vstupuje a vystupuje vzduchotechnickými otvormi s tlmičmi hluku. Na príruby týchto otvorov je možné napojiť vzduchotechnické potrubie. Prúdenie

ventilačného vzduchu zaisťujú ventilátory, umiestnené na strope protihlukového krytu. Doporučená teplota na vstupe býva okolo 25°C a výstupná 50°C. ^[14]

Spaliny sú odvádzané spalínovodom z modulu motorgenerátoru cez technologický modul spalínovodu, ktorý je tvorený trojcestným ventilom, spalínovými výmenníkmi a rámovou konštrukciou, až do komína. Za technologický modul sú inštalované tlmiče hluku výfuku. Tepelná izolácia spalínovodu medzi motorgenerátorovým a technologickým modulom musí byť odolná teplotám do 700 °C a za technologickým modulom do 200 °C. Pri štarte KJ, alebo pokiaľ je teplota vstupnej vody nízka dochádza v spalínovodoch k vzniku kondenzátu, ktorý je nutné odvádzat' cez odvod kondenzátu. ^[14]

2.4.2 Trigenerácia

Podstatné je uviesť, že odpadná tepelná energia, ktorá vzniká u kogenerácie pri produkcii el. energie má nízku exergiu, tzn. nemá schopnosť vykonávať prácu a jej využitie je obmedzené len v určitej miere, ako je ohrev TUV (teplej úžitkovej vody), dodávka tepla pre domácnosti vo vykurovacom období, či dodávka tepla pre technologické účely. V letnom období však významná časť tohto dodávaného tepla nie je potrebná, čím vzniká premenlivé zaťaženie jednotky v priebehu roka, čo má negatívne dopady na ekonomiku aj ekológiu prevádzky (nižšia tepelná účinnosť, nižší teplárensky modul e , menšia úspora PEZ).

Riešením tohto problému je využitie nepotrebného tepla v letnom a prechodovom období na výrobu chladu v absorpčných chladiacich zariadeniach (AJ) spojených s KJ.

V tomto prípade sa potom jedná o tzv. trigeneráciu, čo znamená kombinovanú výrobu el. energie, tepla a chladu. ^[15]

Princíp funkcie AJ je v nahradení kompresie el. pohonom tzv. termokompresorom, ktorý využíva fyzikálny jav absorpcie a desorpcie. AJ sa skladá z výparníku, kondenzátoru a už spomínaného termokompresoru zloženého z absorbéru, vypudzovača a čerpadla.

Vo výparníku (nižší tlak, nižšia teplota) dochádza k prijatiu tepla chladivom z chladenej látky, v dôsledku čoho dôjde k vyparovaniu chladiva. V absorbéru sú pary chladiva odchádzajúce z výparníka pohlcované absorbentom a vzniká tzv. „bohatý roztok“, ktorý je čerpaný do vypudzovača (vyšší tlak, vyššia teplota). Tam sa chladivo privádzaným teplom z KJ vypudí a z bohatého roztoku vznikajú pary chladiva a tzv. „chudobný roztok“.

Pary chladiva potom kondenzujú v kondenzátore, pričom kondenzačné teplo je odvádzané v chladiacej veži a po zaškrtení redukčným ventilom je chladivo nastreknuté do výparníka. Chudobný roztok sa vracia späť do absorbéru cez škrtiaci orgán. ^[13]

Pracovné dvojice (chladivo - absorbent) musia spĺňať dve základné podmienky a to, že musia mať čo najodlišnejšie teploty varu pri pracovnom tlaku, z dôvodu čo najnižšieho podielu absorbentu vo vypudzujúcich sa parách chladiva a ďalej musia byť neazeotropné. To znamená, aby sa látky dali ohrevom rozdeliť na zložky, ktoré sú neobmedzene miešateľné s malou potrebou zmiešavacieho tepla, čo by malo platiť v celom pracovnom rozsahu tlaku aj teplôt.

V súčasnosti majú v absorpčných obehoch najväčšie uplatnenie dvojice čpavok-voda ($\text{NH}_3\text{-H}_2\text{O}$) a voda-bromid litný ($\text{H}_2\text{O-LiBr}$). ^[13]

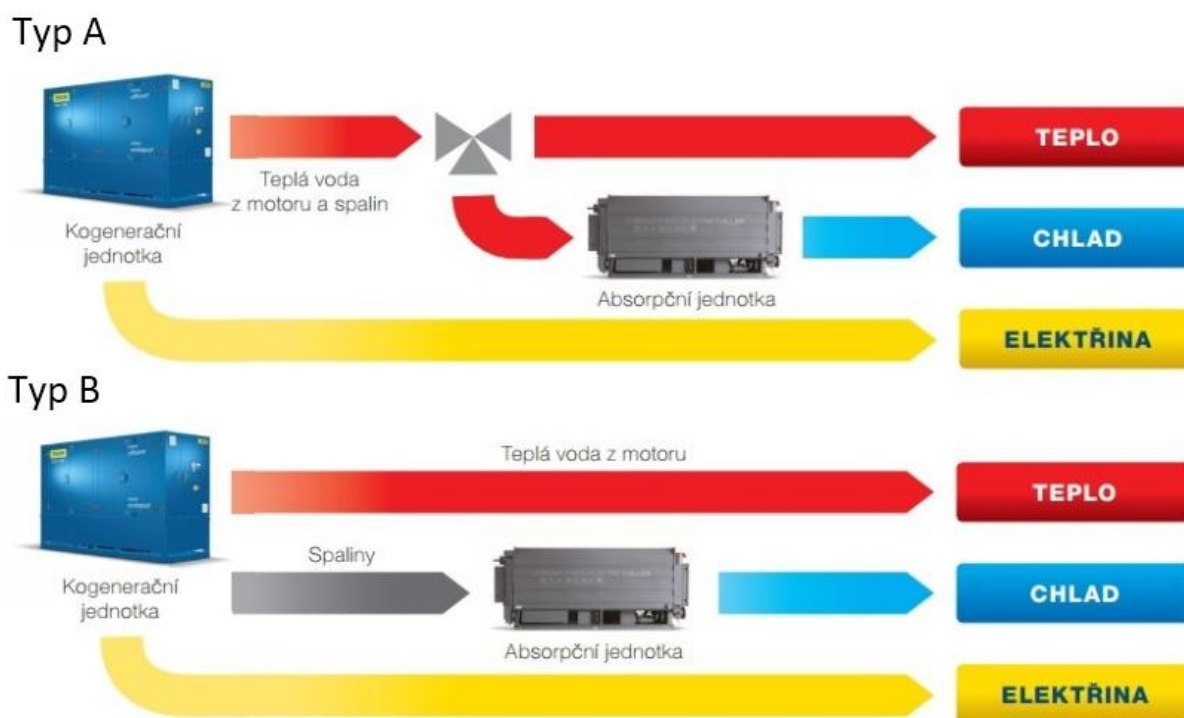
V klimatizovaných objektoch býva prevažne k výrobe chladu používané kompresorové chladenie, čím však narastá spotreba el. energie objektu. Túto el. energiu je možné ušetriť nahradením kompresorového chladenia chladením absorpčným, ktoré pre napájanie využíva tepelnú energiu z KJ. Týmto sa docieli zníženie spotreby el. energie a taktiež predĺži prevádzka KJ v letnom období, čím sa tiež dosiahne zvýšený podiel vyrobenej el. energie. ^[13]

V závislosti od potreby tepelnej energie či chladu môže byť forma prevádzky KJ trojaká. ^[15]

- 1) el. energia + teplo
- 2) el. energia + chlad
- 3) el. energia + teplo + chlad

Taktiež pri potrebe el. energie a nedostatočnej potrebe tepla či chladu, je možné jednotku použiť ako núdzový zdroj el. energie a neodvedené teplo by bolo v tomto prípade marené núdzovým chladičom.

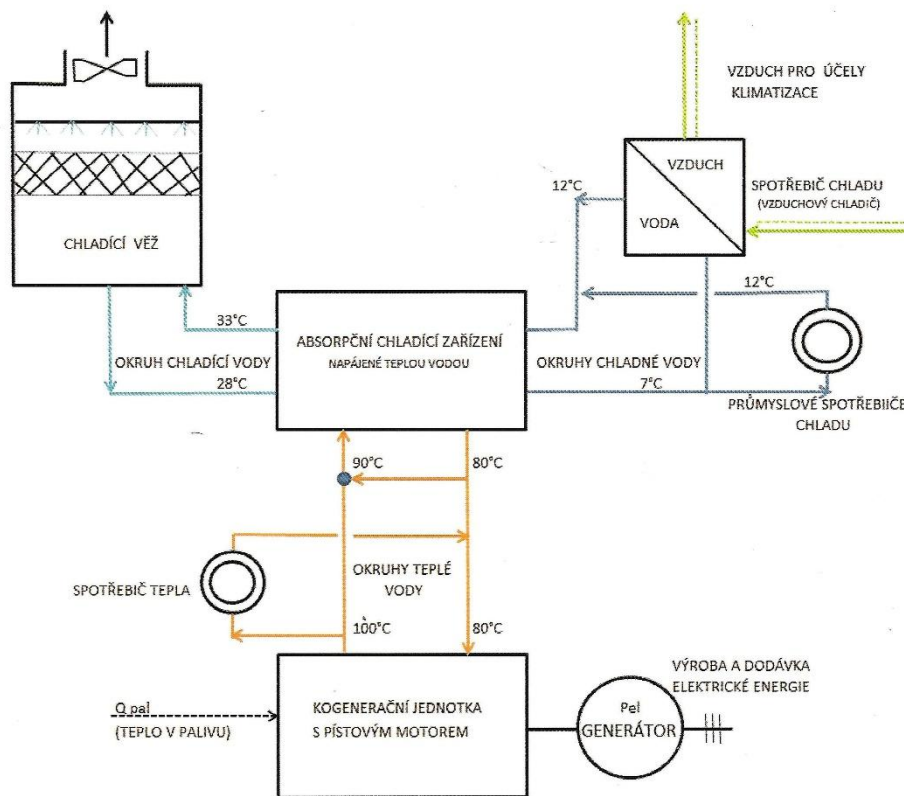
Na základe toho aká bude prevažná forma prevádzky KJ je možné voliť jej technologické prevedenie s AJ. Podľa firmy Tedom a.s. rozlišujeme dva typy spojenia KJ a AJ.



Obrázok 2.12- Prevedenie KJ s AJ [15].

Typ A je spojenie KJ a AJ, pričom spalínový výmenník je súčasťou KJ. Všetka tepelná energia je teda použitá pre ohrev vody a množstvo vody pre vykurovanie a chladenie je regulované elektricky riadením trojcestným ventilom. Toto prevedenie je vhodné pre prevádzku s potrebou vykurovania v zime a chladenia v lete, čiže forma prevádzky 1) a 2).^[15]

Typ B je spojenie KJ a AJ, pričom spalínový výmenník je súčasťou AJ. Pre ohrev vody je použité iba teplo chladenia bloku motoru a mazacieho oleja. Teplo zo spalín je využité pre výrobu chladu, čo kvôli vyššej teplote spalín zapríčiňuje vyššiu účinnosť absorpčného obehu. Tento typ je vhodný pre prevádzku s celoročnou súbežnou spotrebou tepla a chladu, čiže sa jedná o formu prevádzky 3).^[15]



Obrázok 2.13-Bilančná schéma zapojenia KJ s absorpčnou jednotkou [13].

KJ s piestovým spaľovacím motorom sú najčastejšie stavané na zákaznícky okruh s parametrami 90/70 °C, ako je možné vidieť aj na obrázku 2.13. Toto teplo je buď sčasti alebo úplne využívané AJ, kde dochádza k výrobe chladu. Pri použití absorpčných zariadení voda- LiBr býva teplotný spád chladenej vody na vstupe a výstupe z AJ (presnejšie z jej výparníka) 12/7 °C, prípadne 14/7 °C.

Následne je využitie tohto chladu možné tam, kde postačuje chlad s relatívne vyššími teplotami chladnej vody cca (6 až 12) °C, čo môže byť pri skladovaní potravín, prevádzka vybraných technológií, či na zaistenie pohody prostredia v moderných obchodných a administratívnych budovách. Práve problematika vnútornej klímy budov predstavuje sektor s dynamickým rozvojom a nárastom potreby chladenia. [13]

2.5 Legislatíva v oblasti kogeneračných jednotiek (podpora KVET)

Medzi podporované zdroje energie podľa zákona 165/2012 Sb. patrí el. energia a teplo z obnoviteľných zdrojov, druhotných zdrojov a vysokoúčinná kombinovaná výroba el. energie a tepla (KVET).

Účelom tejto podpory je ochrana klímy a životného prostredia, efektívnejšie využívanie PEZ a zvýšenie podielu výroby energií z obnoviteľných zdrojov. [16]

Realizácia prevádzkovej podpory KVET v ČR prebieha vo forme zelených bonusov k cene vyrobenej el. energie, ktoré sú stanovené v Kč/MWh a poskytované v ročnom režime. Vyúčtovanie zeleného bonusu prebieha na základe nameraných alebo vypočítaných hodnôt



výrobenej elektriny evidovaných operátorom trhu. Výšku zeleného bonusu na kalendárny rok stanovuje energeticky regulačný úrad ERÚ s ohľadom na umiestnenie a veľkosť inštalovaného elektrického výkonu, použitého primárneho paliva a prevádzkového režimu výroby el. energie. ERU taktiež upravuje výšku zelených bonusov medziročne, podľa vývoja cien el. energie na trhu, tepelnej energie a taktiež cien PEZ. [16]

Zelené bonusy sa skladajú zo základnej a doplnkovej sadzby a ich hodnoty ako aj výpočtové vzťahy pre určenie celkovej podpory je možné nájsť v príslušnom cenovom rozhodnutí ERÚ. S účinnosťou platnosti od 1.4. 2017 sú v nasledujúcich tabuľkách vyňaté hodnoty sadzieb pre podporu KVET podľa cenového rozhodnutia ERÚ č.2/2017 z dňa 29. 3. 2017.

Na obrázku 2.14 je uvedená základná sadzba ročného zeleného bonusu pre KJ s inštalovaným výkonom do 5 MWe (vrátane). Podpora sa týka výrobní uvedených do prevádzky do 31.12.2012.

Ako je možné vidieť, s rastúcim inštalovaným výkonom, či vyšším počtom prevádzkových hodín jednotky, hodnota podpory klesá.

Taktiež výška zeleného bonusu pre KJ, súčasne podporovanú podľa bodu (1) a (2.1.) zákona 165/2012 Sb., týkajúcej sa podpory pre výrobu tepla a výroby el. energie spaľovaním banského plynu je z hľadiska podpory kombinovanej výroby nižšia.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
	a	b	c	d	e	j	m
700	Elektřina z KVET s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a s výjimkou elektřiny z KVET vyrobené ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2012	0	200	3 000	1 515
701		-	31.12.2012	0	200	4 400	1 050
702		-	31.12.2012	0	200	8 400	215
703		-	31.12.2012	200	1 000	3 000	1 105
704		-	31.12.2012	200	1 000	4 400	705
705		-	31.12.2012	200	1 000	8 400	135
706		-	31.12.2012	1 000	5 000	3 000	770
707		-	31.12.2012	1 000	5 000	4 400	440
708		-	31.12.2012	1 000	5 000	8 400	45
709	Elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny současně podporované podle bodu (1) a/nebo (2.1.) cenového rozhodnutí a elektřina z KVET vyrobená ve výrobně elektřiny spalující komunální odpad	-	31.12.2012	0	5 000	8 400	45

Obrázok 2.14- Základná sadzba ročného zeleného bonusu pre výrobu KVET do 5 MWe a uvedením do prevádzky do 31.12.2012 [17].

Pri porovnaní hodnôt zelených bonusov na obrázku 2.14 (do 5 MWe) a 2.15 (nad 5 MWe) je možné vidieť, že zdroje s inštalovaným el. výkonom pod 5 MWe sú podporované vyššou čiastkou, najmä kvôli snahe podpory decentralizovaných zdrojov, medzi ktoré KJ s nižším inštalovaným výkonom patria.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		ÚPE kogenerační jednotky [%]		Celková účinnost kogenerační jednotky [%]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	m	
750	Elektřina z KVET	-	31.12.2012	5 000	-	10	15	-	-	45
751		-	31.12.2012	5 000	-	15	-	-	45	60
752		-	31.12.2012	5 000	-	15	-	45	75	140
753		-	31.12.2012	5 000	-	15	-	75	-	200

Obrázok 2.15 - Základná sadzba zeleného bonusu pre výrobu KVET nad 5MWe a uvedením do prevádzky do 31.12.2012 [17].

Výrobné KVET s inštalovaným el. výkonom nad 5 MWe sú podporované ohľadom k ich ekologickosti. Pokiaľ si prevádzkovateľ KVET uplatniť nárok na zelený bonus, musí preukázať minimálne 10% úsporu primárnych energetických zdrojov ÚPE oproti oddelenej výrobe energií. V tomto prípade sa jedná o výrobné uvedené do prevádzky do 31.12.2012 (vrátane).

Spôsob výpočtu úspory primárnej energie ako aj spôsob stanovenia celkovej účinnosti je uvedený v prílohe č.1 vyhlášky č.37/2016 Sb. Ďalej je vo vyhláške uvedené, že KJ ktoré používajú ako pohonnú súčasť spaľovací motor by mali mať celkovú účinnosť najmenej 80 %. Pre KJ s paroplynovým zariadením, či spaľovacou turbínou je kritérium na minimálnu celkovú účinnosť 75%. [19]

Základné sadzby ročného zeleného bonusu na el. energiu z KVET pre výrobné uvedené do prevádzky po 1.1.2016 (vrátane) sú uvedené v nasledujúcich tabuľkách zobrazených na obrázku 2.16 a 2.17.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Provozní hodiny kogenerační jednotky [h/rok]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)		
a	b	c	d	e	j	m	
715	Elektřina z KVET	1.1.2016	31.12.2017	0	200	3 000	1 970
716		1.1.2016	31.12.2017	0	200	4 400	1 505
717		1.1.2016	31.12.2017	200	1 000	3 000	1 560
718		1.1.2016	31.12.2017	200	1 000	4 400	1 160
719		1.1.2016	31.12.2017	1 000	5 000	3 000	1 225
720		1.1.2016	31.12.2017	1 000	5 000	4 400	895

Obrázok 2.16-Základná sadzba zeleného bonusu pre výrobu KVET do 5MWe a uvedením do prevádzky po 1.1.2016 [17].

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu*		Instalovaný výkon výroby [kW]		ÚPE kogenerační jednotky [%]		Celková účinnost kogenerační jednotky [%]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	od	do (včetně)	
a	b	c	d	e	f	g	h	i	m	
760	Elektřina z KVET	1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	10	15	-	-	45
761		1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	-	45	60
762		1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	45	75	140
763		1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	75	-	200
764	Elektřina z KVET v rekonstruované výrobné elektřiny	1.1.2016	31.12.2017	5 000	-	15	-	45	-	200

Obrázok 2.17-Základná sadzba zeleného bonusu pre výrobu KVET nad 5MWe a uvedením do prevádzky po 1.1.2016 [17].



V prípade výrobní nad 5 MWe (obrázok 2.17) sa jedná o výrobné uvedené do prevádzky alebo zrekonštruované po 1.1.2016 (vrátane).

Pod pojmom rekonštruovaná výrobná sa pritom rozumie existujúca výrobná, na ktorej bola vykonaná a dokončená rekonštrukcia od 1.1.2016 (vrátane).^[17]

Pre všetky výrobné uvedené do prevádzky alebo zrekonštruované od 1.1.2016 (vrátane) platí, že prevádzková finančná podpora formou zeleného bonusu na el. energiu z KVET nemôže byť kombinovaná s inou formou prevádzkovej podpory.^[17]

Pokiaľ bola pre výrobnú uvedenú do prevádzky alebo zrekonštruovanú po 1.1.2016 (vrátane) použitá akákoľvek nevratná investičná podpora z verejných prostriedkov, potom dôjde k zníženiu prevádzkovej podpory o redukčný faktor (RF):^[17]

$$RF = \frac{(DOT \cdot AF)}{VYR} \text{ [Kč/MWh; Kč/GJ]} \quad (2.9)$$

Pričom pre anuitný faktor (AF) platí:

$$AF = \frac{IRR}{1 - \frac{1}{(1 + IRR)^{DŽ}}} \text{ [-]} \quad (2.10)$$

Ročné množstvo vyrobenej energie (VYR):

Pre el. energiu

$$VYR = P * PRV \text{ [MWh]} \quad (2.11)$$

Pre teplo

$$VYR = P * PRV * 3,6 \text{ [GJ]} \quad (2.12)$$

- Kde: *RF* - redukčný faktor (Kč/MWh pre podporu na výrobu el.energie, Kč/GJ pre podporu na výrobu tepla)
- DOT* - celková investičná dotácia udelená projektu (Kč)
- AF* - anuitný faktor (-)
- DŽ* - doba životnosti výrobné el. energie stanovená vyhláškou o technicko-ekonomických parametroch (rok); doba odpisovania v prípade podpory na el. energiu (rok)
- IRR* - vnútorné výnosové percento uvedené v žiadosti o udelenie investičnej dotácie (%/100)
- VYR* - ročné množstvo vyrobenej elektriny (MWh); tepla (GJ)
- P* - elektrický inštalovaný výkon výrobné el. energie pri podpore na výrobu el. energiu (MWe)
- tepelný inštalovaný výkon výrobné tepla pri podpore na výrobu tepla (MWt)
- PRV* - priemerné ročné využitie inštalovaného výkonu za dobu životnosti podľa vyhlášky o technicko-ekonomických parametroch (kWh/kWe); (kWht/kWt v prípade podpory tepla); prevádzkové hodiny v prípade podpory na el. energiu z KVET

Doplňková sazba I k základnej ročnej sadzbe zeleného bonusu je na obrázku 2.18. Uplatniť si ju môžu výrobné KVVET s inštalovaným výkonom do 5 MWe a uvedením do prevádzky do 31.12.2012.

ř./sl.	Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]		Zelené bonusy [Kč/MWh]
		od (včetně)	do (včetně)	od	do (včetně)	
a	b	c	d	e	m	
778	Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	-	31.12.2012	0	5000	155
779	Výroba elektřiny spalující (samostatně) zemní plyn	-	31.12.2012	0	5000	455

Obrázok 2.18- Doplňková sazba I k základnej sadzbe ročného zeleného bonusu z výroby KVVET [18].

Následne je výpočet výslednej podpory:^[18]

$$C_{zb} = E_{KVVET} \cdot (ZB_{zakl.sazba} + ZB_{dopl.I}) \text{ [Kč]} \quad (2.13)$$

Kde: C_{zb} - celková výška podpory na el. energii z KVVET
 E_{KVVET} - množstvo el. energie z KVVET
 $ZB_{zakl.sazba}$ - základná sadzba zeleného bonusu
 $ZB_{dopl.I}$ - doplnková sadzba I k základnej sadzbe zeleného bonusu

V prípade uplatnenia doplnkovej sadzby u dvojpalivových systémov je možné využiť aj iné palivo ako zemný plyn, avšak v maximálnom rozsahu 150 prevádzkových hodín za kalendárny rok.^[18]

Prevádzkar prenosovej alebo distribučnej sústavy je povinný prednostne pripojiť výrobu el. energie z podporovaných zdrojov energie, ktorá spĺňa podmienky pripojenia. Výnimka môže nastať v prípade preukázateľného nedostatku kapacity zariadenia pre prenos či distribúciu, alebo ohrozenia bezpečnej a spoľahlivej prevádzky elektrizačnej sústavy.^[16]

V rámci KJ je možné využiť ešte iné zelené bonusy pre výrobu elektrickej ale aj tepelnej energie. Vzťahujú sa prevažne k použitému palivu ako je bansky plyn, bioplyn, či spaľovaniu ostatných druhotných zdrojov.^[16]

2.6 Kombinovaná výroba el. energie a tepla (KVVET) v ČR

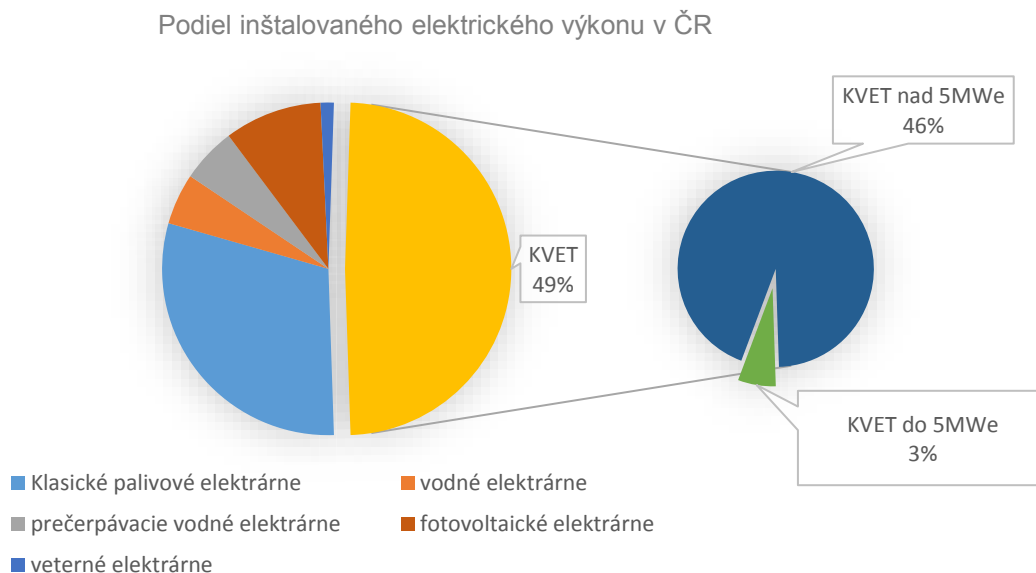
2.6.1 Elektrizačná sústava

Na základe dát z ročnej správy o prevádzke elektrizačnej sústavy ČR pre rok 2015 tvorí inštalovaný el. výkon KVVET cca 48,94% z celkového inštalovaného el. výkonu ČR a výsledný podiel výroby el. energie brutto (celková výroba el. energie na svorkách generátora u zdroja) z KVVET predstavuje 11,69%.^[20]

Nasledujúce grafy v obrázkoch 2.19 a 2.20 boli vytvorené na základe zdroja [20].

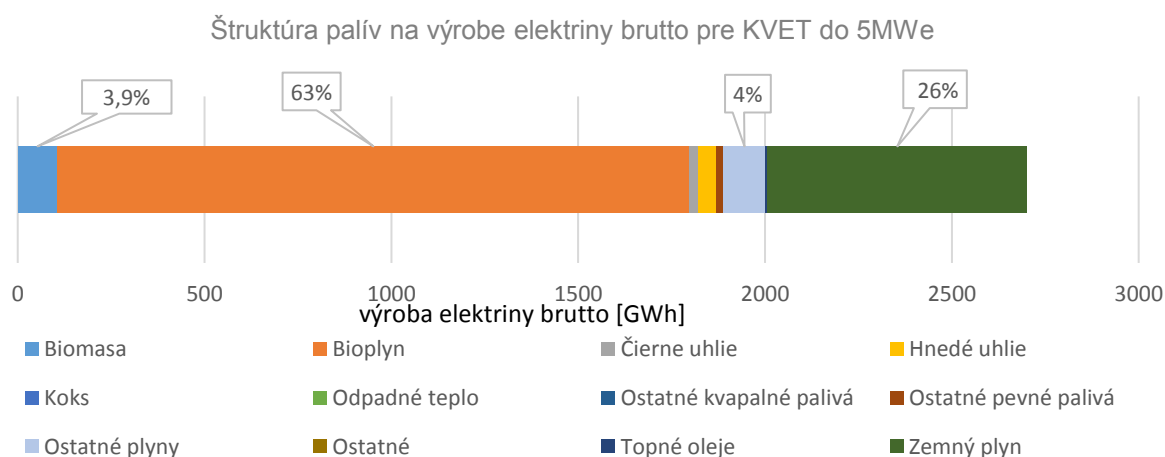


Na obrázku 2.19 je zobrazený koláčový graf v ktorom je možné vidieť, že inštalovaný el. výkon KVET je tvorený hlavne zdrojmi nad 5 MWe. Zdroje prevažne predstavujúce decentralizovanú výrobu, teda s inštalovaným el. výkonom pod 5 MWe, tvoria cca 3 % inštalovaného výkonu ČR. Podiel ich výroby el. energie brutto v rámci ČR predstavuje asi 3,22%. Tieto decentralizované výrobné sú aj výraznejšie podporované legislatívou v oblasti KVET, ako je možné vidieť v predchádzajúcej podkapitole 2.5. ^[20]



Obrázok 2.19 - Podiel inštalovaného el. výkonu ČR s percentuálnym zastúpením KVET.

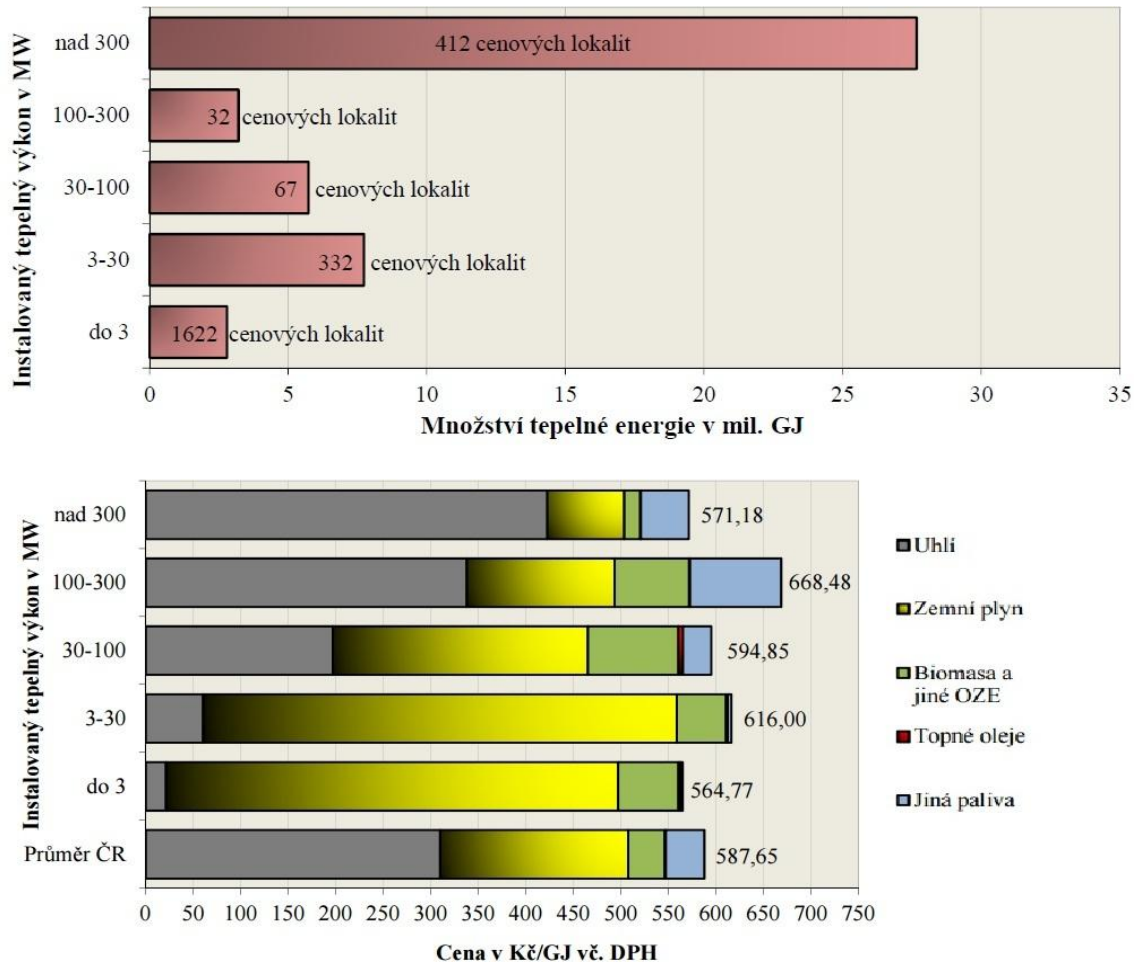
Štruktúra palív je v prípade zdrojov nad 5 MWe tvorená výraznou väčšinou hnedým uhlím. ^[20] Pre zdroje s nižším inštalovaným výkonom je zastúpenie použitých palív prevažne bioplynom a zemným plynom, čo je možné vidieť na obrázku 2.20, kde je zobrazený podiel použitého paliva pri výrobe el. energie brutto u jednotiek s výkonom do 5MWe za rok 2015.



Obrázok 2.20- Zastúpenie použitého paliva pri výrobe elektriny brutto u KVET zdrojov do 5MWe.

2.6.2 Tepelná soustava

V České republice je teplo so zdrojom mimo byt zásobovaných približne 1,5 milióna domácností, čo predstavuje cca 40% domácností. Najčastejšie je toto teplo dodávané z teplárni, elektrárni, blokových a domových kotolní. Teplárne teplo dodávajú okrem domácností aj do škôl, obchodov, úradov nemocníc atď, pričom viac ako 2/3 tepla sú v teplárnach získavané kogeneráciou. ^[21]



Obrázok 2.21- Množstvo vyrobenej tepelnej energie a použité palivo podľa inštalovaného tepelného výkonu výrobní [22].

Na základne obrázku 2.21 je možné vidieť, že v roku 2015 bolo do tepelných sietí dodávané teplo výrazne zo zdrojov nad 290 MWt, ktoré predstavujú centralizovanú výrobu tepla. Zdroje, ktoré predstavujú decentralizovanú výrobu tepla (približne do 3 MWt), tvoria v podstate najmenšiu skupinu čo sa týka množstva dodaného tepla do tepelných sietí.

Z obrázka 2.21 je tiež možné pozorovať, že u väčších tepelných zdrojov ako 29 MWt prevláda ako používané palivo uhlie, pričom so znižujúcou sa výškou inštalovaného tepelného výkonu začína byť používanie zemného plynu dominantnejšie.

Ako je možné vidieť na obrázkoch 2.17 a 2.19 tak model elektrizačnej a tepelnej sústavy v ČR je založený na centralizovanej výrobe. Vzhľadom k požiadavkám k znižovaniu emisií a zvyšovaniu účinnosti energetických procesov sú do energetických sústav pripájané čoraz častejšie decentralizované zdroje el. energie a tepla.

Do tejto skupiny patria aj KJ umiestnené u spotrebiteľa tepla, prípadne v jeho blízkosti z dôvodu minimalizácie rozsahu vonkajších rozvodov tepla a tým zníženia tepelných strát.



Z ekonomických důvodů nemůže být potřeba tepla zajišťovaná jen kogeneračním zariadením, ale musia byť doplnené aj jednoduché špičkové plynové kotle zapojené paralelne s KJ tvoriace zálohu tepelného výkonu v obdobiach najväčšej potreby tepla. ^[4]

2.7 Zhrnutie

Kogeneračné jednotky sa vyznačujú širokým rozmedzím výkonov, čo umožňuje ich použitie v decentralizovanej výrobe a tým prispievajú k zníženiu strát spojených s prenosom a distribúciou elektriny a tepla. Zvýšená účinnosť KJ má taktiež nemalý dopad na úsporu paliva, čo spoločne so zníženými stratami v sieťach zníži náklady na výrobu el. energie a tepla a navyše sú tieto energie ekologickejšie. Zníženie strát nie je však jedinou výhodou decentralizovanej výroby ale aj zvýšenie bezpečnosti dodávky energií v danej lokalite a stabilita siete.

Práve kvôli týmto dôvodom je vývoj zameraný predovšetkým na menšie KJ spaľujúce zemný plyn, či bioplyn o výkonoch desiatok kWe až jednotiek MWe.

K tomuto účelu tzv. plynovej kogenerácii sa v súčasnosti najviac využívajú KJ so spaľovacími motormi prípadne spaľovacími turbínami.

Z dôvodu vyššej zložitosti, vyššej mernej cenovej náročnosti a nižšej el. účinnosti najmä u jednotiek menších výkonov, sa inštalujú KJ so spaľovacími turbínami do väčších priemyselných a komunálnych zdrojov s požiadavkou na dodávku pary.

Prednosťou KJ so spaľovacími motormi je predovšetkým rýchle spúšťanie (na plný výkon aj za 15s), stála pohotovosť, vyššia el. účinnosť a malé vonkajšie rozmery. Taktiež jej účinnosť, narozdiel od KJ s plynovou turbínou, nie je tak citlivá na zmenu výkonu. Plyn môže byť u týchto jednotiek dodávaný z bežného potrubia s hodnotami jednotiek až desiatok kPa, čo pôsobí ako ďalšie plus pre použitie v komunálnej sfére.

Všeobecne sa dá povedať, že KJ pracujú v automatickom (bezobslužnom) režime a prípadné nepravidelnosti chodu by mali odhaliť pravidelné obhliadky.

Podstatné je uviesť, že odpadnú tepelnú energiu, ktorá vzniká u kogenerácie pri produkcii el. energie, je možné najefektívnejšie využiť vo vykurovacom období. V letnom období však významná časť tohto tepla nie je potrebná, čím vzniká premenlivé zaťaženie jednotky v priebehu roka, čo má negatívne dopady na ekonomiku aj ekológiu prevádzky.

Riešením tohto problému je využitie nepotrebného tepla v letnom a prechodovom období na výrobu chladu v AJ spojených s KJ.

Následne je možné tento chlad využívať na zabezpečenie tepelnej pohody v klimatizovaných objektoch. V týchto objektoch je v súčasnosti často používané kompresorové chladenie, čím narastá spotreba el. energie objektu. Práve náhradou za chladenie AJ, by bolo možné túto energiu ušetriť a taktiež by došlo k využitiu tepla KJ v letnom období a tým k zefektívneniu prevádzky KJ v priebehu roka, čím by bol dosiahnutý zvýšený podiel vyrobenej el. energie.

Výrobe el. energie či tepla z kogenerácie venuje ČR podporu legislatívou, kde je výška podpory rozdelená podľa inštalovaného výkonu výroby, dátumu uvedenia do prevádzky, prípadne môže byť podpora stanovená podľa spaľovaného paliva. Všeobecne je možné dodať, že s rastúcim inštalovaným výkonom, či vyšším počtom prevádzkových hodín jednotky hodnota podpory klesá. Najvýraznejšie sú teda podporované výroby KVET do 200 kWe, ktoré majú počet prevádzkových hodín nižší ako 3000 h/rok a tvoria špičkový, či pološpičkový zdroj inštalovaných kapacít.

3 Smart Heating and Cooling network

3.1 Obecný popis

V minulosti bola do popredia stavaná predovšetkým centralizovaná výroba energií z ekonomických dôvodov a kvôli spoľahlivosti chodu. V súčasnosti, s rozvojom technických prostriedkov pre distribuované meranie, riadenie a optimalizáciu siete a taktiež kvôli snahe znižovania emisií a zvyšovania účinnosti energetických procesov, prechádzajú súčasné energetické sústavy premenou, v ktorej bývajú do energetických sietí výraznejšie zaraďované decentralizované zdroje el. energie a tepla.

Zvlášť úsilie zníženia strát pri prenose energií vedie k trendu decentralizácie, čo má za následok zlepšenie sebestačnosti koncových užívateľov, avšak aj nárast komplexnosti energetických systémov.

V prípade výroby el. energie sa jedná predovšetkým o obnoviteľné zdroje energie (ďalej OZE) a pre zásobovanie objektov teplom sú v súčasnosti čoraz častejšie používané tepelné čerpadlá a menšie KJ, zásluhou ich vysokej účinnosti pri súčasnej výrobe el. energie a tepla.

Ako je však o OZE známe, vyznačujú sa prerušovanou a ťažko predikovateľnou výrobou energie, čo spôsobuje nestabilitu medzi výrobou a spotrebou energie.^[23]

Nárastom decentralizácie-komplexnosti sústav a zaradením OZE rastie dôležitosť prepojenia zdrojov a ich vzájomnej komunikácie z dôvodu zabezpečenia stability sústavy.

Vzájomná komunikácia a aktívna spolupráca jednotlivých zdrojov vedie k zvýšeniu spomínanej stability, flexibility a efektivity výroby a prenosu energií.

Práve týmto konceptom sa zaoberajú tzv. chytré siete, v ktorých dochádza k zásadnej zmene a to, že klasický model „Výroba – distribúcia – spotreba“ je nahradený rozptýlením transportovateľných kvánt energie do siete, kde predtým pasívne prvky siete (spotrebitelia) sa stanú aktívnymi prvkami sústavy (skladovatelia, distribútori v respektíve redistribútori energie).

Chytré siete predstavujú akýsi inteligentný a otvorený systém fungujúci na základe vzájomnej, interaktívnej komunikácii o aktuálnych potrebách výroby a spotreby energie medzi výrobnými zdrojmi a odberateľmi.^[24]



Obrázok 3.1- Komunikácia v rámci súčasnej a chytrej siete.

Na základe tejto komunikácie dokážu chytré siete monitorovať dej a technický stav siete a riešiť eventuálne poruchy, či výpadky.

Dôvody k aplikácii chytrých sietí:^[24]

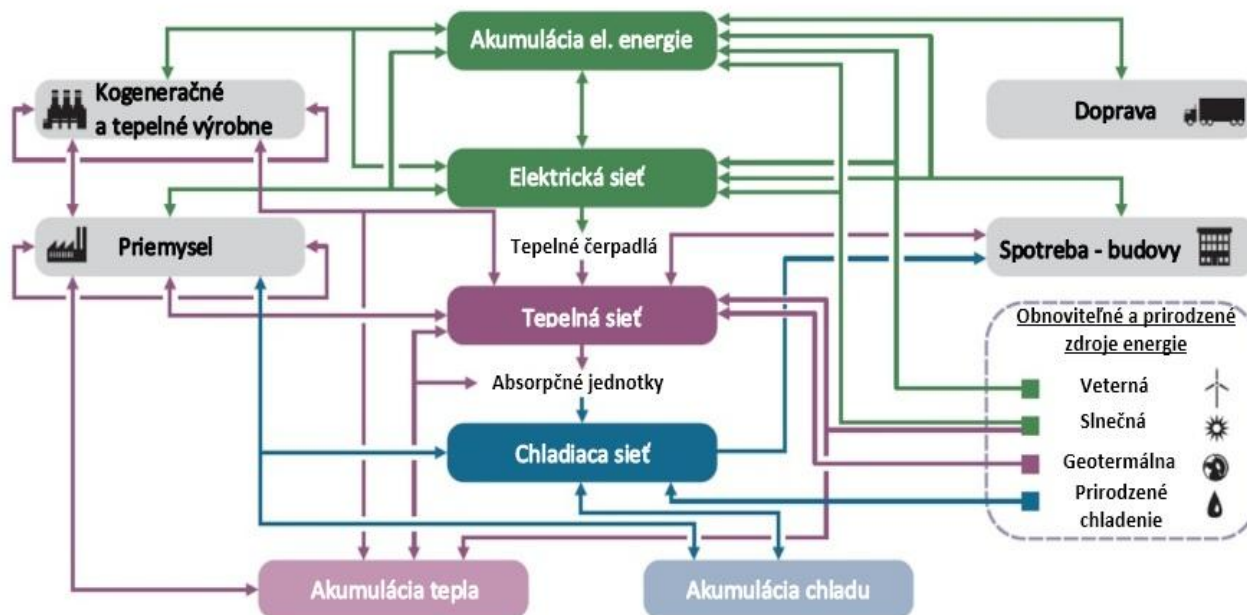
- ekologickejšia a efektívnejšia výroba energií
- lepšia regulácia spotrebných špičiek
- rýchlejšie obnovenie dodávky energie v prípade porúch
- možnosť ostrovej prevádzky, ktorá pri prerušení dôležitého vedenia zaistí prepojenie regiónu priamo na miestne výrobného zdroja s vyrovnanou bilanciou spotreby a dodávky elektrickej energie
- optimalizácia spotreby energie zákazníkom s prihliadnutím k cene a životnému prostrediu



Vzhľadom k spomínanej premene energetickej sústavy rastie tiež význam prepojenia výroby a užitia el. energie a tepla (poprípade chladu), čím sa dostávajú do popredia najmä KJ pôsobiacie ako pohotovú, stabilnú a efektívny zdroj výroby el. energie a tepla (chladu), ktorý dokáže pracovať v ostrovnom režime. [25]

V súčasnosti taktiež dochádza k rozvoju chladiacich sietí, čo je spôsobené najmä zvyšujúcou sa životnou úrovňou a tým väčšími nárokmi na zabezpečenie tepelnej pohody budov, čo zvyšuje potrebu chladu najmä v letných mesiacoch.

Nasledujúci obrázok 3.2 vznikol preložením z literatúry [25].



Obrázok 3.2- Možné prepojenie elektrizačnej, tepelnej a chladiacej sústavy v koncepte chytrých sietí.

Na obrázku 3.2 je znázornené možné prepojenie elektrickej, tepelnej a chladiacej siete. V tomto inteligentnom systéme môže byť do siete dodávaná energia výrobnými, zákazníkmi (spotrebiteľmi), či iným operátorom zapojeným do siete.

Okrem zmieneného prepojenia výroby el. energie a tepla sa očakáva aj rozsiahlejšie využitie tepelnej a elektrickej akumulácie a súčasné užšie prepojenie s dopravou a inteligentnými budovami. [23]

Otvorený inteligentný systém by mal pracovať so všetkými zdrojmi vyrovnane za trhovú cenu, ktorá sa platí pre všetky dodávky energií, bez ohľadu na typ výroby. Do siete by však mali byť zapojené iba OZE a zdroje s vysokou účinnosťou premeny energie. [25]

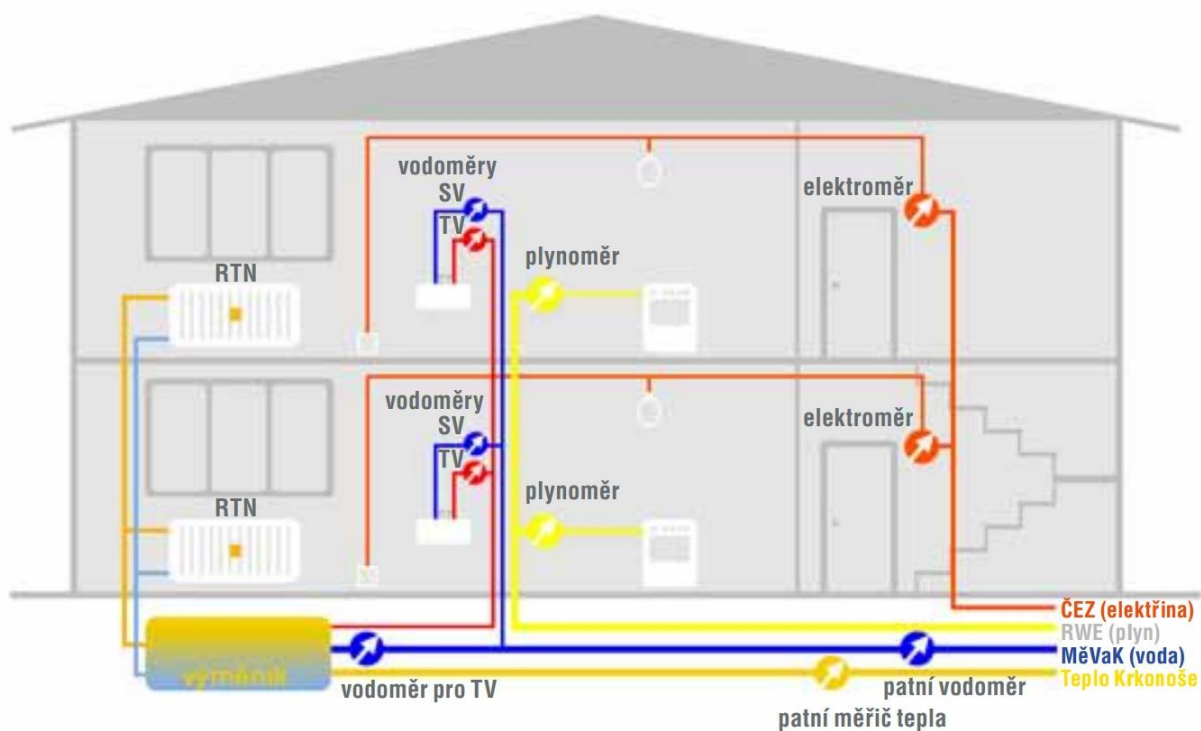
Vďaka najlepšej dostupnej technológii, by mal systém zvažovať použitie miestnych zdrojov energie, so súčasnou snahou čo najnižších emisií výroby a zabezpečiť transparentné ceny energií pre zákazníkov. [25]

3.2 Meranie spotreby energií

Bežné meracie zariadenia merajú spotrebu energie na odbernom mieste a dáta ukladajú do tzv. registra. Tento register raz ročne odčíta pracovník distribútora a dáta predá do zákazníckeho centra, kde sa podľa toho spracuje faktúra. [26]

Moderné „inteligentné“ meracie zariadenia merajú spotrebu priebežne a dáta ukladajú každých 15 minút do svojej pamäte. Tieto dáta sa automaticky prenášajú do dátového centra, kde sa využívajú nielen pre fakturáciu ale aj pre plánovanie a lepšie technické riadenie siete. V prípade elektromerov tieto moderné zariadenia dokážu vyhodnotiť aj kvalitu dodávky ako predpätie, podpätie odchýlky od požadovanej frekvencie atď. [26]

Nový systém merania, ktorý je v koncepte chytrých sietí inštalovaný, je tzv. multiulitný. To znamená, že sa bude merať spotreba všetkých energií odoberaných domácnosťou. Dôvodom je už spomenutá vzájomná komunikácia dodávateľov a odberateľov, a teda možnosť diaľkového odčítania dát, k čomu je nutné vymeniť bežné meracie zariadenia za moderné „inteligentné“, ktoré budú taktiež digitálne. [26]



Obrázok 3.3- Základná schéma multiulitného domu [26].

V tomto multiulitnom dome je meraná el. energia, plyn, studená a teplá voda, teplo pre vykurovanie, či indikátory vykurovacích nákladov inštalované na radiátoroch.

Tieto namerané dáta sú pre spotrebiteľov dostupné na internetových portáloch, kde je možné sledovať spotrebu energií v rozlíšení jedného dňa, v prípade spotreby el. energie v detaile až jednotlivých hodín. Kvôli ochrane dôvernosti sú prihlasovacie údaje a heslo predávané zabezpečeným spôsobom.

Pri spracovaní sú dáta získané z meracích zariadení anonymné, takže nie je zrejmé k akému odbernému miestu prislúchajú, čím sa predchádza k ich zneužitiu a k spojeniu technických dát s identifikátorom zákazníka dochádza až vo fakturačnom dátovom centre. [26]

V roku 2010 spoločnosť ČEZ zahájila pilotný projekt Smart region Vrchlabí na testovanie chytrých sietí v podmienkach Českej republiky. Práve spomenuté multiulitné meranie je v tomto projekte použité a taktiež internetové portály zobrazené na obrázku 3.4.



Obrazovka portálu BYTHERM spol. s.r.o.- spotreba tepla



Obrazovka portálu Skupiny ČEZ- spotreba el.energie

Obrázok 3.4- Dáta dostupné pre spotrebiteľov v rámci projektu chytrého regiónu Vrchlabí [26].

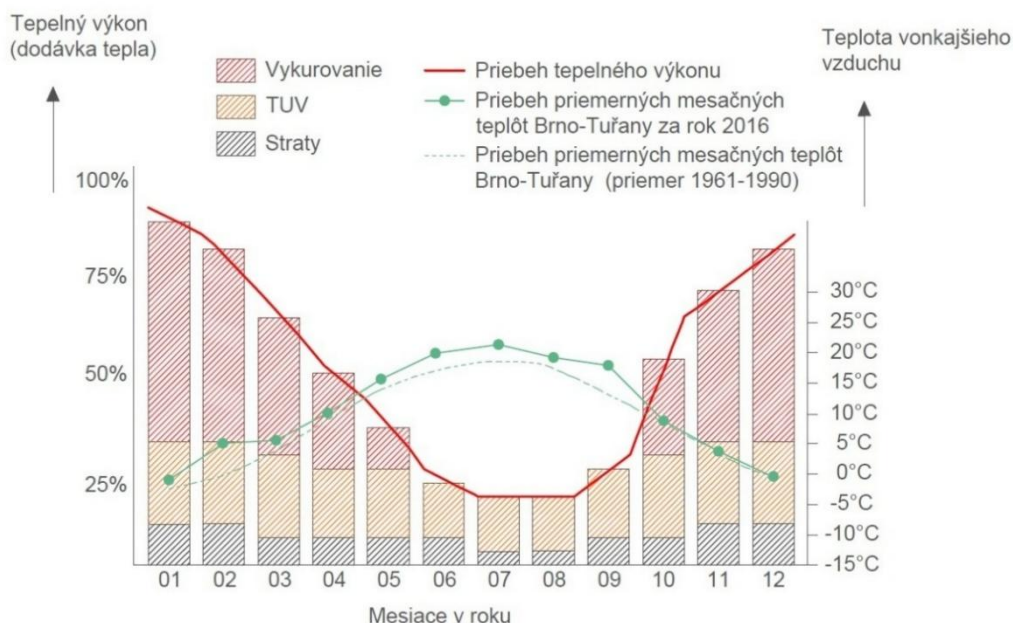
3.3 Potreba tepla a dimenzovanie kogeneračnej jednotky so spaľovacím motorom

3.3.1 Potreba tepla

Základným predpokladom uplatnenia KJ je dostatočná potreba tepla v ekonomickej vzdialenosti od lokality zdroja.

Elektrizačná sústava v prípade KJ predstavuje akýsi globálny systém, ktorý je schopný absorbovať celoročne prakticky ľubovoľný elektrický výkon. Avšak, v prípade tepelnej sústavy, či sa už jedná o vykurovací systém jedného objektu alebo rozsiahly systém centralizovaného zásobovania teplom, bude mať vždy lokálny charakter, čo znamená že tepelná sústava je schopná absorbovať iba obmedzený tepelný výkon. [27]

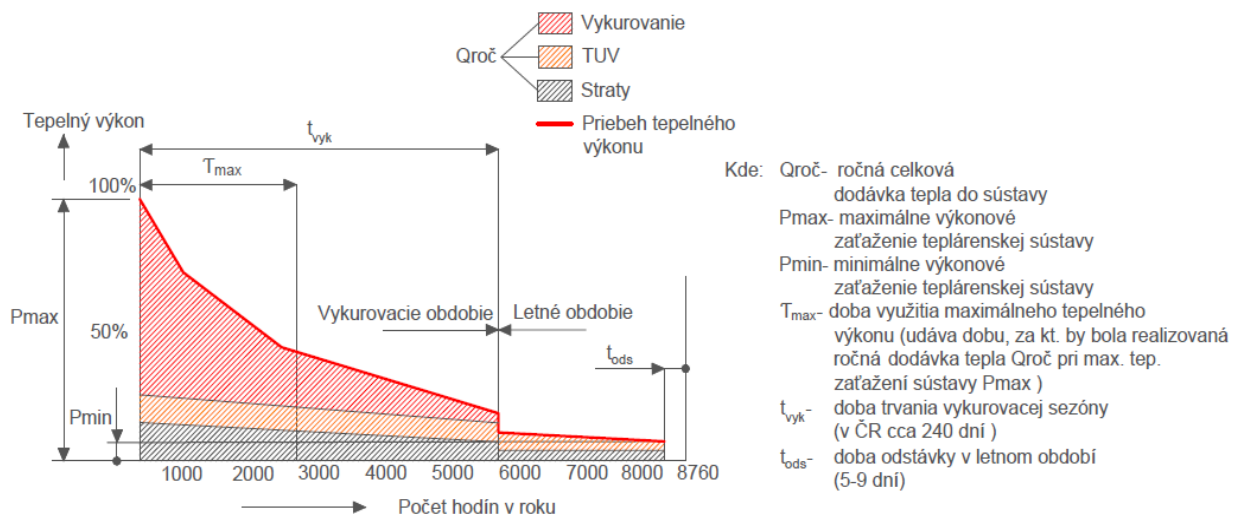
Navyše, je tento tepelný výkon závislý od teploty vonkajšieho vzduchu a tým pádom značne rozdielny v zimnom a letnom období, čo je aj vidieť na nasledujúcom obrázku 3.5, ktorý bol vytvorený na základe literatúry [27] a [28].



Obrázok 3.5- Spotreba tepla zo sústavy a priebeh priemerných teplôt vonkajšieho vzduchu v priebehu roka.

Pred návrhom veľkosti KJ je bezpodmienečne nutné poznať (prípadne skonštruovať) diagramy potreby tepla (ročné, mesačné, denné). V prípade, ak je KJ určená výhradne pre krytie vlastnej spotreby el. energie určitého areálu či objektu, je potrebné poznať diagramy jej potreby. [27]

Nasledujúci obrázok 3.6 bol zostrojený na základe literatúry [27] a jedná sa o trvanie tepelného výkonu typickej tepelnej sústavy počas roka s rozlíšením spotreby pre príslušné účely využitia tepla (bez spotrieb pre technológie). Zároveň, obrázok 3.6 znázorňuje základné ukazovatele tepelných sústav, ako P_{max} , P_{min} , t_{vyk} atď., ktoré sú popísané na obrázku.

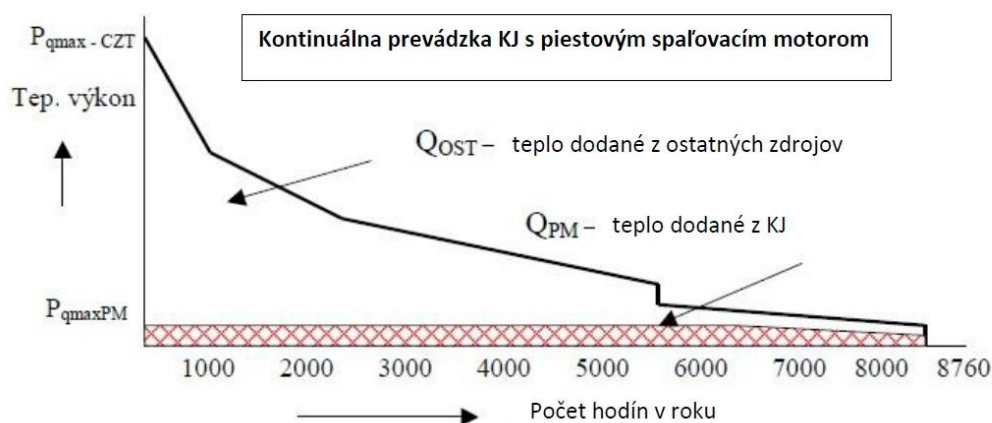


Obrázok 3.6- Ročný diagram trvania potreby tepla s rozlíšením účelu spotreby.

3.3.2 Doba využitia kogeneračnej jednotky

KJ so spaľovacím motorom je možné, vďaka relatívne veľkému výkonovému rozsahu a možnosti častých štartov a odstávok, dimenzovať s ohľadom na priebeh potrieb el. energie (najčastejšie priebeh vlastnej spotreby el. energie v zdroji), alebo s ohľadom na priebeh potreby tepla. [27]

V prvom prípade (dimenzovanie na potrebu el. energie) je ale nutné zvažovať kontinuálne využitie vyrábaného tepla (tepelný výkon by mal byť do úrovne letných potrieb príslušnej sústavy) a jedná sa teda o kontinuálnu prevádzku menších jednotiek, ktoré nedodávajú el. energiu do siete, pretože celá výroba sa využíva na vlastnú spotrebu. [27]

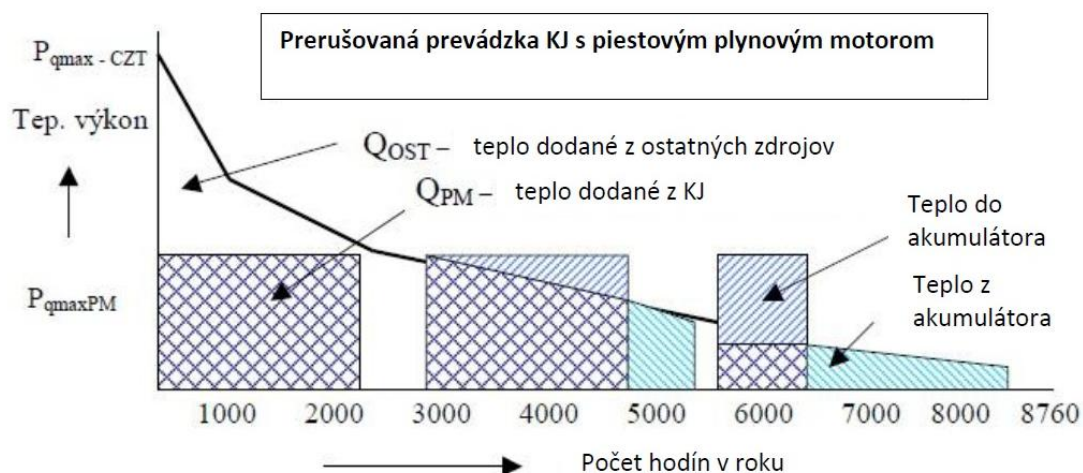


Obrázok 3.7- Ročný diagram trvania tepelného výkonu s KJ dimenzovanou na potreby el. energie [27].



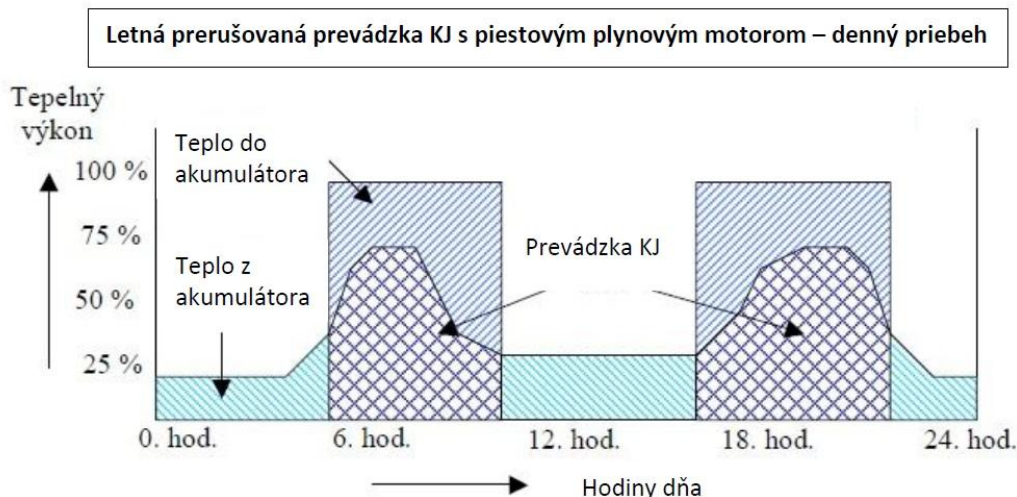
Z obrázka 3.7 je zřejmé, že KJ v tomto případě je iba akýmsi doplnkovým zariadením, ktoré má za primárny účel znížiť náklady na nákup el. energie zo siete.

V druhom prípade (dimenzovanie na potrebu tepla) sa jedná o prerušovanú prevádzku relatívne väčších jednotiek s programovo riadenými dodávkami el. energie do siete. Počas letných mesiacov sa však jedná o výkony vyššie ako je potreba príslušnej sústavy, preto je vhodné použiť akumulátor tepla a koncentrovať prevádzku do cenovo výhodných tarifných pásiem pre dodávku el. energie do siete. [27]



Obrázok 3.8- Ročný diagram trvania tepelného výkonu s KJ dimenzovanou na potrebu tepla [27].

Ako je patrné z obrázka 3.8, taktiež sú potrebné spolupracujúce zdroje tepla, avšak tepelný výkon KJ je možné považovať za plnohodnotnú súčasť inštalovaných kapacít na pokrytie špičkových potrieb tepla. [27]



Obrázok 3.9- Denný diagram priebehu tepelného výkonu s KJ dimenzovanou na potrebu tepla [27].

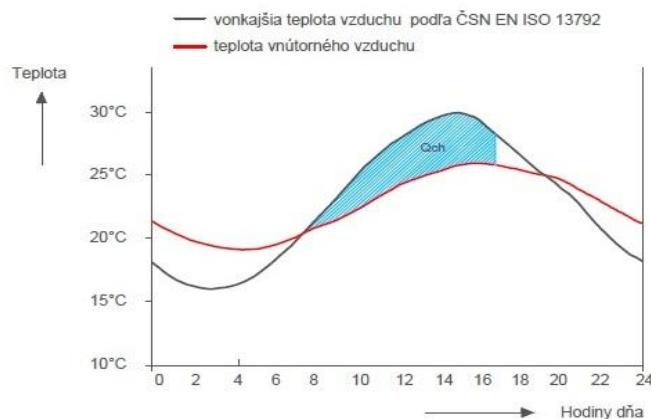
Prerušovaný spôsob prevádzky predstavuje napr. šesťhodinová prevádzka v zimnom období (odstávka na noc), dvanásťhodinová prevádzka v prechodovom období (odstávka v dobe poludňajšieho útlmu) a osemhodinová prevádzka v letnom období znázornená na obrázku 3.10 (štyri hodiny ráno a štyri hodiny večer). Samozrejme, prerušovaný spôsob prevádzky môže byť volený aj podľa iných kritérií ako bolo demonštrované. [27]

Například, cenová výmera pre príspevky k výkupnej cene el. energie vyrábané formou KVET rozlišuje výšku príspevku podľa toho, či je zdroj prevádzkovaný nepretržite, alebo iba 8 hodín denne v pásme vysokého tarifu, čo je možné vidieť na obrázku 2.14. Taktiež, táto cenová výmera platí pre zdroje KVET do 5 MWe inštalovaného výkonu.

Iné časové podmienky pre optimálnu prevádzku KJ môžu nastať v priemyslových podnikoch, ktoré majú špecifické nároky na priebeh odberu el. energie alebo individuálne obchodné zmluvy na nákup el. energie zo siete. [27]

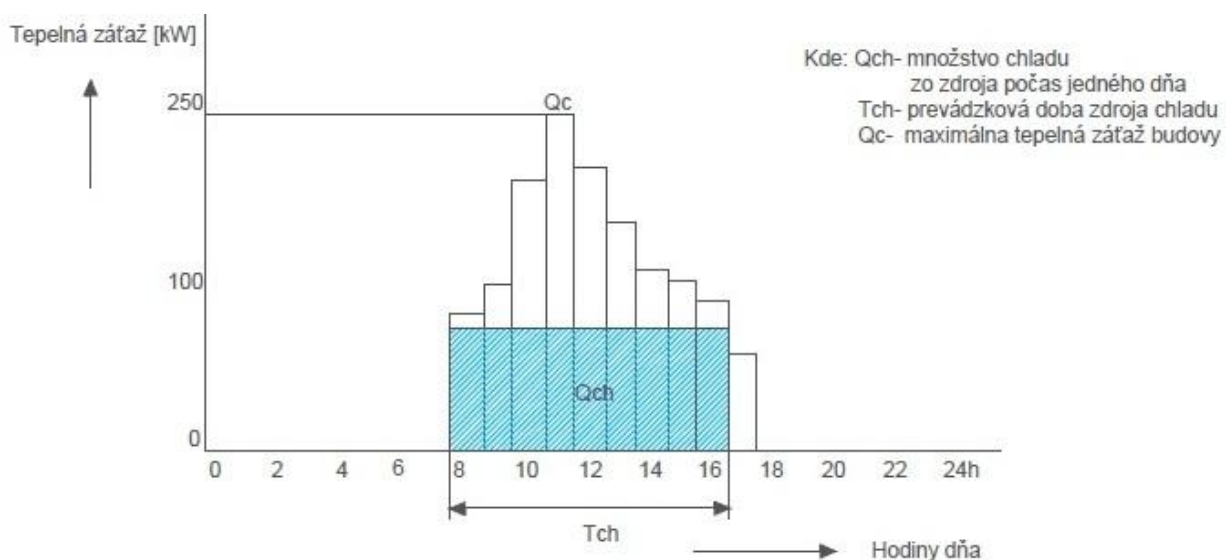
3.3.3 Prínos trigenerácie

Na obrázku 3.10 je znázornený priebeh teplôt vonkajšieho vzduchu podľa ČSN EN ISO 13792 a priebeh teplôt vnútorného vzduchu budovy. Oba priebehy teplôt predstavujú deň v letnom období a boli skonštruované podľa zdroja [29].



Obrázok 3.10 - Priebeh teplôt vonkajšieho vzduchu a vnútorného vzduchu budovy počas dňa v letnom období.

S nárastom teploty vonkajšieho vzduchu rastie aj tepelná záťaž budovy, čo je možné vidieť na obrázku 3.11. Teplota vnútorného vzduchu pre komfortnú klimatizáciu sa pohybuje od 22°C v zime po 26°C v lete. Avšak, maximálny rozdiel medzi teplotami vonkajšieho vzduchu a vzduchu vo vnútornom klimatizovanom prostredí by nemal prekročiť 6°C. Čo znamená, že pri teplote vonkajšieho vzduchu 31°C, by teplota vnútorného vzduchu nemala klesnúť pod 26°C. [30]



Obrázok 3.11- Tepelná záťaž budovy a množstvo chladu zo zdroja v priebehu dňa v letnom období [31].

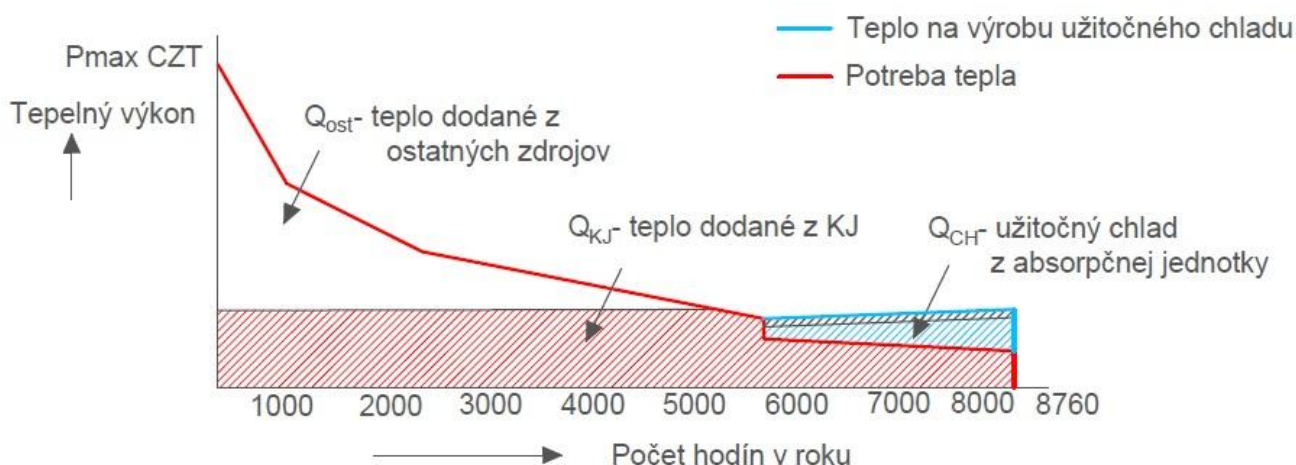
Na to, aby boli zachované komfortné teploty vnútorného prostredia počas letného obdobia je potreba určité množstvo chladu. Zdrojom tohto chladu môže byť AJ pripojená ku KJ, pričom pre toto zoskupenie sa zaviedol termín trigenerácia. [32]

Výhodou použitia trigenerácie je možné použitie väčších KJ s kontinuálnou prevádzkou, ako je možné vidieť na nasledujúcom obrázku 3.12, kt. bol vytvorený podľa zdroja [32].

Vďaka trigenerácii nie je nutné obmedziť výrobu el. energie len podľa potreby tepla (v letnom období iba na ohrev TUV), ale výroba el. energie je obmedzená potrebou tepla a zároveň v letnom období na potrebu tepla a chladu, čo umožňuje použiť KJ o väčšom výkone. Prípadne je nevyužitie teplo marené v núdzovom chladiči, čomu sa ale kvôli úsiliu o väčšiu ekologickosť a vyššiu účinnosť pri výrobe el. energie snažíme vyhnúť.

Čiže výroba chladu z nevyužitého tepla KJ nám umožňuje použitie väčších KJ, ktoré ale musia byť dimenzované tiež tak, aby bolo výsledné teplo a chlad využité.

Keďže je možné v objektoch použiť väčšie KJ s dlhšou prevádzkou, je zrejmé, že KJ v tomto prípade netvorí len akési doplnkové zariadenie, ako je tomu na obrázku 3.7. Môže sa teda jednať o plnohodnotný špičkový, pološpičkový, či základný zdroj inštalovaných kapacít, ktorý pokryje vlastnú spotrebu el. energie a tepla objektu a zároveň prebytky energií dodáva do siete.



Obrázok 3.12- Ročný diagram trvania tepelného výkonu KJ pri spojení s AJ v letnom období..

Pri návrhu zapojenia KJ s AJ je potreba zohľadniť určité prevádzkové parametre, najmä však teplotné. KJ s el. výkonom do cca 400 kW pracujú zvyčajne s teplotným spádom obehovej vody 90/70 °C a maximálna teplota obehovej vody na vstupe do KJ býva blokovaná na cca 73°C. Teplota 90°C na výstupe z KJ je dosť nízka pre AJ, kde sa bežne používa voda s teplotou od 100°C. Navyše v AJ dôjde len k ochladeniu vody o cca 10 °C, čiže teplotný spád v AJ je 100/90 °C oproti teplotnému spádu 90/70 °C v KJ. [32]

Potrebná je teda zmena teplôt obehovej vody v KJ, čo spôsobí pokles stredného teplotného logaritmického spádu, ktorý ovplyvňuje výpočet veľkosti teplosmennej plochy výmenníkov v sústave KJ. Vplyv rozdielneho teplotného spádu sa prejaví aj pri návrhu obehových čerpadiel, ktoré majú byť stavané na rozdielne prietochné pomery v zime a v lete. Taktiež je potrebné výrobcu KJ požiadať o úpravu vnútorného zapojenia KJ a blokačných podmienok s prihliadnutím na vyššiu vstupnú teplotu obehovej vody. [32]

Môže byť navrhnutá aj AJ na vstupnú teplotu vykurovacej vody 90°C. Avšak, v tom prípade bude musieť byť takáto jednotka na rovnaký chladiaci výkon väčšia a tým aj drahšia. Problém s rozdielnym teplotným spádom však zostáva, pretože ochladenie vody v AJ je len uvedených 10 °C. [32]

Pri analýze spojenia KJ s AJ je preto potrebné dbať na teplotné pomery, aby do absorpčnej jednotky nebolo privádzané teplo s nižšou teplotou na akú bola jednotka dimenzovaná, pretože pri zníženej vstupnej teplote nie je chladiaca jednotka schopná vyrobiť potrebné množstvo chladu.

Prípadne, môže byť v prevádzke aj KJ aj plynový kotol na prihrievanie obehovej vody, čím by sa však stratil efekt lepšieho využívania energie. [32]

3.4 Zhrnutie

V dôsledku rozširujúcej sa zástavby bytových centier a priemyslových areálov rastie aj preťaženie distribučnej siete. Navyše, použitím alternatívnych zdrojov energií a neschopnosti predikcie ich vstupu dochádza k striedaniu masového presunu energií a nepredvídateľných výpadkov. Pre tieto dôvody v koncepte chytrých sietí figurujú KJ ako pohotovú zdroj decentralizovanej výroby, ktorým je možné nevyrovnanosť siete korigovať. Tieto KJ sú často inštalované pre dodávku energií v sídliskách, či areálových kotolniciach.

Nadriadený systém, na ktorý sú chytré siete napojené, taktiež vyhodnocuje čo najvhodnejšiu alternatívu využitia zdrojov zapojených do siete vzhľadom k ekologickosti, efektívnosti výroby a k aktuálnym poveternostným podmienkam.

Vhodné použitie KJ s piestovým spaľovacím motorom je aj v stredných, prípadne malých zdrojoch, ktoré pokrývajú potrebu energií (potreba tepla v teplej vode a potreba el. energie v nižších napäťových hladinách) určitého objektu. Takéto objekty môžu byť rozsiahlejšie komplexy občianskej vybavenosti (nemocnice, plavecké a športové haly, obchodné a administratívne centrá). V týchto areáloch KJ pokrývajú vlastnú spotrebu, avšak v prípade nadbytku energií a ich dopyte v sieti, by mohla byť táto energia do siete dodávaná.

Spojením KJ s AJ je možné použitie väčších KJ s kontinuálnou prevádzkou, pretože nie je nutné obmedziť výrobu el. energie len podľa potreby tepla (v letnom období iba na ohrev TUV), ale výroba el. energie je obmedzená potrebou tepla a zároveň v letnom období na potrebu tepla a chladu.

Pri dimenzácii spojenia KJ s AJ je potreba dbať na teplotné prevádzkové parametre, pretože KJ s el. výkonom do cca 400 kW pracujú zvyčajne s teplotným spádom obehovej vody 90/70 °C, ale bežne používaná teplota na vstupe do AJ býva aspoň 100 °C. Navyše v AJ dôjde len k ochladeniu vody o cca 10 °C, čiže teplotný spád v absorpčnej jednotke je 100/90 °C oproti teplotnému spádu 90/70 °C v KJ.

Riešením tohto problému môže byť zmena teplôt obehovej vody v KJ, čo ovplyvní výpočet veľkosti teplosmennej plochy výmenníkov v sústave KJ a zároveň sa to prejaví aj pri návrhu obehových čerpadiel, ktoré by mali byť stavané na rozdielne prietochné pomery v zime a v lete. Alebo môže byť navrhnutá AJ na vstupnú teplotu vykurovacej vody 90°C, potom však bude musieť byť takáto jednotka na rovnaký chladiaci výkon (ako pri vstupe vody 100°C) väčšia a tým aj drahšia.

4 Implementačný model kogeneračnej jednotky

4.1 Kogeneračná jednotka MOTORGAS MGM250

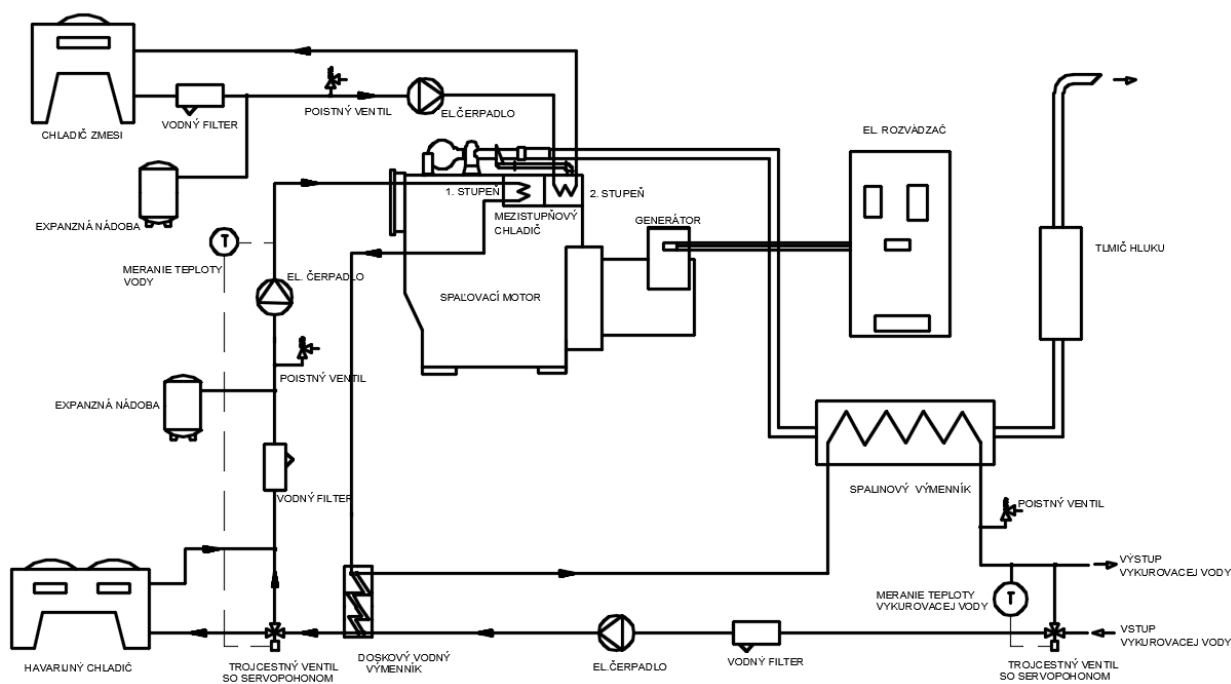
4.1.1 Základné údaje



Obrázok 4.1- Kapotové prevedenie KJ MOTORGAS MGM 250 [33].

KJ je kapotového prevedenia, a teda určená na umiestnenie v krytom priestranstve, strojovni. Minimálna teplota v strojovni by mala byť 5°C, aby nedochádzalo k problémom so zamŕzaním a boli zabezpečené lepšie podmienky štartovania. Vetrание strojovne by malo byť v súlade s tepelnými stratami KJ, avšak minimálna výmena vzduchu strojovne by mala byť 3 krát za hodinu. [33]

Kapota (protihlukový kryt) je vybavená ventilátorom pre vetranie ventilačného vzduchu, čím sa odvádza nízopotenciálne teplo vyžiarené povrchom motora z vnútorného priestoru kapoty.



Obrázok 4.2- Technická schéma KJ MOTORGAS MGM 250[33].

KJ je určená primárne na teplotný spád 90/70 °C a teplota vratnej vody je regulovaná trojcestným ventilom.

Pohonná jednotka je motor MAN E 2848 LE322 stavaný na spaľovanie plynných palív, vhodné zemného plynu. Tlak plynu na vstupe do motora by mal byť v rozmedzí 3 – 5 kPa. Motor pracuje s koncepciou spaľovania chudobnej zmesi (lean burn technology) s pomerom vzduch/palivo približne 1,45.

KJ splňuje emisné limity pre ČR podľa vyhlášky 146/2007 uvedené v podkapitole 2.3.5.

Ďalšou súčasťou KJ je synchronný generátor LEROY SOMER LSAC 47.2 VS2 s nominálnym zdanlivým výkonom 330 kVA a nominálnym činným výkonom 264 kW.

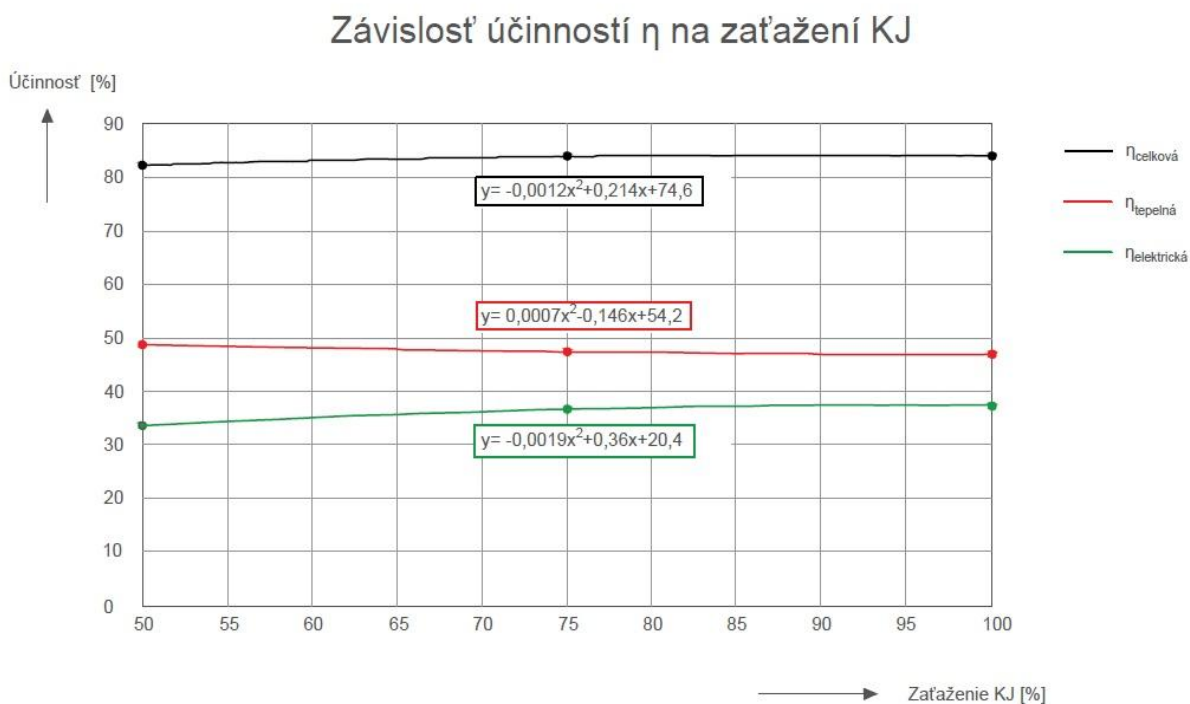
KJ je taktiež vybavená vzduchovým chladičom S-GFH 067A/3-N(D)-F6/2P s tromi ventilátormi, ktoré dokážu vyvinúť prietok vzduchu až 38800 m³/h. Dva ventilátory slúžia ako havarijný chladič a zvyšný jeden je použitý ako chladič plniacej zmesi. ^[33]

4.1.2 Technické dáta

Tabuľka 4.1- Účinnosti KJ MOTORGAS MGM 250 pri rôznom zaťažení [33].

Zaťaženie KJ [%]	100	75	50
Celková účinnosť η_{celk} [%]	84	83,9	82,3
El. účinnosť η_{el} [%]	37,2	36,6	33,6
Tep. účinnosť η_{tep} [%]	46,8	47,3	48,2
Účinnosť generátora η_{celk} [%]	95,4	95,5	95,1

Na základe údajov z prospektu KJ je možné zostrojiť grafické závislosti účinnosti na zaťažení KJ a priebeh týchto kriviek popísať rovnicami.



Obrázok 4.3- Závislosť účinností na zaťažení KJ s rovnicami popisujúcimi ich priebeh.

Funkcia popisujúca závislosť celkovej účinnosti η_{celk} (y) na zaťažení KJ (x):

$$y = -0,0012x^2 + 0,214x + 74,6 \quad (4.1)$$



Funkcia popisujúca závislosť tepelnej účinnosti η_{tep} (y) na zaťažení KJ (x):

$$y = 0,0007x^2 - 0,146x + 54,2 \quad (4.2)$$

Funkcia popisujúca závislosť tepelnej účinnosti η_{el} (y) na zaťažení KJ (x):

$$y = -0,0019x^2 + 0,36x + 20,4 \quad (4.3)$$

Ako palivo bolo počítané so zemným plynom, ktorý má výhrevnosť $Q_i^r = 33500 \text{ kJ/Nm}^3$ podľa literatúry [34].

Tabuľka 4.2- Príkion v palive a výkon motora na hriadeli pri rôznom zaťažení KJ [33].

Zaťaženie KJ [%]	100	75	50
Príkion v palive Q_{pal} [kW]	680	522	374
Výkon motora na hriadeli $P_{hriadel}$ [kW]	265	200	132

Keďže je známa výhrevnosť paliva Q_i^r a energia privedená v palive Q_{pal} do KJ, môže sa dopočítať spotreba paliva potrebná na dosiahnutie požadovaného výkonu. Pre názornosť je výpočet s hodnotami pri 100% zaťažení KJ.

$$V_{pal} = \frac{Q_{pal}}{Q_i^r} [\text{Nm}^3/\text{s}] \quad (4.4)$$

$$V_{pal} = \frac{680}{33500} = 0,020 \text{ Nm}^3/\text{s}$$

$$V_{pal} = 0,020 \cdot 3600 = 73,08 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

Výpočet el. výkonu P_{el} a tep. výkonu Q_t pre 100% zaťaženie je nasledovný:

$$P_{el} = Q_{pal} \cdot \eta_{el} \text{ [kW]} \quad (4.5)$$

$$P_{el} = 680 \cdot 0,372 = 252,96 \text{ [kW]}$$

$$Q_t = Q_{pal} \cdot \eta_t \text{ [kW]} \quad (4.6)$$

$$Q_t = 680 \cdot 0,468 = 318,24 \text{ [kW]}$$

Tabuľka 4.3- Spotreba paliva a jednotlivé výkony KJ pri rôznom zaťažení.

Zaťaženie KJ [%]	100	75	50
Spotreba paliva V_{pal} [Nm^3/s]	0,020	0,016	0,011
Spotreba paliva V_{pal} [Nm^3/h]	73,08	56,10	40,19
El. výkon P_{el} [kW]	253	191	126
Tep. výkon Q_t [kW]	318	247	182

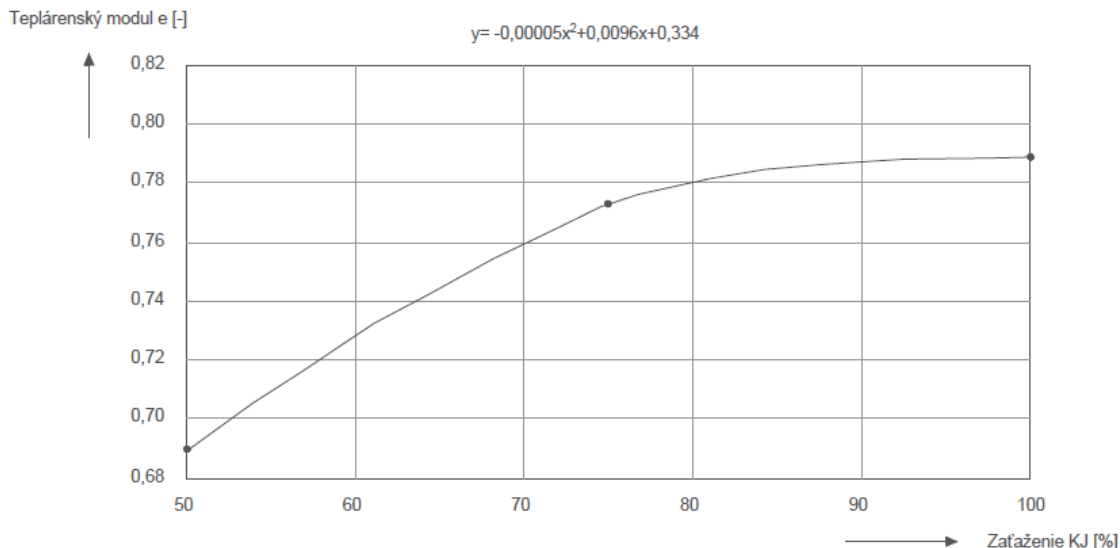
4.1.3 Grafické závislosti a ich funkcie

Ako bolo uvedené v podkapitole 2.1.2, pre úsporu PEZ je vhodná prevádzka KJ pri čo najvyššej celkovej tepelnej účinnosti η_{celk} a pri čo najvyšších hodnotách teplotného modulu e . Najvyššie hodnoty celkovej tepelnej účinnosti η_{celk} podľa grafickej závislosti uvedenej na obrázku 4.3 má KJ MOTORGAS MGM 250 pri 100 % zaťažení a so znižujúcim zaťažením jej hodnota klesá. Pre hodnoty teplotného modulu e tiež platí, že so znižujúcim sa zaťažením klesá výraznejšie el. výkon P_{el} . To vo výsledku zapríčini nižšie hodnoty parametra e , ako je

možné vidieť na nasledujúcom obrázku 4.4, zobrazujúci závislosť hodnôt teplotného modulu e vzhľadom k zaťaženiu KJ.

Pre ekologickejšiu prevádzku KJ teda platí, že by mala byť prevádzkovaná pri čo najväčšom zaťažení.

Závislosť teplotného modulu e na zaťažení KJ



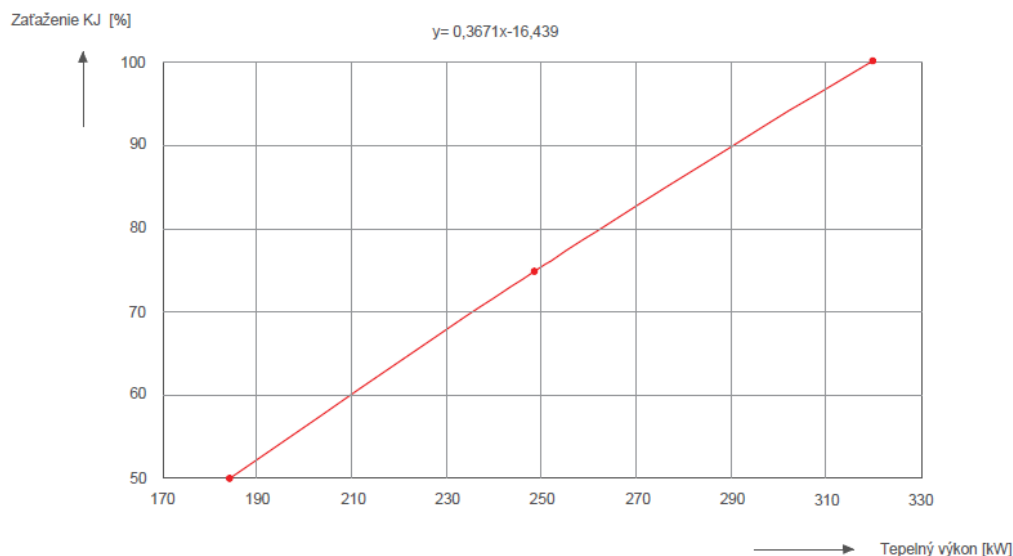
Obrázok 4.4- Závislosť teplotného modulu e na zaťažení KJ.

Funkcia popisujúca závislosť teplotného modulu e (y) na zaťažení KJ (x):

$$y = -0,00005x^2 + 0,0096x + 0,334 \quad (4.7)$$

Ďalšie závislosti KJ MOTORGAS MGM 250 znázorňujú hodnotu zaťaženia KJ vzhľadom k potrebnému tep. výkonu KJ, závislosť el. výkonu P_{el} na zaťažení KJ, hodnoty príkonu v palive Q_{pal} vzhľadom k el. výkonu P_{el} či spotrebu paliva V_{pal} vzhľadom k el. výkonu P_{el} . Všetky tieto závislosti sú popísané aj funkciami, pomocou ktorých je možné určiť dostatočne presnú hodnotu hľadanej veličiny pri konkrétnych prevádzkových parametroch KJ.

Závislosť zaťaženia KJ na tep. výkone Q_t



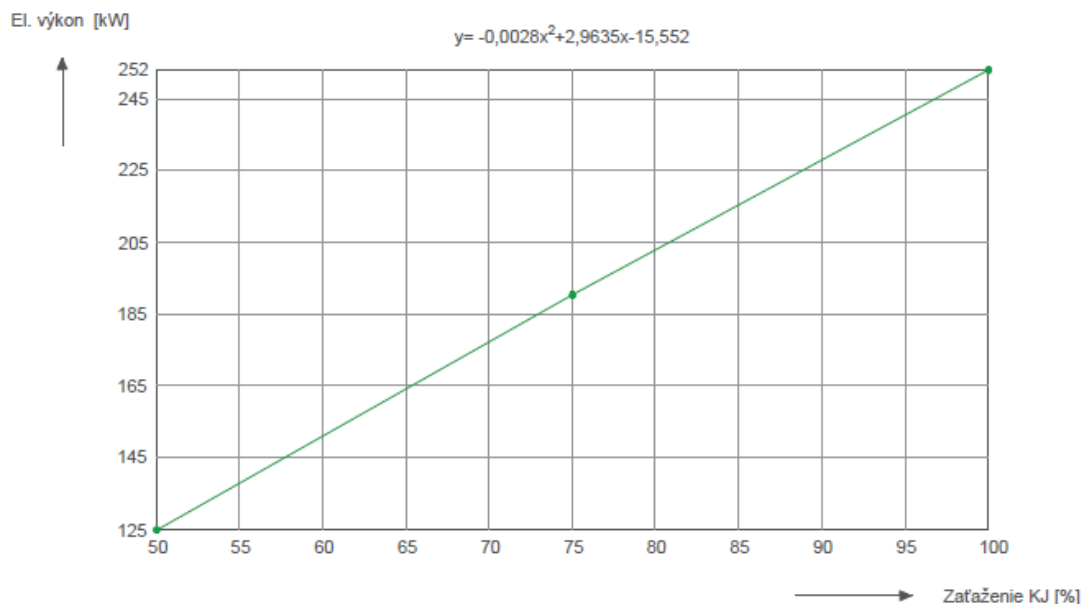
Obrázok 4.5- Závislosť zaťaženia KJ na potrebnom tep. výkone Q_t .



Funkcia popisujúca závislosť zaťaženia KJ (y) na potrebnom tep. výkone Q_t (x):

$$y = 0,3671x - 16,439 \quad (4.8)$$

Závislosť el. výkonu Pel na zaťažení KJ

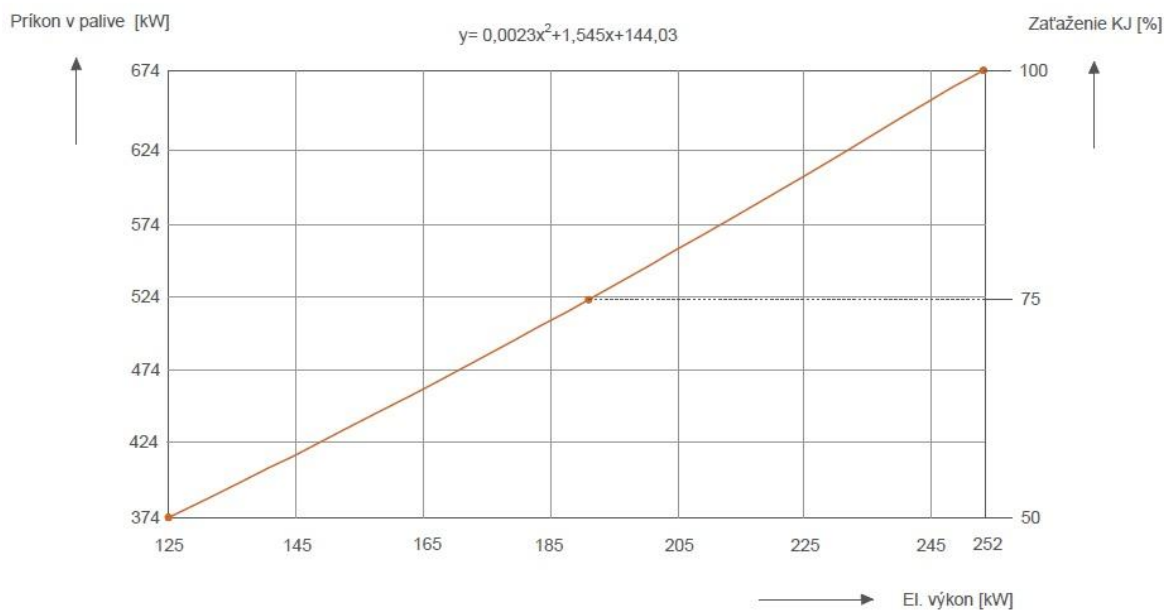


Obrázok 4.6- Závislosť el.výkonu Pel na zaťažení KJ.

Funkcia popisujúca závislosť el. výkonu P_{el} (y) na zaťažení KJ (x):

$$y = -0,0028x^2 + 2,9635x - 15,552 \quad (4.9)$$

Závislosť príkonu v palive Q_{pal} na el. výkone Pel

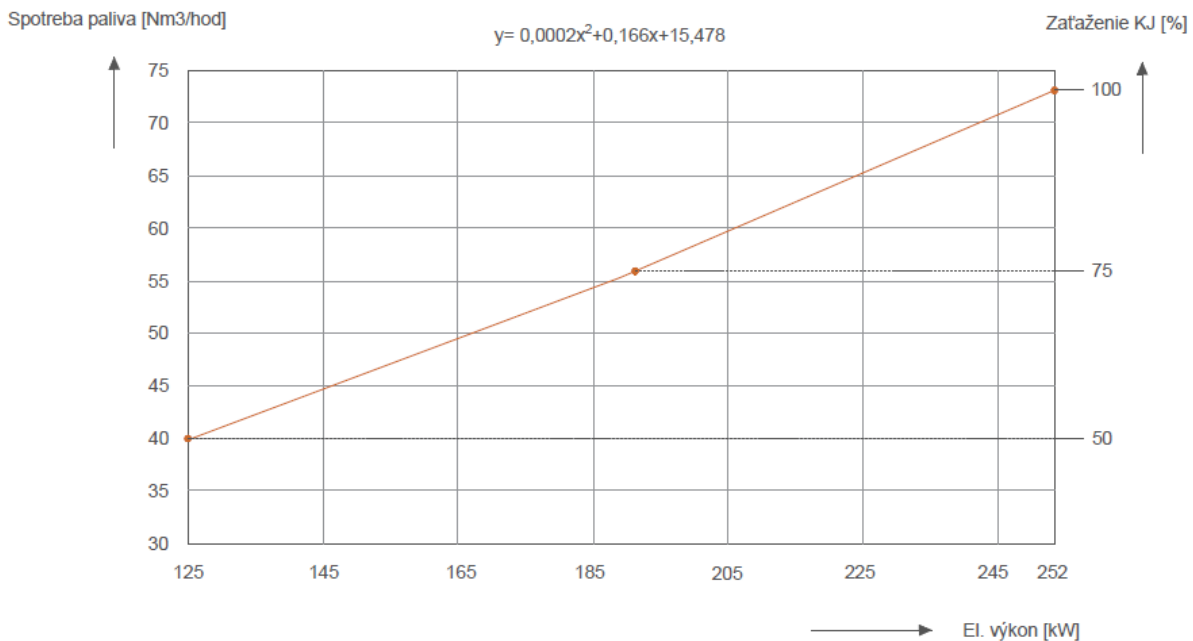


Obrázok 4.7- Závislosť príkonu v palive Q_{pal} na el. výkone Pel pri rôznom zaťažení.

Funkcia popisujúca závislosť príkonu v palive Q_{pal} (y) na el. výkone P_{el} (x):

$$y = 0,0023x^2 + 1,545x + 144,03 \quad (4.10)$$

Závislosť spotreby paliva V_{pal} na el. výkone P_{el}



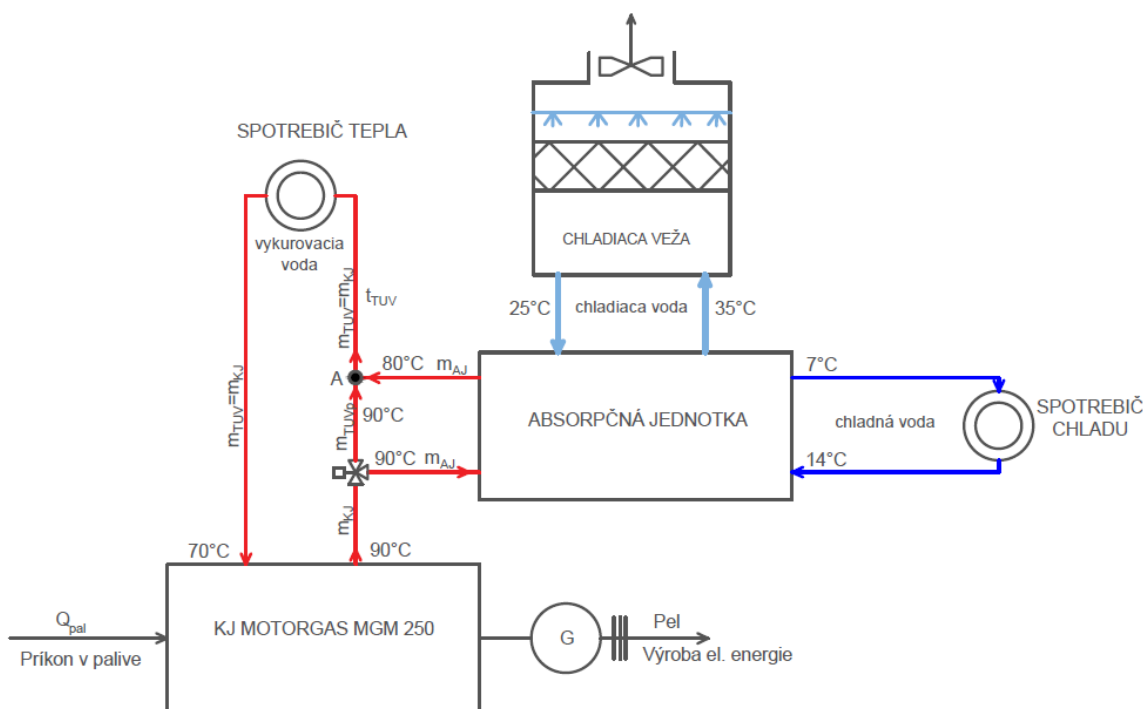
Obrázok 4.8- Závislosť spotreby paliva V_{pal} na el. výkone P_{el} pri rôznom zaťažení KJ.

Funkcia popisujúca závislosť spotreby paliva V_{pal} (y) na el. výkone P_{el} (x):

$$y = 0,0002x^2 + 0,166x + 15,478 \quad (4.11)$$

4.2 Zapojenie kogeneračnej jednotky s absorpčnou jednotkou

Na obrázku 4.9 je znázornené spojenie KJ a AJ s prislúchajúcimi teplotnými spádmi. Teplotný spád vykurovacej vody vstup do/výstup z AJ je za každých podmienok stály 90/80°C. Následne sa táto vykurovacia voda využíva spotrebičom tepla na ohrev TUV, pričom teplotný spád slúžiaci na ohrev TUV nie je vždy stály a mení sa podľa tepelnej bilancie prislúchajúcej na obrázku 4.9 bodu A. Dôvodom je regulácia množstva vykurovacej vody o teplote 90°C na vstupe do AJ. Pre prípad vstupu všetkej vykurovacej vody z KJ (90°C) do AJ je teplotný spád na ohrev TUV 80/70°C. Pokiaľ však do AJ nevstupuje všetka vykurovacia voda z KJ (90°C) ale len jej určité množstvo, zvyšná časť vykurovacej vody (90°C) sa priamo používa na ohrev TUV a preto je tento teplotný spád na ohrev TUV o niečo vyšší ($t_{TUV}/70^\circ\text{C}$). Pre KJ pri spojení s AJ ale nedochádza k žiadnej zmene, a teda pracuje celoročne s teplotným spádom 90/70°C. Parametre okruhu chladiacej vody AJ pre vstup/výstup boli volené 25/35°C. Jedná sa o postupné, sériové zapojenie chladiacej vody, kde je najskôr chladený absorbér s parametrami chladiacej vody 25/30°C a potom kondenzátor s parametrami chladiacej vody 30/35°C. Následne sa táto chladiaca voda ochladí v chladiacej veži na pôvodných 25°C. Okruh chladnej vody pre účely využitia chladu bol volený s parametrami vstup do/výstup z AJ 14/7°C.



Obrázok 4.9- Teplotné spády pri zapojení KJ a AJ.

Kde: m_{KJ} [kg/s] - množstvo vykurovacej vody vstup do/výstup z KJ
 m_{AJ} [kg/s] - množstvo vykurovacej vody vstup do/výstup z AJ
 m_{TUVp} [kg/s] - množstvo vykurovacej vody z KJ použitej priamo k ohrevu TUV
 m_{TUV} [kg/s] - celkové množstvo vykurovacej vody použitej k ohrevu TUV
 t_{TUV} [°C] - teplota vykurovacej vody použitej na ohrev TUV

Pričom platí:

$$m_{KJ} = m_{AJ} + m_{TUVp} \text{ [kg/s]} \quad (4.12)$$

$$m_{KJ} = m_{TUV} \text{ [kg/s]} \quad (4.13)$$

Tepelná bilancia v bode A:

$$m_{TUV} \cdot t_{TUV} = m_{TUVp} \cdot 90^{\circ}\text{C} + m_{AJ} \cdot 80^{\circ}\text{C} \quad (4.14)$$

$$t_{TUV} = \frac{m_{TUVp} \cdot 90^{\circ}\text{C} + m_{AJ} \cdot 80^{\circ}\text{C}}{m_{TUVp}} \text{ [}^{\circ}\text{C]} \quad (4.15)$$

Zaradenie trojcestného ventilu umožňuje režim prevádzky KJ bez zapojenia AJ, ktorý je uplatnený v zimnom období. Počas letného obdobia ventil slúži na reguláciu množstva vykurovacej vody vstupujúcej do AJ, čím dochádza k regulácii potrebného chladiaceho výkonu Q_{CH} vzhľadom k zaťaženiu KJ a tepelnému výkonu na ohrev TUV Q_{TUV} . Avšak, toto prevedenie KJ a AJ môže byť použité aj v prechodovom, poprípade v zimnom období, kedy tep. výkon Q_{TUV} nemusí slúžiť výhradne na ohrev TUV, ale môže byť použitý na vykurovanie, či dokurovanie objektu.

4.3 Výpočet absorpčného obehu

Nasledujúci absorpčný obeh bol vypočítaný podľa literatúry [13],[35] a je určený pre parametre vhodné na využitie odpadného tepla pre zvolenú KJ MOTORGAS INDOOR MGM 250.

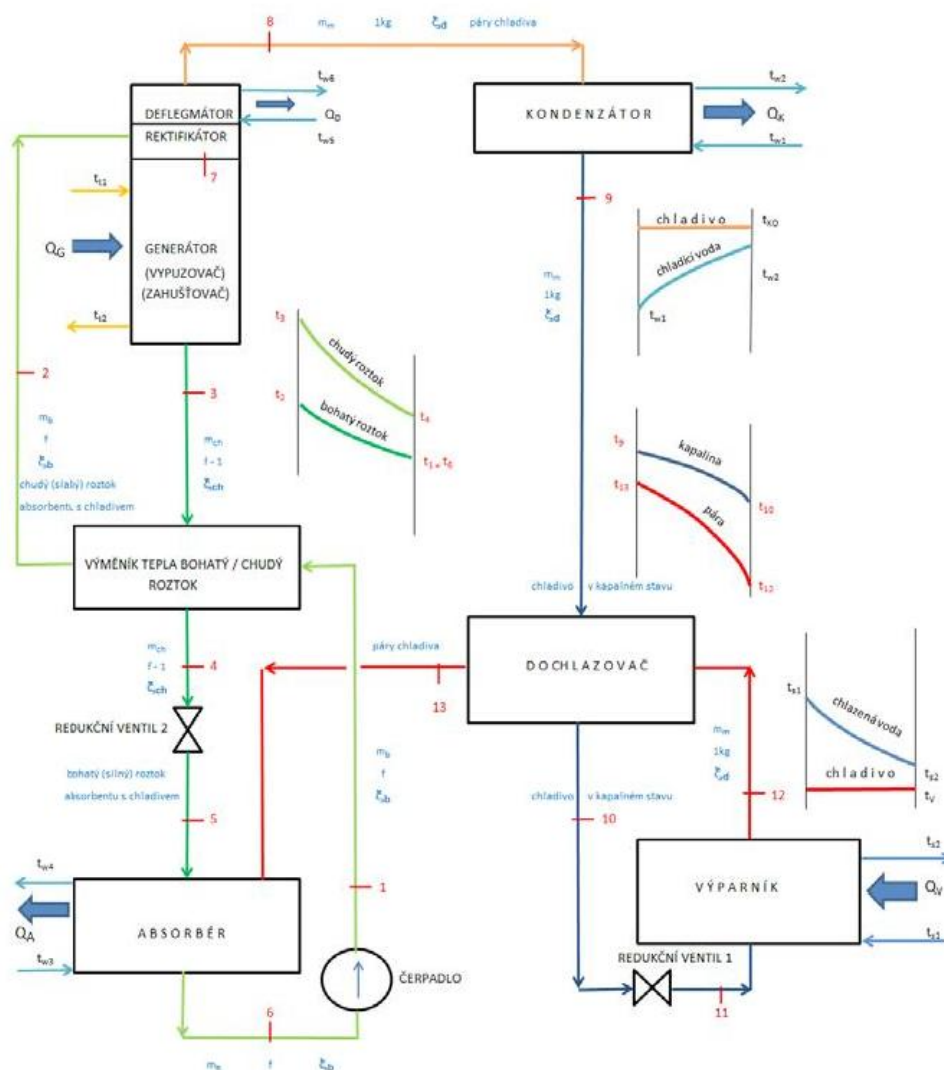
Ako pracovná dvojica chladivo-absorbent je navrhnutý roztok $H_2O-LiBr$, najmä kvôli tomu, že táto dvojica nepotrebuje rektifikátor a deflegmátor, čo je spôsobené veľkým rozdielom výparných teplôt vody ($100^{\circ}C$) a bromidu litného ($1265^{\circ}C$). Vďaka tomuto vysokému rozdielu výparných teplôt je proces oddeľovania chladiva menej náročný a z vypudzovača (generátor chladiva) unikajú do kondenzátora len čisté vodné pary. [13]

Pre výpočet absorpčného obehu sa vychádza zo základnej bilančnej rovnice:

$$Q_G + Q_V = Q_K + Q_A \quad (4.16)$$

- Kde: Q_G [kW] -tepelný výkon privedený do vypudzovača (generátora) vykurovacou vodou
 Q_V [kW] -tepelný výkon privedený do výparníka ochladzovaným médium
 Q_K [kW] -tepelný výkon odvádzaný z kondenzátora chladiacou vodou
 Q_A [kW] -tepelný výkon odvádzaný z absorbéru chladiacou vodou

Na obrázku 4.10 v bilančnej schéme je zakreslený aj deflegmátor a rektifikátor, ktoré však v prípade pracovnej dvojice $H_2O-LiBr$ uvažovať nebudeme.



Obrázok 4.10- Bilančná schéma jednostupňového absorpčného chladiaceho obehu [13].



Kde: m_m [kg/s]	-hmotnostný prietok chladiva
m_b [kg/s]	-hmotnostný prietok bohatého roztoku
m_{ch} [kg/s]	-hmotnostný prietok chudobného roztoku
ξ_d [kg/kg chladiva]	-koncentrácia chladiva $\xi_d=1$
ξ_b [kg/kg chladiva]	-koncentrácia bohatého roztoku
ξ_{ch} [kg/kg chladiva]	-koncentrácia chudobného roztoku
f [kg/kg chladiva]	-pomerné obiehajúce množstvo bohatého roztoku na 1 kg chladiva
$f-1$ [kg/kg chladiva]	-pomerné obiehajúce množstvo chudobného roztoku na 1 kg chladiva

Pre ďalší postup výpočtu sa vychádza zo známych parametrov.

Známe teplotné spády.

Keďže sú známe, poprípade volené, teplotné spády vykurovacej, chladiacej a chladnej vody, budú vzhľadom k nim určené ďalšie teploty roztoku, ktoré zohľadňujú vzájomnú výmenu tepla vo výmenníkoch.

Podľa okruhu vykurovacej vody 90/80°C (t_{t1}/t_{t2}) bola volená max. teplota roztoku na výstupe z vypudzovača:

$$t_3 = t_{t2} + 5 = 80 + 5 = 85^\circ\text{C} \quad (4.17)$$

Podľa okruhu chladnej vody (14/7°C) bola volená teplota vo výparníku:

$$t_{vyp} = 3^\circ\text{C} \quad (4.18)$$

Chladivom je v pracovnej dvojici H₂O-LiBr voda a prislúchajúci tlak vyparovania p_{vyp} k t_{vyp} :

$$p_{vyp} = 0,00758 \text{ bar} \quad (4.19)$$

Vzhľadom k teplotám okruhu chladiacej vody (25/35°C) a sériovému zapojeniu vstup do AJ- absorbér- kondenzátor -výstup z AJ boli volené teploty vstup/výstup z absorbéra 25/30°C (t_{w3}/t_{w4}) a vstup/výstup z kondenzátora 30/35°C (t_{w1}/t_{w2}).

Potom teplota roztoku vystupujúca z absorbéra je:

$$t_6 = t_{w4} + 4 = 30 + 4 = 34^\circ\text{C} \quad (4.20)$$

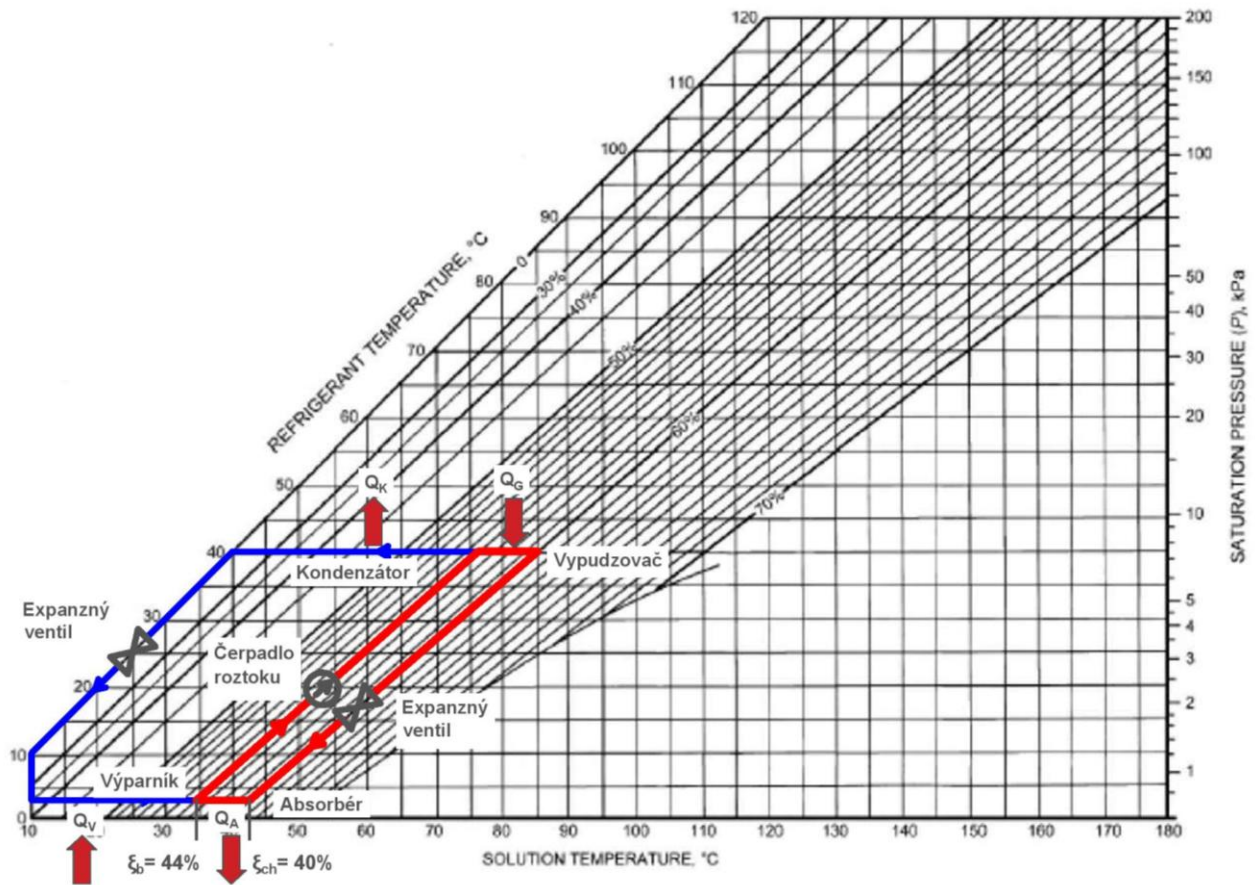
Kondenzačná teplota :

$$t_{KO} = t_{w2} + 5 = 35 + 5 = 40^\circ\text{C} \quad (4.21)$$

V kondenzátore kondenzujú vypudené pary chladiva a prislúchajúci kondenzačný tlak p_{KO} k teplote t_{KO} je:

$$p_{KO} = 0,0738 \text{ bar} \quad (4.22)$$

Následně jsou zvoleny a k nim příslušající parametry zakreslené do Dühringova diagramu, z kterého je možné odčítat koncentraci chudobnější ξ_{ch} a bohatší ξ_b směsi.



Obrázok 4.11- Zobrazenie absorpčného chladiaceho obehu v Dühringovom diagrame H2O-LiBr.

Koncentrácia ξ predstavuje obsah chladiva v roztoku a platí pre ňu vzťah: ^[13]

$$\xi = \frac{m_{\text{chladiva}}}{m_{\text{chladiva}} + m_{\text{absorbentu}}} \text{ [kg/kg]} \quad (4.23)$$

Podľa Dühringovho diagramu pre použité parametre obehu sú koncentrácie roztoku nasledovné:

$$\xi_d = 1; \xi_b = 0,44; \xi_{ch} = 0,4 \quad (4.24)$$

Pokiaľ sú už známe potrebné koncentrácie roztoku, je možné stanoviť pomerné obiehajúce množstvo bohatého roztoku:

$$f = \frac{\xi_d - \xi_{ch}}{\xi_b - \xi_{ch}} = \frac{1 - 0,4}{0,44 - 0,4} = 15 \text{ [kg/kg]} \quad (4.25)$$

Pomerné obiehajúce množstvo chudobného roztoku:

$$f - 1 = \frac{\xi_d - \xi_b}{\xi_b - \xi_{ch}} = \frac{1 - 0,44}{0,44 - 0,4} = 14 \text{ [kg/kg]} \quad (4.26)$$



Určenie ostatných bodov bilančnej schémy.

Pre už známú teplotu roztoku t_3 na výstupe z vypudzovača sa z diagramu i - ξ dvojice H_2O - LiBr stanoví entalpia roztoku v tomto bode:

$$i_3 = f(\xi_{ch}, t_3)$$

Na základe vzájomnej rovnosti (príkon čerpadla je nízky, preto sa zanedbáva) a použitím diagramu i - ξ dvojice H_2O - LiBr sa určia body 1 a 6:

$$t_1 = t_6; i_1 = f(\xi_b, t_6); i_1 = i_6$$

Použitím diagramu i - ξ dvojice H_2O - LiBr sa stanoví bod 2:

$$t_2 = f(\xi_b, p_{KO}); i_2 = f(\xi_b, p_{KO})$$

Zohľadnením vplyvu výmenníka tepla bohatý/chudobný roztok dostávame bod 4:

$$t_4 = t_6 + \delta; i_4 = f(\xi_{ch}, t_4)$$

Určenie množstva merného tepla predaného vo výmenníku tepla bohatý/chudobný roztok.

$$q_{VT} = (f - 1) \cdot (i_3 - i_4) \text{ [kJ/kg]} \quad (4.27)$$

V bode 8 sa nachádza odparené chladivo (vodné pary) o kondenzačnom tlaku, a teda z i - s diagramu vodnej pary sa určia vlastnosti tohto bodu:

$$t_8'' = f(p_{KO}), i_8'' = f(p_{KO})$$

V bode 12 sa nachádza odparené chladivo (vodné pary) o vyparovacom tlaku vo výparníku, a teda z i - s diagramu vodnej pary sa určia vlastnosti tohto bodu:

$$i_{12}'' = f(p_V); t_{12} = t_V$$

Zohľadnením vplyvu dochladzovača a použitím i - s diagramu vodnej pary sa stanoví bod 13:

$$t_9 = t_{KO}; t_{13} = t_9 - \gamma; i_{13} = f(p_V, t_{13})$$

Výpočet merného tepla predaného v dochladzovači:

$$q_{DO} = i_{13} - i_{12} \text{ [kJ/kg]} \quad (4.28)$$

Stanovenie bodu 10 znížením entalpie bodu 9 vplyvom výmeny tepla vo výmenníku a použitím diagramu i - s vodnej pary:

$$i_{10} = i_9 - q_{DO}; t_{10} = f(p_{KO}, t_{10})$$

Medzi bodom 4 a 5 je umiestnený expanzný ventil, v ktorom dochádza v ideálnom prípade k izoentalpickému škrteniu a potom sú hodnoty v bode 5 nasledovné.

$$t_4 \approx t_5; i_4 = i_5; \text{ ale } p_4 = p_{KO}; p_5 = p_V$$

V bode 11 je chladivo vo forme sýtej kvapaliny a pre hodnoty v tomto bode platí:

$$t_{11}' = t_{vyp}; i_{11}' = f(p_V)$$

Tabuľka 4.4- Hodnoty veličín v jednotlivých bodech absorpčného obehu.

<i>bod</i>	<i>tlak p</i> [bar]	<i>teplota t</i> [°C]	<i>Entalpia</i> <i>i</i> [kJ/kg]	<i>Koncent. chladiva</i> <i>ξ</i> [kg/kg]	<i>Koncent. soli</i> <i>1- ξ</i> [kg/kg]
1	0,0739	34	230,27	0,44	0,56
2	0,0739	73	318,20	0,44	0,56
3	0,0739	85	339,13	0,4	0,6
4	0,0739	40	284,70	0,4	0,6
5	0,0076	40	284,70	0,4	0,6
6	0,0076	34	230,27	0,44	0,56
7	-	-	-	-	-
8	0,0739	40	2573,54	1	0
9	0,0739	40	167,54	1	0
10	0,0739	27	111,32	1	0
11	0,0076	3	12,60	1	0
12	0,0076	3	2506,40	1	0
13	0,0076	33	2562,62	1	0

Merné teplo predané vo výmenníku tepla bohatý/chudobný roztok (vzťah 4.27) a merné teplo vymenené v dochladzovači (vzťah 4.28) potom vychádzajú:
 $q_{VT} = 762 \text{ kJ/kg}$ a $q_{DO} = 56 \text{ kJ/kg}$.

Pomocná entalpia i_A nezohľadňujúca výmenník tepla bohatý/chudobný roztok:

$$i_A = i_3 - f \cdot (i_3 - i_1) \text{ [kJ/kg]} \quad (4.29)$$

$$i_A = 339,13 - 15 \cdot (339,13 - 230,27)$$

$$i_A = -1293,72 \text{ kJ/kg}$$

Pomocná entalpia i_A' nezohľadňujúca absorbér:

$$i_A' = i_4 - f \cdot (i_4 - i_1) \text{ [kJ/kg]} \quad (4.30)$$

$$i_A' = 284,70 - 15 \cdot (284,70 - 230,27)$$

$$i_A' = -531,72 \text{ kJ/kg}$$

Keď sú už známe všetky potrebné entalpie, je možné dopočítať merné teploty jednotlivých súčastí AJ.

Výparník:

$$q_V = i_{12} - i_{11} \text{ [kJ/kg]} \quad (4.31)$$

$$q_V = 2506,40 - 12,60 = 2493,80 \text{ kJ/kg}$$

Absorbér:

$$q_A = i_{13} - [i_4 - f \cdot (i_4 - i_6)] \text{ [kJ/kg]} \quad (4.32)$$

$$q_A = 2562,62 - [284,70 - 15 \cdot (284,70 - 230,27)]$$

$$q_A = 3094,35 \text{ kJ/kg}$$



Kondenzátor:

$$q_K = i_8 - i_9 \text{ [kJ/kg]} \quad (4.33)$$

$$q_K = 2573,54 - 167,54 = 2406 \text{ kJ/kg}$$

Vypudzovač:

$$q_G = i_8 - i_A' \text{ [kJ/kg]} \quad (4.34)$$

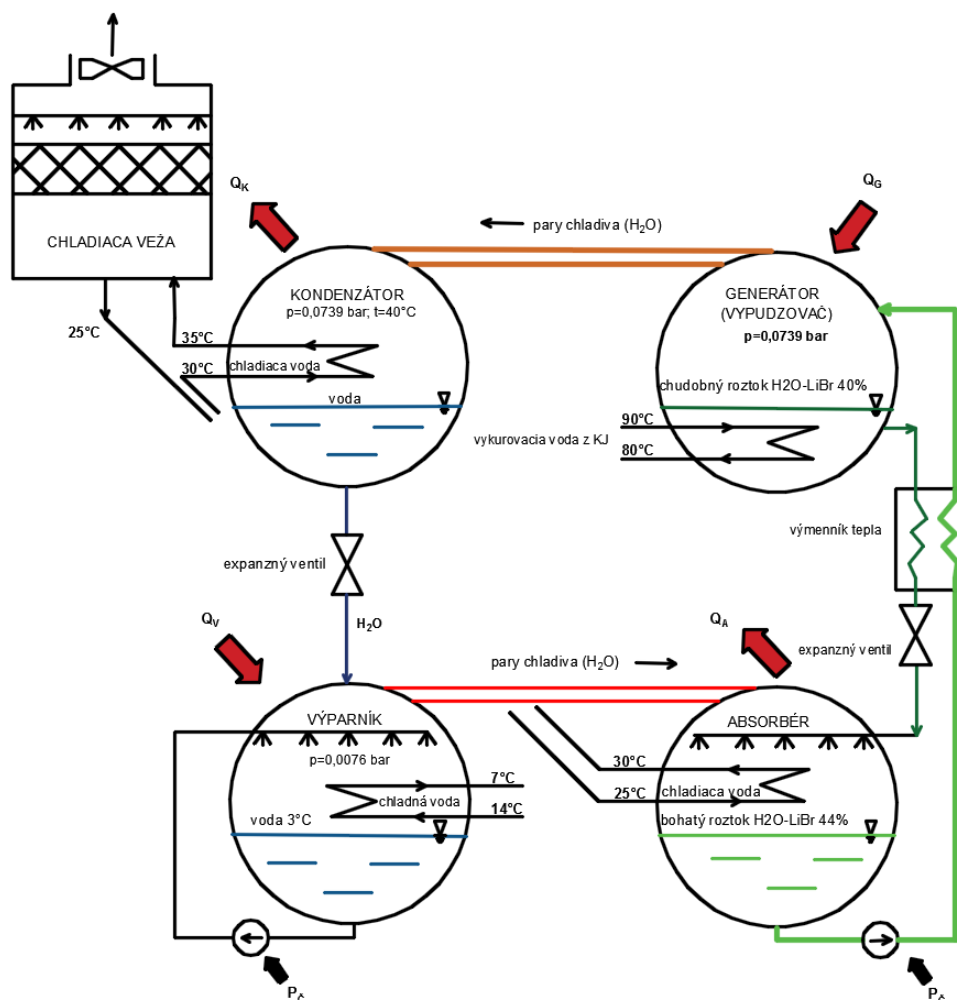
$$q_G = 2573,54 - (-531,72) = 3105,27 \text{ kJ/kg}$$

Keďže sú dopočítané merné teplá vypudzovača a výparníka, je možné určiť chladiaci faktor *COP* pre absorpčný obeh:

$$COP = \frac{q_V}{q_G} \text{ [-]} \quad (4.35)$$

$$COP = \frac{2493,80}{3105,27} = 0,803$$

Nasledujúci obrázok 4.12 vznikol úpravou obrázka z literatúry [13].



Obrázok 4.12- Znárodnenie absorpčného obehu s parametrami súčastí AJ.

Pokiaľ sú známe merné teplá súčastí absorpčného obehu, môže byť na základe vstupného tepelného výkonu dodaného KJ dopočítaný chladiaci výkon absorpčného obehu.

4.4 Chladiaci a tepelný výkon pri trigenerácii

Hodnoty chladiaceho výkonu Q_{CH} sú závislé aj od parametrov chladiacej vody. Po výstupe z AJ sa táto chladiaca voda ochladzuje v chladiacej veži, čo je vlastne výmenník tepla voda-vzduch a jeho tepelný výkon, čiže aj teplota chladiacej vody na výstupe z chladiacej veže, sú závislé na počasí a okolitých podmienkach. Výpočet chladiaceho výkonu Q_{CH} bol uskutočnený pre jeden pracovný režim chladiacej vody, čiže pri jej stálej teplote na vstupe (25°C) a výstupe (35°C) z AJ. Preto tieto parametre chladiacej vody predstavujú akýsi zjednodušený reprezentatívny prípad, ktorý ostáva počasím nezmenený.

V nasledujúcich podkapitolách bude pojednávané o veličinách pri rôznom zaťažení KJ ale aj pri rôznom zaťažení AJ. Pre názornosť môže byť uvedený popis značenia pre chladiaci výkon Q_{CH} pri rôznych zaťaženiach. Chladiaci výkon pri určitom zaťažení KJ $p_1\%$ a 100% zaťažení AJ bude značený $Q_{CH}^{p_1\%KJ}$, pričom horný index pri 100% zaťažení AJ bude zanedbávaný. Značenie pre $p_1\%$ zaťaženie KJ a $p_2\%$ zaťaženie AJ bude $Q_{CH}^{p_1\%KJ, p_2\%AJ}$. Pokiaľ bude zaťaženie AJ $p_2\%$ a zaťaženie KJ 100% potom bude značenie opäť zjednodušené $Q_{CH}^{p_2\%AJ}$.

Dôležité je si uvedomiť, že $Q_{CH}^{75\%KJ} \neq Q_{CH}^{75\%AJ}$, pretože percentuálne vyjadrenie výkonu je závislé na nominálnom výkone zariadenia.

4.4.1 Trigenerácia bez regulácie chladiaceho a tepelného výkonu

Jedná sa o prípad, kedy všetka vykurovacia voda na výstupe z KJ m_{KJ} ide do AJ m_{AJ} a následne sa využíva na ohrev TUV (v prípade použitia v prechodovom období aj na vykurovanie). Teplotné spády sú stále výstup z/vstup do KJ $90/70^{\circ}\text{C}$, vstup do/výstup z AJ $90/80^{\circ}\text{C}$ a pre ohrev TUV $80/70^{\circ}\text{C}$.

Platí podmienka:

$$m_{KJ} = m_{AJ} \quad [\text{kg/s}] \quad (4.36)$$

Množstvo dodaného tepla do vypudzovača $Q_{G100\%}$ z KJ pri 100% zaťažení.

Podľa hodnôt z prospektu KJ MOTOR GAS MGM 250 je tepelný výkon KJ pri max. zaťažení a teplotnom spáde obehovej vody $90/70^{\circ}\text{C}$ $Q_t = 318 \text{ kW}$.

Prietok vykurovacieho média sa potom určí:

$$m_{KJ}^{100\%KJ} = \frac{Q_{KJ}^{100\%KJ}}{i_{t90^{\circ}\text{C}} - i_{t70^{\circ}\text{C}}} \quad [\text{kg/s}] \quad (4.37)$$

$$m_{KJ}^{100\%KJ} = \frac{318}{376,99 - 293,08} = 3,79 \text{ kg/s}$$

Ako je možné vidieť z obrázka 4.9, teplotný spád vstup/výstup z AJ je $90/80^{\circ}\text{C}$, preto množstvo tepla dodaného KJ do vypudzovača AJ $Q_{AJ}^{100\%KJ}$ sa vypočíta nasledovne:

$$Q_{AJ}^{100\%KJ} = m_{KJ}^{100\%KJ} (i_{t90^{\circ}\text{C}} - i_{t80^{\circ}\text{C}}) \quad [\text{kW}] \quad (4.38)$$

$$Q_{AJ}^{100\%KJ} = 3,79 \cdot (376,99 - 334,99) = 159,16 \text{ kW}$$



Následně z hodnoty množství dodaného tepla $Q_{AJ}^{100\%KJ}$ je možné určit proud chladiva $m_m^{100\%KJ}$ absorpčním obehom:

$$m_m^{100\%KJ} = \frac{Q_G^{100\%KJ}}{q_G} \text{ [kg/s]} \quad (4.39)$$

$$m_m^{100\%KJ} = \frac{159,16}{3105,27} = 0,051 \text{ kg/s}$$

Keďže je známy proud chladiva, dopočet chladiaceho výkonu pri 100% zaťažení KJ je:

$$Q_{CH}^{100\%KJ} = m_m^{100\%KJ} \cdot q_V \text{ [kW]} \quad (4.40)$$

$$Q_{CH}^{100\%KJ} = 0,051 \cdot 2493,80 = 127,82 \text{ kW}$$

Pričom hodnota $Q_{CH}^{100\%KJ}$ je pokladaná za nominálny výkon AJ.

Tento výpočet je rovnaký aj pre zaťaženie KJ na 75% a 50%. Dopotítané hodnoty sú uvedené v nasledujúcej tabuľke.

Tabuľka 4.5- Hodnoty tep. výkonu KJ a chladiaceho výkonu AJ bez ich vzájomnej regulácie pri rôznom zaťažení KJ.

Zaťaženie KJ [%]	Tepelný výkon KJ Q_t [kW]	Tepelný výkon Q_{TUV} [kW]	Tepelný výkon Q_{AJ} [kW]	Prietok chladiva m_m [kg/s]	Chladiaci výkon Q_{CH} [kW]
100	318	158,84	159,16	0,051	127,82
75	247	123,37	123,63	0,040	99,28
50	182	90,91	91,09	0,029	73,16

El. výkon P_{el} je závislý od zaťaženia KJ, a teda jeho hodnoty pre rôzne zaťaženia KJ sú rovnaké ako v tabuľke 4.3. Pre zaťaženie KJ 100% ($P_{el}^{100\%KJ}=253 \text{ kW}$), 75% ($P_{el}^{75\%KJ}=191 \text{ kW}$), 50% ($P_{el}^{50\%KJ}=126 \text{ kW}$).

Pre prípad absorpčných zariadení, ktoré sú schopné využiť cca 40- 50 % tepelného výkonu KJ sa môžu použiť dvojstupňové AJ využívajúce na výrobu chladu výmenník spaliny-voda a výmenník tepla z chladenia motora potom slúži na ohrev TUV, či vykurovanie. Jednalo by sa teda o paralelnú výrobu tepla a chladu.

V tomto prípade bolo počítané so sériovým zaradením výroby chladu (využívajúci vyššie teploty 90/80 °C) a spotrebiča tepla (nižšie teploty 80/70 °C).

Problémom zapojenia sústavy bez vzájomnej regulácie tepelného a chladiaceho výkonu je však zlá prispôsobivosť potrebám jednotlivých výkonov, pretože určitému zaťaženiu KJ prislúcha konkrétny tepelný výkon Q_{TUV} a konkrétny chladiaci výkon Q_{CH} .

4.4.2 Trigenerácia s reguláciou chladiaceho a tepelného výkonu

Regulácia je zabezpečená riadeným trojcestným ventilom poháňaným servopohonom, ako je zobrazené na obrázku 4.9. Množstvo regulovanej vody do AJ m_{AJ} pre potrebný chladiaci výkon Q_{CH} pri konkrétnom zaťažení KJ sa určí pomocou rovnice na ktorú bude servopohon reagovať (rovnica 4.45).

Na to aby sme požadovanú rovnicu dostali je potrebné poznať v akom rozsahu je AJ schopná pracovať a akému chladiacemu výkonu prislúcha konkrétna hodnota vykurovacej vody do AJ m_{AJ} , teda je nutné zostrojiť závislosť množstva vody m_{AJ} na chladiacom výkone Q_{CH} .

Bežne sa rozsah regulácie výkonu AJ pohybuje v rozmedzí 25% až 100% nominálneho výkonu, preto bude aj v tomto prípade so zmieným rozsahom uvažované.

Avšak, ako uvádza firma SOKRA s.r.o., môže byť tento regulovateľný rozsah aj 5% až 100% nominálneho výkonu a to vďaka inštalácii frekvenčných meničov na obehové čerpadlá roztoku a chladiwa vo vnútornom absorpčnom okruhu.

Výkon AJ sa určí jednoduchým vzťahom pomocou percentuálneho vyjadrenia aktuálneho výkonu p a hodnoty jej nominálneho výkonu $Q_{CH}^{100\%AJ}$.

$$Q_{CH}^{p\%AJ} = p \cdot Q_{CH}^{100\%AJ} \text{ [kW]} \quad (4.41)$$

$$Q_{CH}^{75\%AJ} = 0,75 \cdot 127,82 = 95,87 \text{ kW}$$

Následne z hodnoty chladiaceho výkonu $Q_{CH}^{p\%AJ}$ je možné určiť prietok chladiwa $m_m^{p\%AJ}$ absorpčným obehom:

$$m_m^{p\%AJ} = \frac{Q_{CH}^{p\%AJ}}{q_v} \text{ [kg/s]} \quad (4.42)$$

$$m_m^{75\%AJ} = \frac{95,87}{2493,80} = 0,038 \text{ [kg/s]}$$

Tep. výkon spotrebovaný AJ $Q_{AJ}^{p\%AJ}$ sa potom určí:

$$Q_{AJ}^{p\%AJ} = q_G \cdot m_m^{p\%AJ} \text{ [kg/s]} \quad (4.43)$$

$$Q_{AJ}^{75\%AJ} = 3105,27 \cdot 0,038 = 119,37 \text{ [kg/s]}$$

Keďže je známy teplotný spád vykurovacej vody $m_{AJ}^{p\%AJ}$ na vstupe do/výstupe z AJ (90/80°C), môže byť dopočítaný jej hmotnostný tok nasledovne:

$$m_{AJ}^{p\%AJ} = \frac{Q_{AJ}^{p\%AJ}}{i_{t90^\circ C} - i_{t80^\circ C}} \text{ [kg/s]} \quad (4.44)$$

$$m_{AJ}^{75\%AJ} = \frac{119,37}{(376,99 - 334,99)} = 2,84 \text{ kg/s}$$

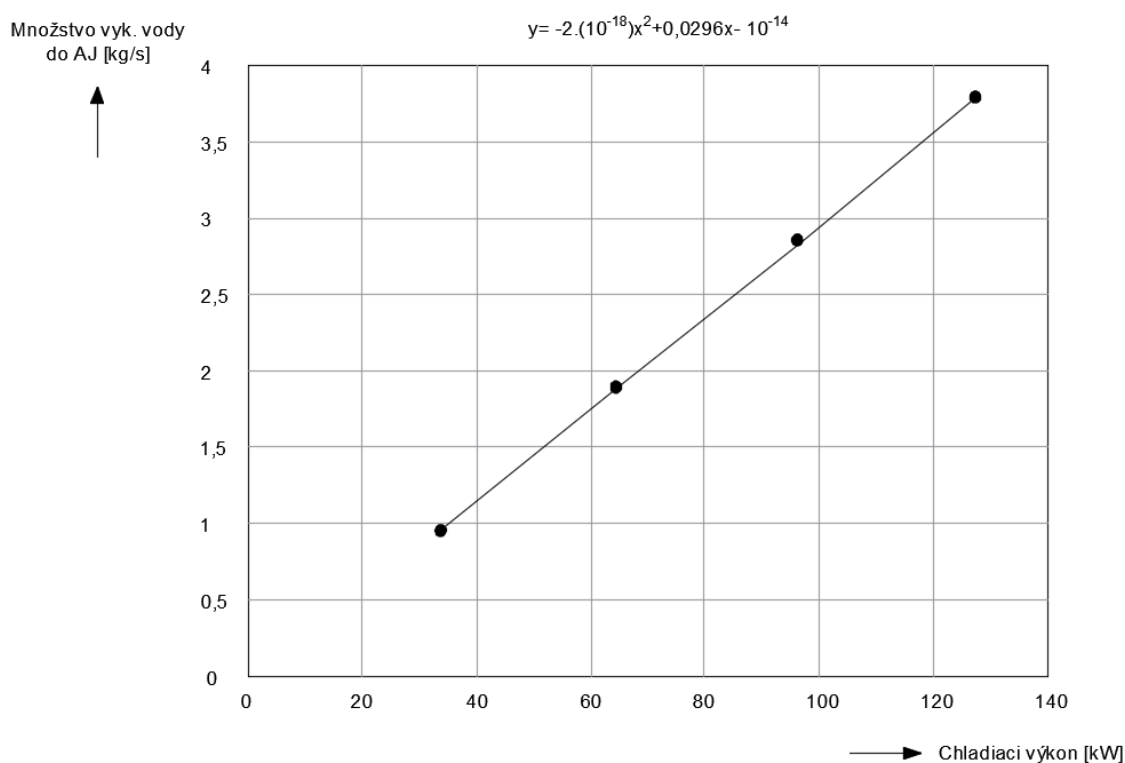


Teraz sú už známe potrebné parametre $m_{AJ}^{p\%AJ}$ a $Q_{CH}^{p\%AJ}$. Tento výpočet je možné aplikovať pre celý výkonový rozsah AJ a na základe týchto hodnôt vytvoriť závislosť m_{AJ} na Q_{CH} , ktorej regresná funkcia slúži ako rovnica určujúca množstvo regulovanej vody m_{AJ} pre potrebný chladiaci výkon Q_{CH} na ktorú bude servopohon trojcestného ventilu reagovať.

Tabuľka 4.6- Hodnoty prietoku vody m_{AJ} , prietoku chladiva m_m , tep. výkonu spotrebovaného AJ Q_{AJ} a chladiaceho výkonu Q_{CH} pri rôznom zaťažení AJ.

Zaťaženie AJ	100%	75%	50%	25%
m_{AJ} [kg/s]	3,79	2,84	1,90	0,95
m_m [kg/s]	0,051	0,038	0,026	0,013
Q_{AJ} [kW]	159,16	119,37	79,58	39,79
Q_{CH} [kW]	127,82	95,87	63,91	31,96

Závislosť množstva vyk. vody do AJ m_{AJ} na chladiacom výkone Q_{CH}



Obrázok 4.13- Závislosť množstva m_{AJ} na chladiacom výkone AJ Q_{CH} .

Funkcia popisujúca závislosť množstva vyk. vody do AJ m_{AJ} (y) na chladiacom výkone Q_{CH} (x):

$$y = -2.(10^{-18})x^2 + 0,0296x - 10^{-14} \quad (4.45)$$

Množstvo vykurovacej vody z KJ použitej priamo k ohrevu TUV m_{TUVp} je závislé na dvoch parametroch, a to na množstve vykurovacej vody z KJ m_{KJ} a na množstve vykurovacej vody do AJ

m_{AJ} .

$$m_{TUVp} = m_{KJ} - m_{AJ} \quad [\text{kg/s}] \quad (4.46)$$

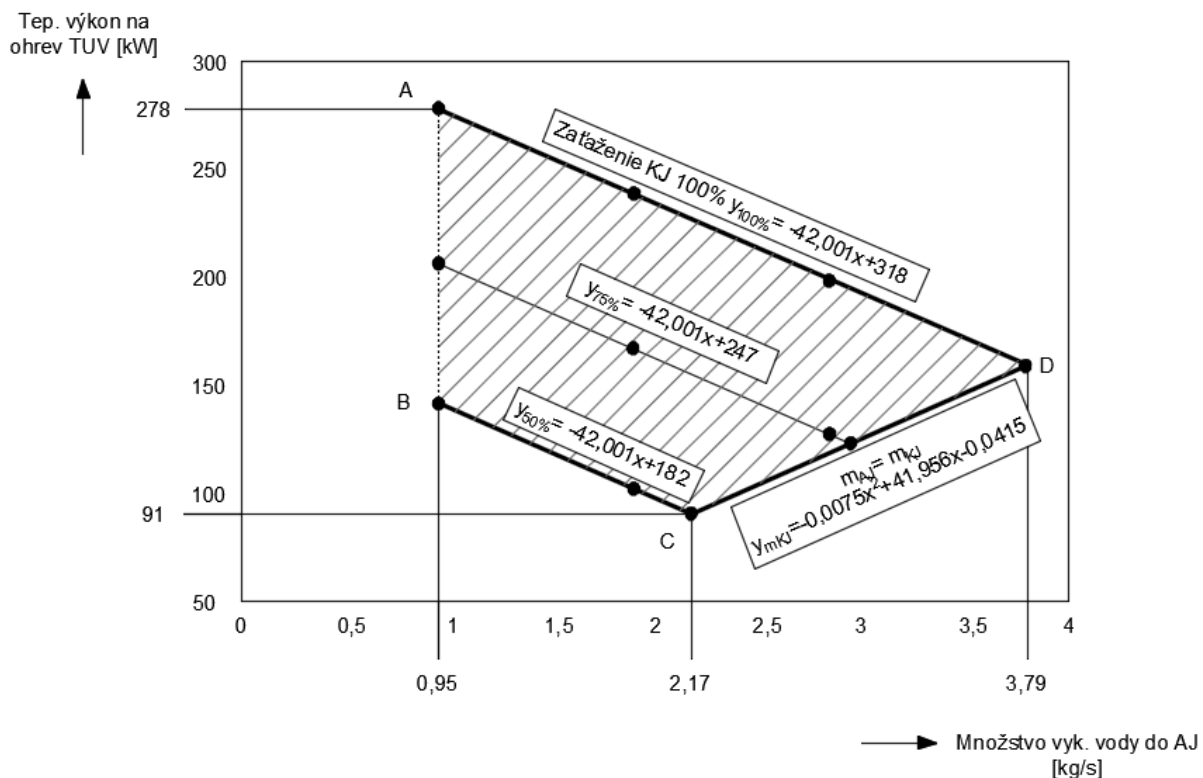
Pre tep. výkon Q_{TUV} taktiež platí:

$$Q_{TUV} = Q_{KJ} - Q_{AJ} \quad [\text{kg/s}] \quad (4.47)$$

Hodnota Q_{TUV} je teda regulovaná tep. výkonom KJ Q_t a chladiacim výkonom AJ Q_{CH} (ktorý má spotrebu Q_{AJ}).

Ako je možné vidieť z obrázka 4.13, hodnota Q_{CH} závisí od množstva vyk. vody do AJ m_{AJ} . Práve množstvo m_{AJ} je parameter, ktorý určuje množstvo spotrebovaného tepla AJ Q_{AJ} , a teda určuje aj tep. výkon na ohrev TUV Q_{TUV} pri konkrétnom zaťažení KJ.

Závislosť tep. výkonu na ohrev TUV Q_{TUV} na množstve vyk. vody do AJ m_{AJ}



Obrázok 4.14- Závislosť tep. výkonu na ohrev TUV Q_{TUV} na množstve vyk. vody do AJ m_{AJ} pri rôznom zaťažení KJ.

Závislosť zobrazená na obrázku 4.14 je tvorená funkciami, ktoré vyjadrujú ako sa bude meniť tep. výkon Q_{TUV} so zmenou množstva vyk. vody m_{AJ} pri konštantnom zaťažení KJ. Celá závislosť je zobrazená pre spojenie KJ s AJ a jednotlivé funkcie majú svoje ohraničenia.

Priamka AB je tvorená hodnotami Q_{TUV} pri minimálnom množstve vody m_{AJmin} , ktoré musí prúdiť do AJ. Toto množstvo je stanovené minimálnym chladiacim výkonom AJ, ktorý predstavuje 25% jej nominálneho výkonu $Q_{CH}^{25\%AJ}$ a hodnota $m_{AJmin} = 0,95$.

Bod A predstavuje maximálny možný tep. výkon Q_{TUV} pri spojení KJ s AJ. Tento bod je možné dosiahnuť pri 100% zaťažení KJ a minimálnom zaťažení AJ.

Bod B predstavuje hodnotu Q_{TUV} pri minimálnom zaťažení KJ a minimálnom zaťažení AJ.

Priamka BC pozostáva z hodnôt Q_{TUV} pri minimálnom zaťažení KJ.

Bod C vyznačuje minimálny možný tep. výkon Q_{TUV} pri spojení KJ s AJ. Tento stav je možné dosiahnuť pri minimálnom zaťažení KJ a pokiaľ nie je množstvo vyk. vody do AJ m_{AJ} regulované, teda keď $m_{AJ} = m_{KJ}$.

Priamka CD predstavuje chod spojenia KJ s AJ bez regulácie chladiaceho a tepelného výkonu.



Bod D je hodnota tep. výkonu Q_{TUV} při maximálním zatážení KJ a maximálním zatážení AJ. Inak povedané, jedná sa o tep. výkon Q_{TUV} keď je 100% zatáženie KJ a množstvo vody $m_{AJ} = m_{KJ}$.

Priamka DA je tvorená tep. výkonmi Q_{TUV} při maximálním zatážení KJ a rôznom zatážení AJ (meniace sa množstvo vody m_{AJ}).

Spojenie KJ s AJ je schopné pracovať len vtedy, keď bod o súradniciach $Q_{TUV}(y)$ a $m_{AJ}(x)$ leží vo vyšrafovej oblasti alebo na priamkach AB, BC, CD, DA.

Funkcia popisujúca priamku DA, kde $Q_{TUV}(y)$ a $m_{AJ}(x)$ při 100% zatážení KJ:

$$y_{100\%} = -42,001x + 318 \quad (4.48)$$

pre x platí: $0,95 \leq x \leq 3,79$

Funkcia popisujúca priamku BC, kde $Q_{TUV}(y)$ a $m_{AJ}(x)$ při 50% zatážení KJ:

$$y_{50\%} = -42,001x + 182 \quad (4.49)$$

pre x platí: $0,95 \leq x \leq 2,17$

Funkcia popisujúca priamku CD, kde $Q_{TUV}(y)$ a $m_{AJ}(x)$ při neregulovanom chode spojenia KJ s AJ:

$$y_{mKJ} = -0,0075x^2 + 41,956x - 0,0415 \quad (4.50)$$

pre x platí: $2,17 \leq x \leq 3,79$

4.5 Zaradenie do nadriadeného systému

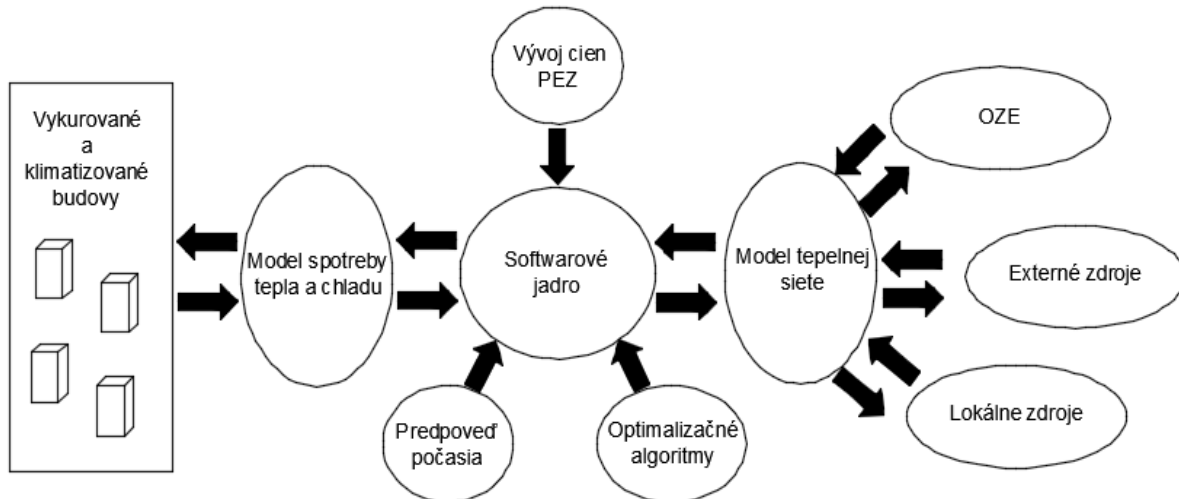
4.5.1 Obecný popis

Nadriadený systém je tvorený softwarovým jadrom, ktoré berie v úvahu rôzne faktory pre voľbu použitia konkrétnych zdrojov energie. Primárne pracuje s optimalizačnými algoritmi, ktoré sú navrhnuté pre tepelnú sústavu v aktuálnom ročnom období. Avšak vzhľadom k meniacej sa potrebe energií spotrebiteľov, ktorá je meraná v jednotlivých budovách a zariadeniach spôsobom, aký je uvedený v podkapitole 3.2, čiže tzv. multiulitným, je schopný tento systém lepšie predikovať potrebu tepla, či v letnom období potrebu tepla a chladu. Na základe týchto informácií môže teda efektívnejšie zapájať zdroje energie. Do úvahy výberu zdrojov energie patria aj ďalšie faktory, ako predpoveď počasia, či vzhľadom k ekonomickejšej výrobe aj vývoj cien PEZ.

Okrem klasických zdrojov energie, je možné do tejto siete zaradiť aj technológie na báze OZE, ktorých produkcia je často ťažko predpovedateľná.

Software potom na základe všetkých vstupov spracuje a pripraví model dennej (prípadne týždennej) prevádzky chytrej tepelnej siete.

Popísaný systém je zobrazený na nasledujúcom obrázku 4.15.



Obrázok 4.15- Nadriadený systém tepelnej siete v koncepte chytrých sietí.

KJ MOTORGAS MGM 250 predstavuje decentralizovaný zdroj, ktorý je v nadriadenom systéme zaradený do lokálnych zdrojov.

Na to, aby softwarové jadro dokázalo pracovať s týmto zdrojom, musí poznať jeho správanie v určitom rozsahu zaťaženia. Pre popis správania tohto zariadenia slúžia funkcie, ktoré sú uvedené v podkapitole 4.1.3, alebo v prípade spojenia KJ s AJ sú to funkcie uvedené v podkapitole 4.1.3 a 4.4.2. Spomínané funkcie sa následne implementujú do softwarového jadra, ktoré s nimi v rámci chytrej siete je schopné náležite pracovať.

4.5.2 Samostatne pracujúca kogeneračná jednotka

V tomto prípade je celý tep. výkon KJ využívaný na ohrev TUV a vykurovanie budov.

Pre prípad použitia samotnej KJ sú regresné funkcie nasledovné:

I. Závislosť Zaťaženie KJ na Q_t (rovnica 4.8)	}	$y = 0,3671x - 16,439$
II. Závislosť P_{el} na Zaťažení KJ (rovnica 4.9)		$y = -0,0028x^2 + 2,9635x - 15,552$
III. Závislosť Q_{pal} na P_{el} (rovnica 4.10)		$y = 0,0023x^2 + 1,545x + 144,03$
III. Závislosť V_{pal} na P_{el} (rovnica 4.11)		$y = 0,0002x^2 + 0,166x + 15,478$
IV. Závislosť η_{celk} na Zaťažení KJ (rovnica 4.1)		$y = -0,0012x^2 + 0,214x + 74,6$
IV. Závislosť η_{tep} na Zaťažení KJ (rovnica 4.2)		$y = 0,0007x^2 - 0,146x + 54,2$
IV. Závislosť η_{el} na Zaťažení KJ (rovnica 4.3)		$y = -0,0019x^2 + 0,36x + 20,4$
IV. Závislosť e na Zaťažení KJ (rovnica 4.7)		$y = -0,00005x^2 + 0,0096x + 0,334$

Postup výpočtu:

- I. Najskôr sa na základe vstupujúcich faktorov do softwarového jadra vytvorí hodnota potrebného tep. výkonu Q_t a následne sa určí pomocou rovnice 4.8 odpovedajúce zaťaženie KJ.
- II. Zo známeho zaťaženia KJ sa určí rovnicou 4.9 príslušný el. výkon P_{el} .
- III. V ďalšom kroku sa určia z el. výkonu P_{el} rovnicami 4.10 a 4.11 príkon v palive Q_{pal} a spotreba zemného plynu V_{pal} .
- IV. Pre celkové zhodnotenie prevádzky budú nasledovať dopočty celkovej účinnosti η_{celk} , tepelnej účinnosti η_{tep} , elektrickej účinnosti η_{el} a teplárenského modulu e podľa rovníc 4.1, 4.2, 4.3 a 4.7.

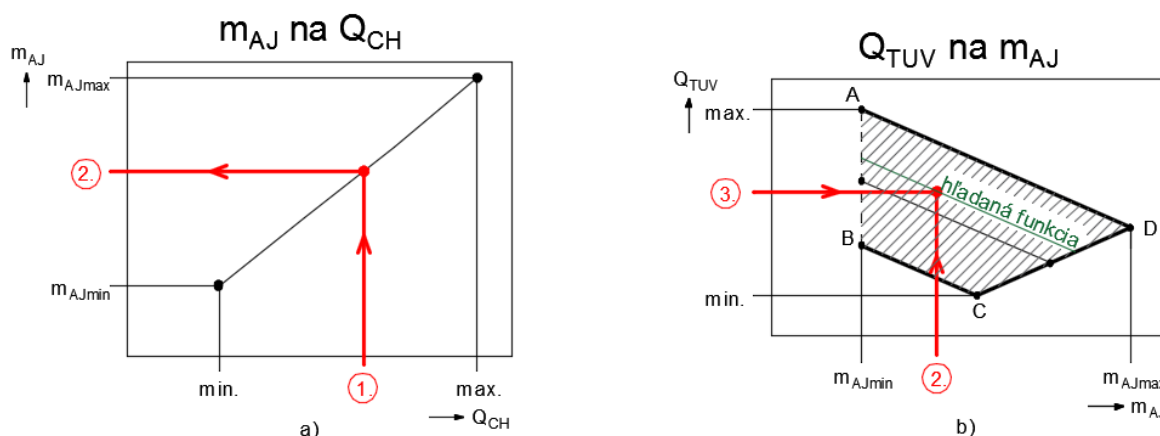
Prioritou použitia KJ pre tento model je tep. výkon Q_t , ktorému sa podriadiuje el. výkon P_{el} .

4.5.3 Prevádzka pri spojení kogeneračnej a absorpčnej jednotky

Pre tento koncept je tep. výkon KJ Q_t prerozdelený podľa potrieb na výrobu chladu v AJ Q_{CH} a ohrev TUV Q_{TUV} .

Princípom činnosti tejto sústavy je, že potrebe chlad. výkonu Q_{CH} a tep. výkonu Q_{TUV} sa priradí odpovedajúce zaťaženie KJ a tým aj prislúchajúci el. výkon P_{el} .

Postup určenia jednotlivých parametrov je potom nasledovný.



Obrázok 4.16- Schematické znázornenie určenia hľadanej funkcie zaťaženia KJ zo vstupných údajov.

Na obrázku 4.16 je znázornený postup určenia hľadanej funkcie pomocou ktorej je možné určiť zaťaženie KJ a z neho následne prislúchajúci el. výkon P_{el} a ďalšie parametre potrebné pre zhodnotenie prevádzky Q_{pal} , V_{pal} , η_{celk} , η_{tep} , η_{el} .

Ako vstupné dáta tu vystupujú Q_{CH}^* a Q_{TUV}^* .

1. Na základe potreby Q_{CH}^* sa zo závislosti m_{AJ} na Q_{CH} (obrázok 4.16a) určí 2. množstvo m_{AJ}^* . Parametre m_{AJ}^* a Q_{CH}^* ostávajú nemenné a slúžia ako nadriadené parametre určujúce ďalší výpočet.

V závislosti Q_{TUV} na m_{AJ} (obrázok 4.16b) vzniká priesečníkom 2. určeného m_{AJ}^* a 3. potrebného tep. výkonu Q_{TUV}^* bod hľadanej funkcie.

Pre bod hľadanej funkcie so súradnicami Q_{TUV}^* (y) a m_{AJ}^* (x) v závislosti Q_{TUV} na m_{AJ} (obrázok 4.14 alebo 4.16b) sa určí predpis hľadanej funkcie. Tento predpis je možné určiť pokiaľ poznáme obecný predpis funkcií Q_{TUV} na m_{AJ} pri konštantnom zaťažení KJ a vieme určiť ako sa tieto funkcie budú so zmenou zaťaženia KJ meniť.

Z rovníc 4.48 a 4.49 je zrejmý obecný predpis funkcií vyjadrujúcich zmenu tep. výkonu Q_{TUV} so zmenou množstva vody m_{AJ} pri konštantnom zaťažení KJ:

$$y_{p\%} = -a \cdot x + b \quad (4.51)$$

pre p platí: $0,5 \leq p \leq 1$

Pričom koeficient $a = -42,001$ a je konštantný pre všetky tieto funkcie.

Koeficient b konštantný nie je, ale jeho hodnoty ležia v intervale:

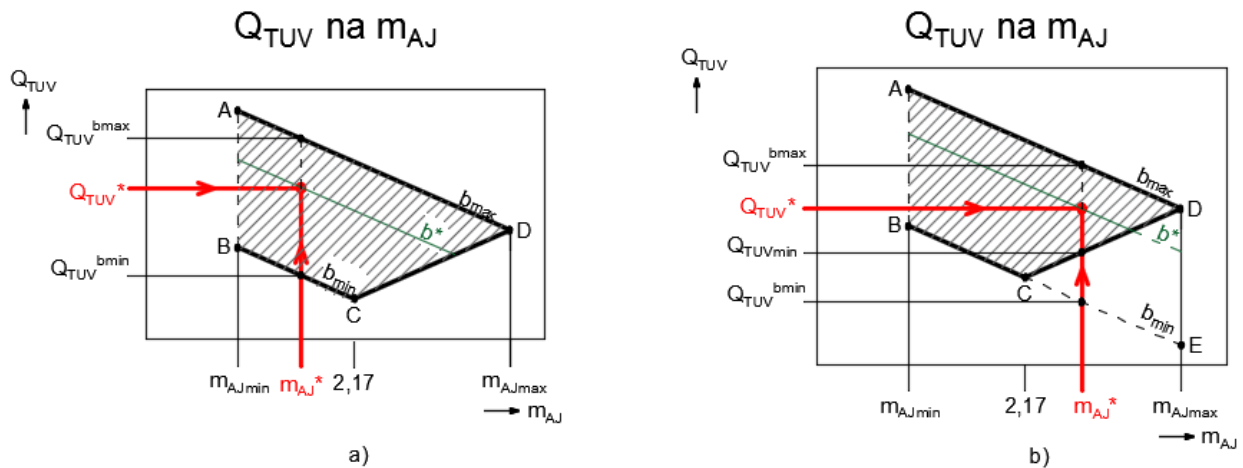
$$182 \leq b \leq 318 \quad (4.52)$$

Krajná najnižšia hodnota koeficienta b je pri 50% zaťažení KJ a platí:

$$b_{min} = b_{50\%} = 182 \quad (4.53)$$

Krajná najvyššia hodnota koeficienta b je pri 100% zaťažení KJ a platí:

$$b_{max} = b_{100\%} = 318 \quad (4.54)$$



Obrázok 4.17- Schematické znázornenie určenia koeficienta b^* pri známych súradniciach Q_{TUV}^* a m_{AJ}^* .

Ako je možné vidieť na obrázku 4.17, hodnote m_{AJ}^* (x) prislúchajú hodnoty Q_{TUV}^{bmax} (y) a Q_{TUV}^{bmin} (y), ktoré určujú aký by bol tep. výkon Q_{TUV} pri danom m_{AJ}^* a 100% (b_{max}) respektíve 50% (b_{min}) zaťažení KJ.

Pre prípad na obrázku 4.17a platí, že maximálny možný tep. výkon Q_{TUVmax} je rovný tep. výkonu Q_{TUV}^{bmax} a minimálny možný tep. výkon Q_{TUVmin} je rovný tep. výkonu Q_{TUV}^{bmin} . Avšak m_{AJ}^* musí naberať hodnoty od $m_{AJmin} = 0,94$ kg/s do $m_{AJ} = 2,17$ kg/s, čo je hraničný prípad kedy sa jedná o neregulovaný chod KJ s AJ.

Obrázok 4.17b zobrazuje stav, kedy $m_{AJ}^* > 2,17$ kg/s a vtedy platí $Q_{TUVmax} = Q_{TUV}^{bmax}$ ale $Q_{TUVmin} \neq Q_{TUV}^{bmin}$, pretože minimálny tep. výkon Q_{TUVmin} nie je daný rovnicou pre minimálne zaťaženie KJ (rovnicu 4.49) ale rovnicou pre neregulovaný chod KJ s AJ (rovnicu 4.50).

Hľadaný koeficient b^* potom môžeme určiť:

$$b^* = b_{max} - \frac{Q_{TUV}^{bmax} - Q_{TUV}^*}{Q_{TUV}^{bmax} - Q_{TUV}^{bmin}} \cdot (b_{max} - b_{min}) \quad (4.55)$$

Pokiaľ je už známy koeficient b^* zaťaženie KJ Z_{KJ} sa dopočíta:

$$Z_{KJ} = -\frac{1}{0,0048} + \left(\frac{\sqrt{2^2 - 4 \cdot 0,0048 \cdot (70 - b^*)}}{2 \cdot 0,0048} \right) \quad (4.56)$$

Rovnica 4.56 vznikla úpravou regresnej funkcie závislosti koeficienta b na zaťažení KJ Z_{KJ} .

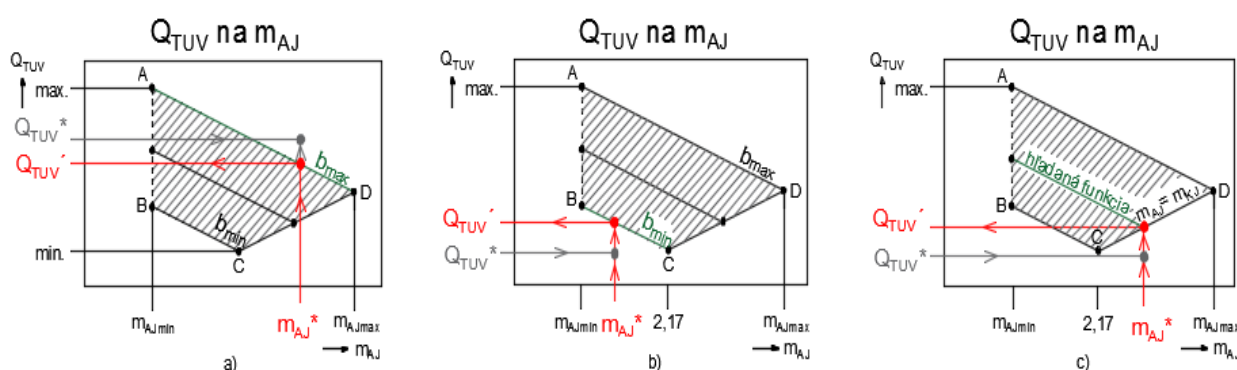


Ako už bolo spomenuté, sústava KJ s AJ je schopná pracovať len v oblasti medzi bodmi AB, BC, CD, DA zobrazenej na obrázku 4.14. Avšak, môže dôjsť k situáciám, kedy bod hľadanej funkcie so súradnicami $Q_{TUV}^*(y)$ a $m_{AJ}^*(x)$ neleží v uvedenej oblasti.

Obrázok 4.18 zobrazuje situácie, kedy pri použití vstupných údajov $m_{AJ}^*=f(Q_{CH}^*)$ a Q_{TUV}^* bod hľadanej funkcie neleží v pracovnej oblasti. V takom prípade pôsobí prioritne potreba chladu reprezentovaná parametrom $m_{AJ}^*=f(Q_{CH}^*)$ a tep. výkon Q_{TUV}^* sa vzhľadom k tomuto parametru doladuje.

Na obrázku 4.18 a,b,c je bod hľadanej funkcie, ktorý leží mimo pracovnú oblasť sústavy KJ s AJ, zobrazený šedou farbou a doladený bod vzhľadom k potrebe chladu je zobrazený červenou farbou.

Doladenie tep. výkonu Q_{TUV}^* prebieha tak, že doladená hodnota Q_{TUV}' leží na niektorej z priamok BC, CD, DA, pričom jej hodnota je rovná funkčnej hodnote bodu priamky pri konkrétnej (nadriadenej) hodnote m_{AJ}^* .



Obrázok 4.18- Zobrazenie situácií, keď bod hľadanej funkcie neleží v pracovnej oblasti.

Obrázok 4.18a zobrazuje situáciu, keď $Q_{TUV}^* > Q_{TUV}^{bmax}$, a teda priradená hodnota $Q_{TUV}' = Q_{TUV}^{bmax}$.

Obrázok 4.18b zobrazuje situáciu, keď $m_{AJmin} < m_{AJ}^* < 2,17$ a $Q_{TUV}^* < Q_{TUV}^{bmin}$, potom priradená hodnota $Q_{TUV}' = Q_{TUV}^{bmin}$.

Obrázok 4.18c zobrazuje situáciu, keď $2,17 < m_{AJ}^* < m_{AJmax}$ a $Q_{TUV}^* < Q_{TUV}^{m_{AJ}=m_{KJ}}$ (hodnota tepelného výkonu pri neregulovanom chode KJ s AJ a konkrétnej m_{AJ}^*). Potom hodnota priradeného tep. výkonu $Q_{TUV}' = Q_{TUV}^{m_{AJ}=m_{KJ}}$. Hľadanú funkciu, pomocou ktorej následne získame zaťaženie KJ potom dostaneme spôsobom popisujúcim obrázok 4.17b

Rozdiel medzi požadovanou hodnotou Q_{TUV}^* a pridelenou hodnotou Q_{TUV}' určuje tep. výkon ΔQ , ktorý bude musieť byť dodaný z iného zdroja, popri prípade bude musieť byť marený alebo iným spôsobom využitý.

$$\Delta Q = Q_{TUV}^* - Q_{TUV}' \quad (4.57)$$

$\Delta Q < 0$ - tep. výkon bude musieť byť dodaný z iného zdroja

$\Delta Q > 0$ - tep. výkon bude musieť byť marený, prípadne využitý ešte na iné účely

Pre prevádzku KJ s AJ a reguláciou chladiaceho Q_{CH} a tep. výkonu Q_{TUV} sú použité funkcie nasledovné:

I. Závislosť m_{AJ} na Q_{CH} (rovnica 4.45)

II. Závislosť Q_{TUV} na m_{AJ} (rovnica 4.48)
(rovnica 4.49)

(rovnica 4.50)

(rovnica 4.55)

(rovnica 4.56)

III. Rozdiel tep. výkonov ΔQ (rovnica 4.57)

IV. Závislosť P_{el} na Zaťažení KJ (rovnica 4.9)

V. Závislosť Q_{pal} na P_{el} (rovnica 4.10)

V. Závislosť V_{pal} na P_{el} (rovnica 4.11)

VI. Závislosť η_{celk} na Zaťažení KJ (rovnica 4.1)

VI. Závislosť η_{tep} na Zaťažení KJ (rovnica 4.2)

VI. Závislosť η_{el} na Zaťažení KJ (rovnica 4.3)

VI. Závislosť e na Zaťažení KJ (rovnica 4.7)

$$y = -2 \cdot (10^{-18}) + 0,0296x - 10^{-14}$$

$$y_{100\%} = -42,001x + 318$$

$$y_{50\%} = -42,001x + 182$$

$$y_{mKJ} = -0,0075x^2 + 41,956x - 0,0415$$

$$b^* = b_{max} - \frac{Q_{TUV}^{bmax} - Q_{TUV}^*}{Q_{TUV}^{bmax} - Q_{TUV}^{bmin}} \cdot (b_{max} - b_{min})$$

$$Z_{KJ} = -\frac{1}{0,0048} + \left(\frac{\sqrt{2^2 - 4 \cdot 0,0048 \cdot (70 - b^*)}}{2 \cdot 0,0048} \right)$$

$$\Delta Q = Q_{TUV}^* - Q_{TUV}'$$

$$y = -0,0028x^2 + 2,9635x - 15,552$$

$$y = 0,0023x^2 + 1,545x + 144,03$$

$$y = 0,0002x^2 + 0,166x + 15,478$$

$$y = -0,0012x^2 + 0,214x + 74,6$$

$$y = 0,0007x^2 - 0,146x + 54,2$$

$$y = -0,0019x^2 + 0,36x + 20,4$$

$$y = -0,00005x^2 + 0,0096x + 0,334$$

Postup výpočtu:

I. Podľa potreby chladu Q_{CH}^* sa určí zo závislosti m_{AJ} na Q_{CH} množstvo vyk. vody do AJ m_{AJ}^* .

II. Zo známej m_{AJ}^* a požadovaného tep. výkonu Q_{TUV}^* sa pomocou rovníc (4.48, 4.49, 4.50, 4.55, 4.56) a ich pravidiel, ktoré tvoria závislosť Q_{TUV} na m_{AJ} určí zaťaženie KJ a konečná hodnota Q_{TUV}^* (poprípade upravená hodnota tep. výkonu Q_{TUV}').

III. Zhodnotí sa ΔQ rozdiel požadovaného a určeného tep. výkonu v kroku II. Následne sa prehodnotí efektívnosť prevádzky sústavy vzhľadom k potrebám energií. Ak je ΔQ moc veľké, poukazuje to na príliš veľký tep. výkon, ktorý nie je využitý, preto je potreba zapojiť iný spotrebič tepla, poprípade nevyužitý tep. výkon akumulovať do akumuláčnych nádrží.

IV. Zo známeho zaťaženia KJ sa určí rovnicou 4.9 príslušný el. výkon P_{el} .

V. V ďalšom kroku sa určia z el. výkonu P_{el} rovnicami 4.10 a 4.11 príkon v palive Q_{pal} a spotreba zemného plynu V_{pal} .

VI. Pre celkové zhodnotenie prevádzky budú nasledovať dopyty celkovej účinnosti η_{celk} , tepelnej účinnosti η_{tep} , elektrickej účinnosti η_{el} a teplotného modulu e podľa rovníc 4.1, 4.2, 4.3 a 4.7.



5 Porovnanie výpočtového modelu s prevádzkovými dátami

5.1 Použitie výpočtového modelu kogenerácie

Ako prevádzkové dáta boli použité spotreba tepla a spotreba el. energie areálu Fakulty strojného inžénrství (ďalej FSI) Vysokého učení technického v Brně za kalendárny rok 2014.

Výpočtový model kogenerácie (samostatne pracujúcej KJ) uvažuje ako primárny parameter tepelný výkon Q_t , ktorému prislúcha určitý výkon elektrický P_{el} . Dôvodom je hlavne použitie KJ v letných mesiacoch, kedy musí byť prevádzka obmedzená podľa potrieb Q_t , ako je možné vidieť v nasledujúcej tabuľke 5.1.

V tabuľke sú uvedené jednotlivé mesiace roku podľa poradového čísla a produkcia energií KJ pri výpočtovom modeli kogenerácie.

Tabuľka 5.1- Spotreba energií areálu FSI a použitie výpočtového modelu pre kogeneráciu.

Mesiac	Spotreba tepla [GJ]	Spotreba el. energie [MWh]	Zaťaženie KJ [%]	Prevádzkové hodiny KJ [hod]	Množstvo tepla KJ [GJ]	Množstvo el.energie KJ[MWh]
1.	3 245	378	100	308	352	79
2.	1 825	342	100	280	320	72
3.	1 018	369	100	294	336	75
4.	624	348	100	294	336	75
5.	201	328	86	200	201	45
6.	68	325	50	105	68	13
7.	87	373	61	115	87	18
8.	94	371	60	126	94	19
9.	149	390	70	176	149	32
10.	610	389	100	308	352	79
11.	1 058	395	100	266	304	68
12.	1 953	362	100	238	273	61

Množstvo produkovanej energie KJ závisí od zaťaženia KJ ale aj od počtu prevádzkových hodín a počtu dní, kedy bola KJ prevádzkovaná. V jednotlivých mesiacoch bolo počítané, že KJ je prevádzkovaná vždy v pracovný deň. Ako ideálny počet hodín prevádzky bol stanovený počet 14 hodín, k čomu sa bola snaha pri dimenzovaní dennej prevádzky blížiti. Avšak, ako je z tabuľky 5.1 zrejmé, nie vždy bolo možné vzhľadom k spotrebe tepla prevádzkových 14 hodín dosiahnuť. Jedná sa o mesiace máj, jún, júl, august či september, kedy musela byť prevádzka KJ obmedzená, a to z hľadiska počtu prevádzkových hodín, alebo zaťaženia KJ.

Január

V priebehu tohto mesiaca bola snaha o čo najväčší tep. výkon Q_t pri 100% zaťažení KJ s dennou prevádzkou 14 hodín po dobu 22 pracovných dní.

Február

Prevádzka bola taktiež volená so 100% zaťažením KJ s dennou prevádzkou 14 hodín po dobu 20 pracovných dní.

Marec

Štandardná prevádzka (100% zaťaženie KJ, 14 hodinová prevádzka po dobu 21 pracovných dní).

Apríl

V tomto mesiaci je viditeľný pokles spotreby tepla, avšak stále nad rámec možností výroby tepla z KJ. Teda teplo z KJ pokryje cca 54% celkovej spotreby tepla areálu. Režim prevádzky je teda volený štandardný (100% zaťaženie KJ, 14 hodinová prevádzka po dobu 21 pracovných dní).

Máj

Spotreba tepla areálu klesá výrazne a pod hodnotu množstva tepla, ktoré vyrobí KJ pri dennom režime použitom v predchádzajúcich mesiacoch (100% zaťaženie KJ, 14 hodinová prevádzka). Musí dôjsť k obmedzeniu prevádzky KJ a to tak, že režim pri ktorom bude pracovať je 86% zaťaženie KJ, 10 hodinová denná prevádzka. Počet pracovných dní v tomto mesiaci je 20.

Jún

Obmedzenie prevádzky KJ je v tomto mesiaci najväčšie, pretože je najnižšia spotreba tepla v priebehu roka. KJ pracuje len s 50% zaťažením a s 5 hodinovou dennou prevádzkou. Pracovných dní je v tomto mesiaci 21.

Júl

Vzhľadom k spotrebe tepla sa taktiež jedná o obmedzenie štandardnej prevádzky KJ. Zaťaženie KJ 61% a počet denných prevádzkových hodín 5 po dobu 23 pracovných dní.

August

Obmedzenie prevádzky KJ na 60% zaťaženie KJ a 6 hodinovú dennú prevádzku po dobu 21 pracovných dní.

September

Dochádza k nárastu spotreby tepla a tým aj k väčšiemu 70% zaťaženiu KJ s 8 hodinovou dennou prevádzkou po dobu 22 pracovných dní.

Október

Spotreba tepla je už dostatočná pre štandardnú prevádzku KJ, a teda pracovný režim je 100% zaťaženie KJ s 14 hodinovou dennou prevádzkou po dobu 22 dní.

November

Štandardná prevádzka (100% zaťaženie KJ, 14 hodinová prevádzka po dobu 19 pracovných dní).

December

Štandardná prevádzka (100% zaťaženie KJ, 14 hodinová prevádzka po dobu 17 pracovných dní).



5.2 Použitie kombinácie výpočtového modelu kogenerácie a trigenerácie

Práve spomínané obmedzenie prevádzky v letnom období vedie k použitiu výpočtového modelu trigenerácie (spojenia KJ s AJ), kedy by malo dôjsť k zvýšeniu prevádzkových hodín KJ a prevádzka KJ by mala byť pri vyššom zaťažení, čím by bolo generované aj väčšie množstvo el. energie. Zároveň je ale potreba aby každá z energií bola využitá, aby dochádzalo k vysokoúčinnnej a zároveň aj ekologickej transformácii energie.

Výpočtový model trigenerácie je stavaný tak, že prioritným parametrom je potrebný chladiaci výkon Q_{CH} , podľa ktorého sa v rámci možností pracovnej oblasti sústavy KJ s AJ doladuje potrebný tepelný výkon Q_{TUV} a k výslednému zaťaženiu KJ prislúcha el. výkon P_{el} .

Nakoľko však dáta fakulty neobsahujú spotrebu chladu, musel byť v tomto prípade výpočtový model trigenerácie použitý s prednostne požadovaným tepelným výkonom Q_{TUV} , ktorý by bol schopný pokryť čo najväčšiu spotrebu tepla.

Použitie trigeneračného výpočtového modelu je len pre mesiace, kedy by bola obmedzená štandardná prevádzka KJ.

Tabuľka 5.2- Spotreba energií areálu FSI a použitie kombinácie výpočtového modelu kogenerácie a trigenerácie.

Mesiace	5.	6.	7.	8.	9.
Spotreba tepla [GJ]	201	68	87	94	149
Spotreba el. energie [MWh]	328	325	373	371	390
Zaťaženie KJ (KJ;KJ+AJ) [%]	96; 100	0; 50	0; 61	0; 76	74; 96
Prevádzkové hodiny KJ [hod]	240	210	230	210	220
Množstvo tepla KJ [GJ]	201	68	87	94	149
Množstvo chladu AJ [GJ]	55	56	70	76	59
Množstvo el. energie KJ [MWh]	60	26	36	41	49

V tabuľke 5.2 je uvedené zaťaženie KJ pre kogeneračný pracovný režim (KJ) a pre trigeneračný pracovný režim (KJ+AJ).

Máj

Pre tento mesiac je počítané s kombinovanou prevádzkou kogenerácie a trigenerácie. Použitie výpočtového modelu kogenerácie bolo pre 6 hodinovú dennú prevádzku a trigeneračný výpočtový model pre ďalších 6 hodín dennej prevádzky, čím došlo k predĺženiu celkovej dennej prevádzky KJ na 12 hodín po dobu 20 pracovných dní. Zaťaženie KJ v prípade kogenerácie je 96% a v prípade trigenerácie 100%.

Jún

V tomto mesiaci je počítané výlučne s trigeneračným výpočtovým modelom, kedy je snaha pre danú spotrebu tepla produkovať čo najväčšie množstvo chladu. V sústave KJ s AJ je možné dosiahnuť čo najväčší chladiaci výkon Q_{CH} vzhľadom k zaťaženiu KJ a tep. výkonu Q_{TUV} práve vtedy, keď sa jedná o neregulovaný chod sústavy, a teda všetka vykurovacia voda KJ m_{KJ} prúdi do AJ a platí $m_{KJ}=m_{AJ}$.

Prevádzkový režim je teda volený 10 hodín dennej prevádzky s 50% zaťažením KJ po dobu 21 pracovných dní.

Júl

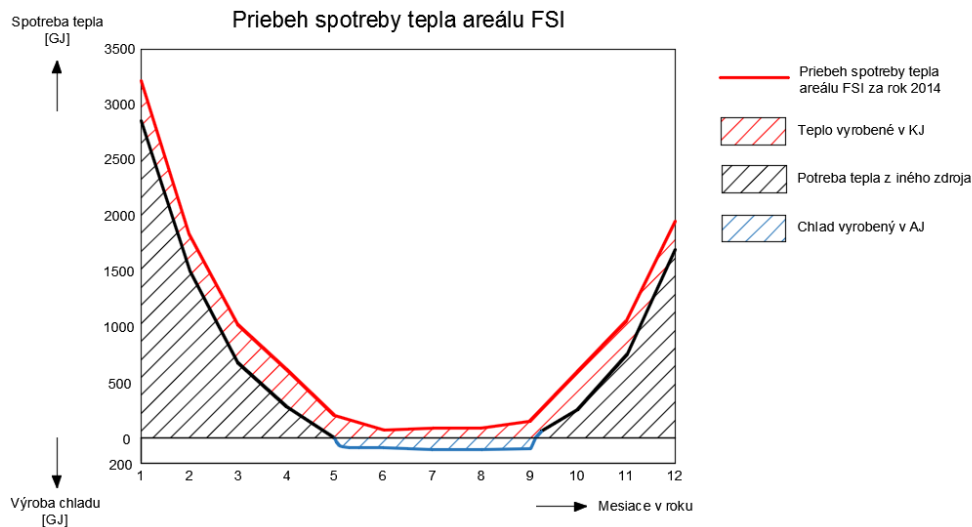
Použitie trigenerácie s prevádzkovým režimom 10 hodín dennej prevádzky a 61% zaťaženie KJ po dobu 23 pracovných dní. Neregulovaný chod sústavy KJ s AJ, kedy $m_{KJ}=m_{AJ}$.

August

Taktiež použitie trigenerácie s prevádzkovým režimom 10 hodín dennej prevádzky a 76% zaťaženie KJ po dobu 21 pracovných dní. Neregulovaný chod sústavy KJ s AJ, kedy $m_{KJ}=m_{AJ}$.

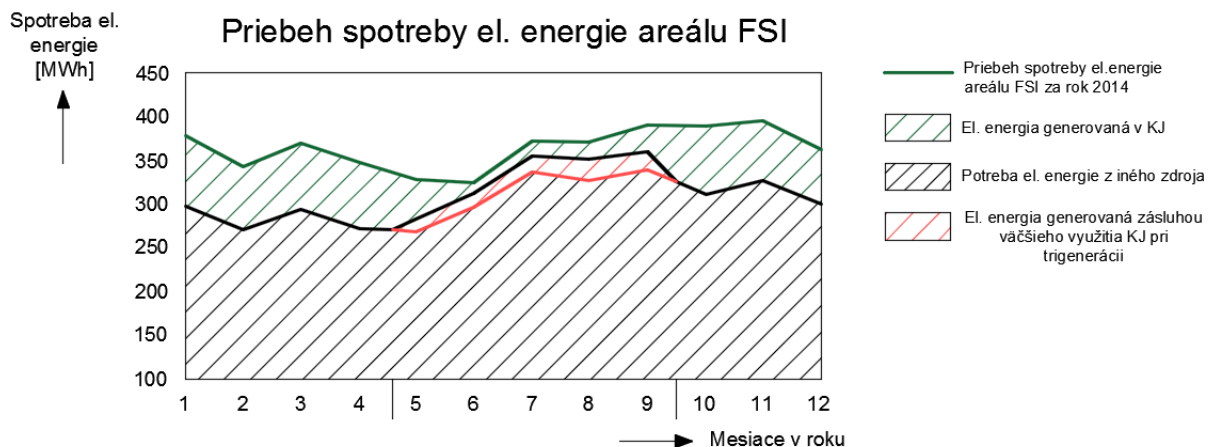
September

Kombinovaná prevádzka kogenerácie a trigenerácie. Režim pre kogeneráciu je 4 hodinová denná prevádzka a 74% zaťaženie KJ, režim pre trigeneráciu je 6 hodinová denná prevádzka a 96% zaťaženie KJ. Oba režimy sú použité po dobu 22 pracovných dní.

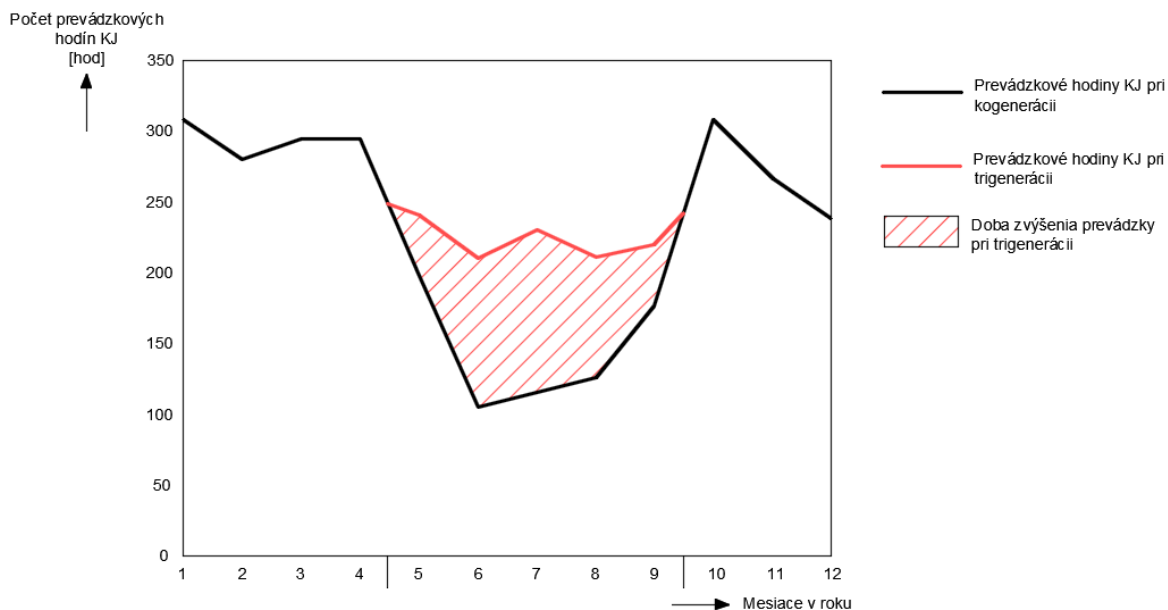


Obrázok 5.1- Spotreba tepla areálu FSI so zaradením KJ a AJ

Na obrázku 5.1 je zobrazená spotreba tepla areálu FSI za jednotlivé mesiace v roku 2014, pričom k danej spotrebe je priradená KJ, ktorá svojím prevádzkovým režimom znižuje potrebu tepla z iného zdroja. V období máj až september je navyše do prevádzky zaradená aj AJ, ktorej úlohou je zvýšiť počet prevádzkových hodín a zaťaženie KJ prevádzky pri produkcii chladu, ktorý by bol areálom v tomto období využívaný. Tým, že dôjde k väčšiemu využitiu KJ zväčší sa aj množstvo generovanej el. energie, čím sa zníži potreba el. energie areálu z iného zdroja ako je možné vidieť na obrázku 5.2.

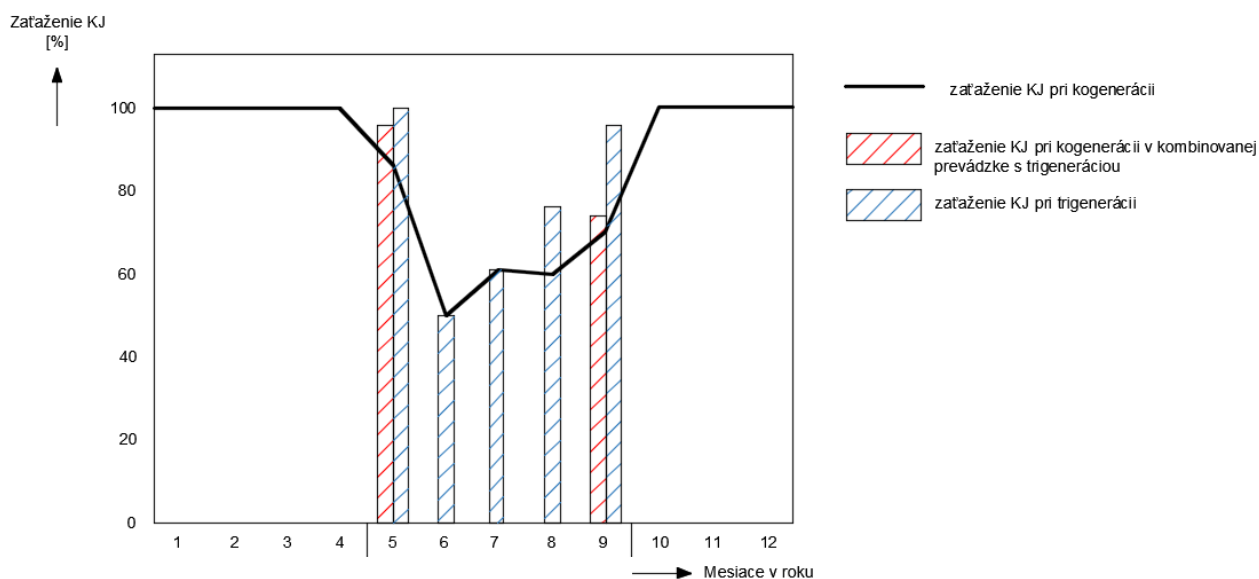


Obrázok 5.2- Spotreba el. energie areálu FSI so zaradením KJ a AJ.



Obrázok 5.3- Priebeh počtu prevádzkových hodín KJ v počas roka.

Na obrázku 5.3 je možné vidieť, ako sa vyvíja priebeh počtu prevádzkových hodín KJ počas roka. Taktiež je v obrázku znázornený nárast počtu prevádzkových hodín KJ pri použití trigenerácie v letnom období máj až september.



Obrázok 5.4- Priebeh zaťaženia KJ pri prevádzke počas roka.

Obrázok 5.4 znázorňuje, pri akom zaťažení pracuje KJ v priebehu roka. Po zaradení AJ do prevádzky v letnom období je snaha, aby sústava KJ s AJ pracovala pri vyššom zaťažení. V mesiacoch máj a september dochádza k prevádzke s vyšším zaťažením avšak v mesiacoch jún a júl ostáva zaťaženie KJ rovnaké ako pri prevádzke samostatne pracujúcej KJ (režim kogenerácie). Dôvodom je nedostatočná potreba tepla a k pokrytiu spotreby v týchto mesiacoch stačí pokiaľ sa pri režime trigenerácie zvýši počet prevádzkových hodín ako je možné vidieť na obrázku 5.3.

5.3 Zhrnutie

Pre implementáciu sústavy KJ s AJ do areálu FSI bol použitý výpočtový model pre kogeneráciu a trigeneráciu. Tieto výpočtové modely boli však aplikované pre pevne stanovené denné prevádzky používané počas pracovných dní. Trigenerácia počas letného obdobia bola obmedzená spotrebou tepla, čo malo dopad aj na produkciu množstva chladu, ktorého spotreba je v tomto období významná. Nakoľko však dáta spotreby energií areálu FSI neobsahujú spotrebu chladu, bol výpočtový model trigenerácie prispôbený na spotrebu tepla a množstvo chladu bolo dopočítané pri neregulovanom chode sústavy KJ a AJ. Táto neregulovaná prevádzka znamená, že všetka vykurovacia voda prúdi z KJ do AJ (jej množstvo nie je regulované), a teda AJ dosahuje maximálny možný chladiaci výkon vzhľadom k zaťaženiu KJ. Zaťaženie KJ ako aj počet prevádzkových hodín boli najnižšie v júni, z dôvodu už spomínanej nízkej spotrebe tepla.

Výpočtové modely sú však navrhnuté pre sofistikovanejšiu prevádzku, kde sa bude meniť zaťaženie KJ, ako aj tepelný Q_{TUV} (prípadne Q_t) či chladiaci výkon Q_{CH} v priebehu dňa. Práve túto reguláciu parametrov by malo zabezpečovať softwarové jadro, ktorého súčasťou sú výpočtové modely kogenerácie a trigenerácie. Softwarové jadro by malo na základe vstupných údajov popísaných v podkapitole 4.5.1, vytvoriť optimálnu dennú, či týždennú prevádzku, ktorá by bola podľa aktuálnej situácie upravovaná. Ako vstupné parametre pre výpočtové modely vyplývajúce zo vstupných údajov pre celé softwarové jadro sú potreba tepelného Q_{TUV} (prípadne Q_t) a chladiaceho Q_{CH} výkonu.

Vhodné použitie trigeneračného modelu pripadá najmä na prechodné obdobie, kedy je ešte stále dostatočná potreba tep. výkonu, ale v priebehu dňa nastáva aj na určitú dobu potreba chladu (v ranných hodinách vykurovanie a chladenie popoludní). Poprípade, ak v určitej časti areálu je potreba tepelného výkonu (severná strana) a v ďalšej časti by zas bola potreba chladiaceho výkonu (južná strana). Technicky by sa ďalej takáto situácia dala riešiť inštaláciou dvojkruhových vykurovacích telies tzv. fan-coilov, ktoré umožňujú skĺbiť požiadavku na vykurovanie a chlad.

Ako prechodové mesiace (najvhodnejšie pre trigeneračný model), ktoré predstavujú dostatočnú spotrebu tepla, je možné na základe prevádzkových dát uvažovať apríl, máj, september, október.



6 Závěr

V dôsledku prechodu od centralizovanej výroby energií ku decentralizovaným zdrojom sa dostávajú do popredia KJ s piestovými spaľovacími motormi, ktoré pôsobia ako pohotovú zdroj s jednoduchou prevádzkou. KJ patria medzi zdroje vysokoúčinnnej výroby energie, čím dochádza k úspore paliva a celá výroba je tak ekologickejšia. Avšak, využitie KVET v letnom období je obmedzené, a to z dôvodu nízkej potreby tepla, čo má dopad na množstvo generovanej el. energie a nerovnomernosť vyťaženia KJ v priebehu roka. Zapojením AJ ku KJ je možné z nepotrebného tepla v letnom období vyrobiť chlad a zvýšiť tak prevádzku decentralizovaného zdroja. Následne je možné tento chlad využívať na zabezpečenie tepelnej pohody v klimatizovaných budovách. V týchto objektoch je v súčasnosti často používané kompresorové chladenie, čím narastá spotreba el. energie objektu. Práve náhradou za chladenie AJ je možné túto energiu ušetriť.

Pri návrhu zapojenia KJ s AJ je potreba zohľadniť určité prevádzkové parametre, najmä však teplotné. KJ s el. výkonom do cca 400 kW pracujú zvyčajne s teplotným spádom obehovej vody 90/70 °C. Teplota 90°C na výstupe z KJ je dosť nízka pre AJ, kde sa bežne používa voda s teplotou od 100°C. Navyše v AJ dôjde len k ochladeniu vody o cca 10 °C, čiže teplotný spád v AJ je 100/90 °C oproti teplotnému spádu 90/70 °C v KJ. Pokiaľ by bola AJ navrhnutá na vstupnú teplotu 90°C, ostáva tu stále problém s teplotným spádom KJ.

Tento problém je možné riešiť sériovým zapojením AJ a spotrebiča tepla, kde by sa vykurovacia voda po výstupe z AJ ešte využila na ohrev TUV (pri použití v prechodovom období aj vykurovanie) a KJ by potom pracovala so štandardným teplotným spádom 90/70°C. Nevýhodou tohto zapojenia je, že k určitému chladiacemu výkonu pripadá interval tep. výkonov, ktorého minimálna hodnota musí byť produkovaná. Táto minimálna hodnota tep. výkonu pripadá neregulovanému chodu sústavy KJ s AJ, kedy všetka voda z KJ prúdi do AJ, a teda $m_{KJ} = m_{AJ}$.

Tým nastáva komplikácia použitia trigeneračnej sústavy v mesiacoch, kedy nie je dostatočná potreba tepla, čo sa prejaví na jej zníženom chladiacom výkone.

Cieľom a hlavným výstupom tejto práce sú výpočtové modely pre kogeneráciu (samostatne pracujúca KJ) a trigeneráciu (sústava KJ s AJ). Pri porovnaní dát zo zostavených výpočtových modelov s prevádzkovými dátami areálu FSI bol najkritickejší mesiac jún, kedy prevádzka KJ musela byť kvôli nedostatočnej potrebe tepla obmedzená na 50% zaťaženia a 5 prevádzkových hodín po dobu 21 pracovných dní.

Z toho dôvodu je možné zhodnotiť, že najefektívnejšie použitie trigeneračného modelu pripadá najmä na prechodné obdobie, kedy je ešte stále dostatočná potreba tep. výkonu, ale v priebehu dňa nastáva aj na určitú dobu potreba chladu (ráno vykurovanie a chladenie popoludní). Poprípade, ak je v určitej časti areálu potreba tep. výkonu (severná strana), ale v ďalšej časti je potrebný chladiaci výkon (južná strana). Ako prechodové mesiace, ktoré predstavujú dostatočnú spotrebu tepla, je možné na základe prevádzkových dát uvažovať apríl, máj, september a október.

Výpočtové modely sú však navrhnuté pre dômyselnejšiu prevádzku s meniteľným zaťažením KJ, ako aj tepelného Q_{TUV} (prípadne Q_t), či chladiaceho výkonu Q_{CH} , v priebehu dňa. Práve túto reguláciu parametrov zabezpečuje softwarové jadro, ktorého súčasťou sú uvedené výpočtové modely. Dôsledkom chytrej regulácie dochádza k efektívnejšiemu využívaniu energií, aké je žiadané v koncepte chytrých sietí. Navyše, je dôležité, aby jednotlivé decentralizované zdroje boli prepojené a aktívne komunikovali. Táto prepojenosť je obzvlášť dôležitá pri zaradení OZE do siete, pretože sa vyznačujú prerušovanou a ťažko predikovatelnou výrobou energie, čo spôsobuje v súčasnosti komplikácie pri výrobe a využívaní týchto zdrojov.

7 Zoznam použitých zdrojov

- [1]- KRBEK, Jaroslav, Ladislav OCHRANA a Bohumil POLESNÝ. *Zásobování teplem a kogenerace*. Brno: PC-DIR Real, 1999. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1347-6.
- [2]- ČEZ ENERGO: *O kogeneraci* [online]. Praha: ČEZ Energo [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci.html>
- [3]- *BROAD AIR CONDITIONING - ABSORPČNÍ JEDNOTKY PRO CHLAZENÍ A VYTÁPĚNÍ* [online]. Sokra.cz, webdesign E-solution, system Buřič, 2013 [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.broad.cz/broad2013/box5.php>
- [4]- KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - Zřízení a provoz*. Praha: GAS s.r.o., 2007. ISBN 978-80-7328-151-9.
- [5]- DVORSKÝ, Emil a Pavla HEJTMÁNKOVÁ. *Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie*. Praha: BEN - technická literatura, 2005. ISBN 80-730-0118-7.
- [6]- ČEZ ENERGO: *Kogenerační jednotka* [online]. Praha: ČEZ Energo [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.cezenergo.cz/cs/o-kogeneraci/kogeneracni-jednotka.html>
- [7]- *Kogenerační jednotky TEDOM* [online]. Třebíč: TEDOM a.s. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/kogeneracni-jednotky-provedeni.html>
- [8]- RAEN, spol. s r.o. a CITYPLAN, spol. s r.o. *PŘÍRUČKA PRO REGIONÁLNÍ VYUŽITÍ KOGENERAČNÍCH ZDROJŮ* [online]. PRAHA: Česká energetická agentura [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: http://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8070.pdf
- [9]- KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky malého výkonu v komunálních a průmyslových tepelných zdrojích*. Brno: PC-DIR, 1997. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-14-0889-8.
- [10]- RAEN, spol. s r.o. *NÁVRH A PROVOZ KOGENERAČNÍCH JEDNOTEK* [online]. PRAHA: Česká energetická agentura [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/008153.pdf>
- [11]- MACEK, Jan. *Spalovací motory I*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. ISBN 978-80-01-03618-1.
- [12]- *Kogenerace* [online]. EkoWATT, 2008 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <https://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>
- [13]- MENDRYGAL, Roman, Rostislav HEGAR a Václav ČÍŽEK. *Ekologická výroba tepla a elektrické energie*. [Ostrava: Moravskoslezský energetický klastr, 2013?]. ISBN 978-80-905392-8-0.
- [14]- TEDOM A.S. *Quanto D400: Kogenerační jednotka*. Třebíč, 2012, 8 s. Dostupné také z: <http://pnts.cz/KGJ.pdf>



- [15]- *Trigenerační jednotky* [online]. Třebíč: TEDOM a.s. [cit. 2017-03-31]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/trigeneracni-jednotky.html>
- [16]- *Kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET, kogenerace) - související legislativa v České republice* [online]. Teplárenské sdružení České republiky, 2016 [cit. 2017-04-03]. Dostupné z: <http://www.kombinovana-vyroba.cz/?id=152005&1487094553#>
- [17]- *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 2/2017*. In: . Jihlava: ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, 2016, ročník 17, 3/2017. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/2887244/ERV3_2017.pdf/f4f960a4-a03c-43e7-b92b-73c8f645ac30
- [18]- *Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 11/2016*. In: . Jihlava: ENERGETICKÝ REGULAČNÍ ÚŘAD, 2016, ročník 16, 13/2016. Dostupné také z: https://www.eru.cz/documents/10540/2824549/161222_CR_11_2016.pdf/e54c452d-3a5d-45c2-b756-ee6aa81bcaa6
- [19]- *Vyhláška 37/2016 Sb.: Vyhláška o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů*. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2016, 14/2016 Sb. Dostupné také z: <http://www.sbirka.cz/POSLATYD/NOVE/16-037.htm>
- [20]- *Roční zpráva o provozu ES ČR 2015*. In: . Praha: Oddělení statistiky a sledování kvality ERÚ, 2016. Dostupné také z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2015.pdf/3769f65b-3789-4e93-be00-f84416e1ca03
- [21]- *Tzbinfo: Teplárenství, Vytápí nás teplárna* [online]. Topinfo [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/teplarenstvi>
- [22]- *Vyhodnocení cen tepelné energie a jejich vývoj k 1. lednu 2016*. In: . Praha: Odbor statistický a bezpečnosti dodávek ERÚ, 2016. Dostupné také z: <https://www.eru.cz/documents/10540/462928/Vyhodnocen%C3%AD%20cen+tepln%C3%A9%20energie+k+1.+1.+2016.pdf/e5e78a7f-0d20-4986-b68c-58ca270d7969>
- [23]- BUDÍN, Jan. *OEnergetice.cz: Propojování elektrizačních a tepelných soustav* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/teplarenstvi/propojovani-elektrizacnich-a-teplnych-soustav/>
- [24]- FRIEDRISCHKOVÁ, Kristýna, Bohumil HORÁK, Vít OTEVŘEL, Zdeněk OTEVŘEL a David VALA. *Smart síte a jejich infrastruktura*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-82-248-3534-1.
- [25]- *Linking Heat and Electricity Systems: Co-generation and District Heating and Cooling Solutions for a Clean Energy Future* [online]. Paris: IEA, 2014 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/LinkingHeatandElectricitySystems.pdf>

- [26]- *UMÍME MĚŘIT – UMÍTE ŠETŘIT: Dukelská 1325 a 1326 – nejlépe měřený dům ve střední Evropě* [online]. Praha: ČEZ, 2011 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://virtualniprohlidky.cez.cz/cez-vrchlabi/skin/umime-merit-umime-setrit.pdf>
- [27]- KARAFIÁT, Josef. *SBORNÍK TECHNICKÝCH ŘEŠENÍ ZDROJŮ S KOMBINOVANOU VÝROBOU ELEKTŘINY A TEPLA* [online]. Praha: ORTEP, 2006 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/dokument/15.pdf>
- [28]- *Portál ČHMÚ: MĚSÍČNÍ DATA: Brno - Tuřany - 2014* [online]. Praha [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mesicni-data#>
- [29]- NĚMEČEK, Martin a Miloš KALOUSEK. *Tzbinfo: Vnitřní tepelná akumulace pasivních domů a letní tepelná stabilita* [online]. 2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/pasivni-domy/13198-vnitri-tepelna-akumulace-pasivnich-domu-a-letni-tepelna-stabilita>
- [30]- DRKAL, František, Miloš LAIN a Vladimír ZMRHAL. *Klimatizace*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05652-3.
- [31]- ADAMOVSKEÝ, Daniel. *Přednáška předmětu Energetické systémy budov 2: Výroba, distribuce a emise chladu v budovách*. Praha. Dostupné také z: <http://tzb.fsv.cvut.cz/files/vyuka/125esbt/prednasky/125esbt-12.pdf>
- [32]- JEDINÝ, Ladislav. *Slovgas: Prínos trigenerácie a úskalia pri jej navrhovaní* [online]. Slovenský plynárenský a naftový zväz [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: http://spnz.sk/stara_stranka/Casopis/03_02/03_02_09.htm
- [33]- MOTORGAS S.R.O. *INdoor MGM 250: Co-generation Unit with MAN Gas Engine*. Praha, 9 s. Dostupné také z: http://www.motorgas.cz/gallery/2/885-typespec_mgm250_indoor_ng_500mgnox_en.pdf
- [34]- BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [35]- PETRÁK, Miroslav. *Chladicí technika a tepelná čerpadla pro inteligentní budovy: výpočtové podklady*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013, 75 s. ISBN 978-80-01-05341-6.



8 Zoznam použitých skratiek a symbolov

- AF [-]-anuitný faktor
AJ-absorpčná jednotka
b- koeficient v obecnom predpise funkcie priamky
b*- hľadaný koef. funkcie priamky popisujúcej závislosť tep. výkonu so zmenou množstva vykurovacej vody do absorpčnej jednotky pri konštantnom zaťažení kogeneračnej jednotky
b_{min}- koeficient funkcie priamky popisujúcej závislosť tep. výkonu so zmenou množstva vykurovacej vody do absorpčnej jednotky pri maximálnom zaťažení kogeneračnej jednotky
b_{max}- koeficient funkcie priamky popisujúcej závislosť tep. výkonu so zmenou množstva vykurovacej vody do absorpčnej jednotky pri minimálnom zaťažení kogeneračnej jednotky
CO- oxid uhoľnatý
CO₂- oxid uhličitý
COP [-]- chladiaci faktor
C_xH_y- uhľovodíky
C_{zb} [Kč]- celková výška podpory na el. energiu z kombinovanej výroby el. energie a tepla
DOT [Kč]- celková investičná dotácia udelená projektu
DŽ [rok]- doba životnosti výroby el. energie
e [-]- teplárenský modul
E [kWh]- vyrobená el. energia
E_{KVET} [MWh]- množstvo el. energie z kombinovanej výroby el. energie a tepla
f [kg/kg chladiva] -pomerné obiehajúce množstvo bohatého roztoku na 1 kg chladiva
f-1 [kg/kg chladiva] -pomerné obiehajúce množstvo chudobného roztoku na 1 kg chladiva
G- elektrický generátor
H₂O-LiBr - roztok voda-bromid litný
CH- chladič primárneho okruhu
i [kJ/kg]- entalpia
i_A[kJ/kg]- pomocná entalpia nezohľadňujúca výmenník tepla bohatý/chudobný roztok
i_A'[kJ/kg]- pomocná entalpia nezohľadňujúca absorbér
IRR [%/100]- vnútorné výnosové percento uvedené v žiadosti o udelenie investičnej dotácie
KJ- kogeneračná jednotka
KVET- kombinovaná výroba el. energie a tepla
m_{AJ} [kg/s] -množstvo vykurovacej vody vstup do/výstup z absorpčnej jednotky
m_{AJ}* [kg/s] -žiadané množstvo vykurovacej vody na vstupe do absorpčnej jednotky
m_b [kg/s] -hmotnostný prietok bohatého roztoku
m_{ch} [kg/s] -hmotnostný prietok chudobného roztoku
m_{KJ} [kg/s] -množstvo vykurovacej vody vstup do/výstup z kogeneračnej jednotky
m_m [kg/s] -hmotnostný prietok chladiva
m_{TUV} [kg/s] -celkové množstvo vykurovacej vody použitej k ohrevu teplej úžitkovej vody
m_{TUVp} [kg/s] -množstvo vykurovacej vody z kogeneračnej jednotky použitej priamo k ohrevu teplej úžitkovej vody
η_C [%]- celková účinnosť výroby el. energie a tepla
η_{celk} [%]- celková účinnosť kogeneračnej jednotky

η_{el} [%]- elektrická účinnosť kogeneračnej jednotky
 $\eta_{elektr.}$ [-]- účinnosť samostatnej výroby el. energie
 NH_3-H_2O - roztok čpavok-voda
 η_{KJ} [-]- účinnosť kombinovanej výroby el. energie a tepla
 NO_x - oxidy dusíka
 η_{tep} [%]- tepelná účinnosť kogeneračnej jednotky
 η_{vyh} [-]- účinnosť samostatnej výroby tepla
ODV- oddelená výroba el. energie a tepla
OZE- obnoviteľné zdroje energie
P[MWe]- elektrický inštalovaný výkon výroby el. energie
 P_{el} [kW]- el.výkon kogeneračnej jednotky
PEZ- primárne energetické zdroje
PJ- Primárna pohonná jednotka
 p_{KO} [bar]- kondenzačný tlak chladiva
PRV [kWh/kWe; kWh/kWt]- priemerné ročné využitie inštalovaného výkonu za dobu životnosti podľa vyhlášky o technicko-ekonomických parametroch
 p_{vyp} [bar]- vyparovací tlak chladiva
Q [kJ]- vyrobená tepelná energia
 Q_i^r [kJ/Nm³]- výhrevnosť
 Q_A [kW] -tepelný výkon odvádzaný z absorberu chladiacou vodou
 q_A [kJ/kg]- merné teplo absorbera
 Q_{AJ} [kW]- tep. výkon spotrebovaný absorpčnou jednotkou
 q_{DO} [kJ/kg]- merné teplo predané v dochladzovači
 Q_{el} [kJ]- Množstvo energie v palive potrebné k výrobe elektrickej energie v kondenzačnej elektrárni
 q_G [kJ/kg]- merné teplo vypudzovača
 Q_G [kW] -tepelný výkon privedený do vypudzovača (generátora) vykurovacou vodou
 Q_{CH} [kW]- chladiaci výkon absorpčnej jednotky
 Q_{CH}^* [kW]- žiadaný chladiaci výkon pri použití trigeneračného výpočtového modelu
 Q_K [kW] -tepelný výkon odvádzaný z kondenzátora chladiacou vodou
 q_K [kJ/kg]- merné teplo kondenzátora
 Q_{KJ} [kJ]- Spotreba energie z paliva pri kogenerácii
 Q_{pal} [kW]- príkon v palive
 Q_t [kW]- tep. výkon kogeneračnej jednotky
 Q_{TUV} [kW]- tep. výkon použitý na ohrev teplej úžitkovej vody
 Q_{TUV}^* [kW]- žiadaný tep. výkon pri použití trigeneračného výpočtového modelu
 Q_{TUV}' [kW]- doladená hodnota tep. výkon použitím trigeneračného výpočtového modelu
 Q_u [kJ]- úspora energie v palive pri kogenerácii
 Q_v [kW] -tepelný výkon privedený do výparníka ochladzovaným médiom
 q_v [kJ/kg]- merné teplo výparníka
 q_{VT} [kJ/kg]- merné teplo predané vo výmenníku tepla bohatý/chudobný roztok
 Q_{vyh} [kJ]- množstvo energie spotrebované z paliva pri výrobe tepla vo výhrevni



RF [Kč/MWh;Kč/GJ]- redukční faktor
ST- spotřebič tepla
 t_3 [°C]- max. teplota roztoku na výstupu z vypuzovače
 t_6 [°C]- teplota roztoku na výstupu z absorbéra
 t_{KO} [°C]- kondenzační teplota
 t_{12} [°C]- teplota vykurovacej vody na vstupe do kogeneračnej jednotky
 t_{TUV} [°C]- teplota vykurovacej vody použitej na ohrev teplej úžitkovej vody
TUV- teplá úžitková voda
 t_{vyp} [°C]- teplota vo výparníku
 t_{w1} [°C]- teplota chladiacej vody na vstupe do kondenzátora
 t_{w2} [°C]- teplota chladiacej vody na výstupu z kondenzátora
 t_{w3} [°C]- teplota chladiacej vody na vstupe do absorbéra
 t_{w4} [°C]- teplota chladiacej vody na výstupu z absorbéra
 V_{pal} [Nm³/s]- spotreba paliva
VYR [MWh;GJ]- ročné množstvo vyrobenej energie
 ZB_{dopl_I} [Kč]- doplnková sadzba I k základnej sadzbe zeleného bonusu
 $ZB_{zakl.sazba}$ [Kč]- základná sadzba zeleného bonusu
 Z_{KJ} [%]- zaťaženie kogeneračnej jednotky
 ΔQ - rozdiel medzi požadovaným a prideleným tep. výkonom
 ξ_b [kg/kg chladiva] -koncentrácia bohatého roztoku
 ξ_d [kg/kg chladiva] -koncentrácia chladiva $\xi_d=1$
 ξ_{ch} [kg/kg chladiva] -koncentrácia chudobného roztoku
 ξ [-]- koncentráciu chladiva v roztoku
 $1-\xi$ [-]- koncentráciu soli v roztoku

9 Zoznam príloh

Príloha 1 CD (Elektronická verzia diplomovej práce, Výpočtové modely)