

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ**

KATEDRA TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ BUDOV



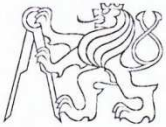
Využití kogenerační jednotky pro wellness provoz

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Lukáš Fiedler

Vedoucí diplomové práce : doc. Ing. Vladimír Jelínek, CSc.

2017-2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Fiedler Jméno: Lukáš Osobní číslo: 410773

Zadávací katedra: K125 - Katedra technických zařízení budov

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Využití kogenerační jednotky pro wellness provoz

Název diplomové práce anglicky: Use of cogeneration unit for wellness operation

Pokyny pro vypracování:

V rámci studie zpracujte tepelně technické zhodnocení objektu hotelu s wellness provozem. Navrhněte variantní řešení zdroje tepla a distribuce tepla s ohledem na komfort uživatelů a energetickou soběstačnost objektu.

Vypracujte závěrečné hodnocení z hlediska energetického, ekonomického a ekologického.

Pro zvolenou variantu zpracujte projekt ve stupni dokumentace pro provedení stavby.

Seznam doporučené literatury:

Kabele, K., a kolektiv: Energetické a ekologické systémy, ČVUT, 2005

Jelínek, V.: Vytápěcí a chladicí systém budovy účinně a ekologicky, IS Gas, 2012

Krbek, J., Polesný, B.: Kogenerační jednotky zřizování a provoz, IS Gas, 2007

Petrák, J., Petrák, M.: Tepelná čerpadla, ČVUT, 2004

Jméno vedoucího diplomové práce: doc. Ing. Vladimír Jelínek, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

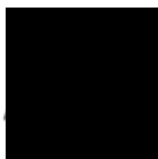
2.10.2017

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem svoji diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a podkladů.

V Praze, 25. prosince 2017



(

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Vladimíru Jelínkovi, CSc. za zodpovědné vedení této práce, odborné rady a praktické připomínky k obsahu práce.

Dále bych chtěl poděkovat svým rodičům - Renátě a Jaromíru Fiedlerovým, kteří mě v průběhu mých studií podporovali.

Obsah

Anotace/Annotation.....	1
A. Analýza řešené budovy.....	2
A.1 Úvod.....	2
A.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla.....	2
A.3 Možnosti využití kogenerace.....	3
A.4 Popis objektu.....	4
A.5 Obecné požadavky na provoz objektu.....	6
A.6 Potřeba tepla.....	6
A.6.1 Tep. ztráta prostupem.....	6
A.6.2 Tep. ztráta větráním.....	7
A.6.3 Ohřev teplé vody.....	9
A.7 Bilance tepla.....	10
A.8 Bilance elektřiny.....	11
B. Návrh zdroje tepla.....	11
B.1 Varianty řešení zdroje tepla.....	12
B.1.1 Tepelné čerpadlo + elektrokotel.....	12
B.1.2 Kogenerační jednotka + tepelné čerpadlo + elektrokotel.....	13
B.1.3 Kogenerační jednotka + plynový kotel.....	15
B.1.4 Kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič.....	16
B.1.5 Kaskáda plynových kotlů.....	17
B.1.6 Možnost elektrického vytápění pokojů pro hosty.....	18
B.2 Vyhodnocení variant.....	20
B.2.1 Energetické vyhodnocení.....	20
B.2.2 Ekonomické vyhodnocení.....	22
B.2.2.1 Náklady za plyn.....	22
B.2.2.2 Náklady za elektřinu.....	24
B.2.2.3 Shrnutí provozních nákladů.....	26
B.2.2.4 Pořizovací náklady.....	27
B.2.2.5 Vyhodnocení.....	27
B.2.2.6 Úvaha - ekonomické porovnání s využitím chlazení.....	28
B.2.3 Ekologické vyhodnocení.....	30
B.3 Závěr.....	32
Použité zdroje.....	34
Seznam použitých obrázků, tabulek, grafů.....	35
Seznam příloh a výkresů.....	37

Anotace

Obsahem diplomové práce je zpracování studie posuzující vhodnost instalace kogenerační jednotky jako zdroje tepla a elektřiny do objektu hotelu s wellness provozem. V rámci studie je zpracováno tepelně-technické posouzení objektu a na základě výsledných bilancí tepla je navrženo několik variant řešení zdroje tepla. Výsledkem práce je porovnání a vyhodnocení jednotlivých variant a návrh vhodného řešení v rámci projektu vytápění ve stupni pro provedení stavby. Práce je rozdělena do tří částí.

V úvodní části se zabývám problematikou kombinované výroby elektřiny a tepla a vhodností tohoto systému pro mnou řešený objekt. Tento objekt je poté podroben tepelně technickému posouzení, jehož výsledkem jsou bilance tepla a elektřiny, které jsou použity jako podklad v druhé části.

V druhé části jsem aplikoval tyto poznatky pro návrh variant řešení zdrojů tepla. Jednotlivé varianty jsou posuzovány z hlediska energetického, ekonomického a ekologického.

Třetí částí této diplomové práce je projekt vytápění ve stupni pro provedení stavby s návazností na potřeby ostatních profesí v daném objektu. Tento projekt obsahuje návrh řešení zdroje tepla, který byl ve druhé části práce zvolen jako nejvhodnější.

Annotation

The diploma thesis deals with the study of the suitability of the installation of the cogeneration unit as a source of heat and electricity in the wellness hotel building. The heat-technical assessment of the building is processed and several variants of the heat source are proposed based on the resulting heat balances. The result of the thesis is the comparison and evaluation of individual variants and the design of a suitable solution within the project of heating in the detail design documentation. The work is divided into three parts.

The introductory part deals with the issue of combined production of electricity and heat and the suitability of this system for the object I solve. This object is then subjected to a thermal-technical assessment resulting in the heat and electricity balances that are used as the basis in the second part.

In the second part I used this knowledge for proposal of several variants of the heat source solution. Individual variants are considered from the point of view of energy, economic and ecological.

The third part of this diploma thesis is a heating project in the detail design documentation with respect to the needs of other professions. This project contains a proposal of heat source, which was chosen as the most suitable in the second part.

A. Analýza řešené budovy

A.1 Úvod

Hlavním obsahem diplomové práce je zpracování analýzy vhodnosti použití kogenerační jednotky jako hlavního zdroje tepla pro hotel s wellness provozem ve městě Třeboň, okres Jindřichův Hradec. U objektu je předpokládán celoroční rekreační provoz lázeňského charakteru - nabízí ubytování pro 60 návštěvníků, masáže, koupele a také vnitřní bazén s vířivkou a saunou.

Právě lázeňský charakter budovy s předpokládanou celoroční velkou spotřebou teplé vody se nabízí pro použití kogenerační jednotky jako hlavního zdroje tepla. Cílem je zajistit objektu alespoň částečnou nezávislost na dodávkách elektrické energie z veřejné sítě a minimalizovat provozní náklady za teplo a elektřinu. Součástí práce je i posouzení objektu z hlediska dopadu na životní prostředí při použití kombinované výrobě elektřiny a tepla.

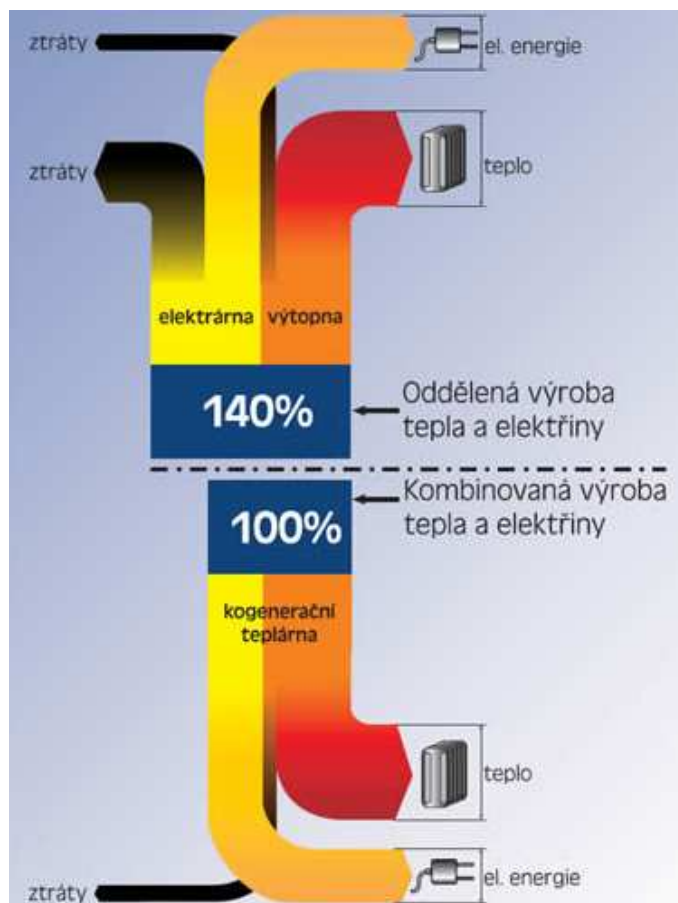
Práce řeší taktéž technické problémy při zapojení navrženého zdroje tepla do otopné soustavy. Pro objekt je zpracován projekt vytápění ve stupni pro provedení stavby se všemi náležitostmi a návaznostmi na ostatní profese - práce koncepčně řeší také přípravu teplé vody a ohřev a distribuci vzduchu.

A.2 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Kombinovaná výroba elektřiny a tepla je proces, při kterém je určitá forma energie transformována na dva různé druhy energií. V energetickém průmyslu tak většinou spotřebováváme palivo a vyrábíme tím elektřinu a teplo. Palivem může být například zemní plyn, bioplyn, biomasa a jiné.

Kogenerace představuje velice efektivní a účinné využití paliva, jelikož využívá odpadní teplo, které při oddělené výrobě elektřiny a tepla jinak uniká do okolí. Efektivní využití paliva přináší nejen menší náklady ze jeho sníženou spotřebu, ale také snížení emisí vzniklých při spalování paliva. Celková účinnost kogenerace může při plném využití odpadního tepla přesahovat 100% energie paliva - obdoba kondenzačního kotle. Oproti tomu například uhelné elektrárny, které vyrábí pouze elektřinu a odpadní teplo se maří například v chladících věžích, dosahují celkové účinnosti pouze kolem 30 %. Poté se dá říci, že 70 % energie obsažené v uhlí zůstává nevyužito.

Kogenerace je velmi rozsáhlý pojem. Kombinované výroby elektřiny a tepla lze využít, jak už bylo zmíněno v energetice a teplárenství, kdy v tomto režimu mohou pracovat centrální elektrárny / teplárny, ale také v oblasti kotelen a výtopen, kdy kogenerační jednotka zásobuje elektřinou a teplem pouze konkrétní objekt, který se tak stává do jisté míry nezávislý na dodávkách z elektrické sítě. Do budoucna se zřejmě dočkáme i menších kogeneračních jednotek o výkonech v řádu jednotek kilowatt, které budou zásobovat rodinné domy a podobné objekty.



Obr. 1 - Porovnání účinnosti výroby energie [11]

A.3 Možnosti využití kogenerace

Kogenerace je ze svého principu vhodná především tam, kde je zajištěn trvalý odběr elektřiny a tepla. Pouze pokud jednotka bude vyrábět teplo a elektřinu po celý rok, je zde možnost rychlé návratnosti vložených investic. Proto se využití kogeneračních jednotek doporučuje například v následujících provozech:

- průmyslové podniky
- sportovní centra a bazény
- nemocnice
- hotely

Objekt řešený v této práci je navržen jako wellness hotel, kde se očekává velká spotřeba tepla i v letním období, zejména pro ohřev užitkové a bazénové teplé vody. Zvláštností tohoto objektu je, že je relativně malý. Proto je třeba zvážit veškeré okolnosti výpočtu mnohem pečlivěji, než např. u velkého průmyslového objektu, kde investice do řádově větší kogenerační jednotky přináší výrazné provozní úspory. Obecně se dá říci, že čím menší a energeticky úspornější objekt je, tím rizikovější může být instalace KGJ, neboť zde vzniklé úspory nebudou tak výrazné.

A.4 Popis objektu

Řešeným objektem je wellness hotel v Třeboni, okres Jindřichův Hradec. Jedná se o čtyřpodlažní objekt s jedním podzemní a třemi nadzemními podlažími. V podzemní podlaží se nachází technické zázemí objektu. V 1.np se nachází zázemí pro hosty a personál a bazénová hala. Druhé a třetí nadzemní podlaží je tvořeno pokoji pro hosty. Objekt je řešen v nízkoenergetickém standardu.

Celková zastavěná plocha: $A = 1\,140\text{ m}^2$
Celková podlahová plocha: $A = 2\,700\text{ m}^2$



Obr. 2 - Severo-západní pohled na objekt

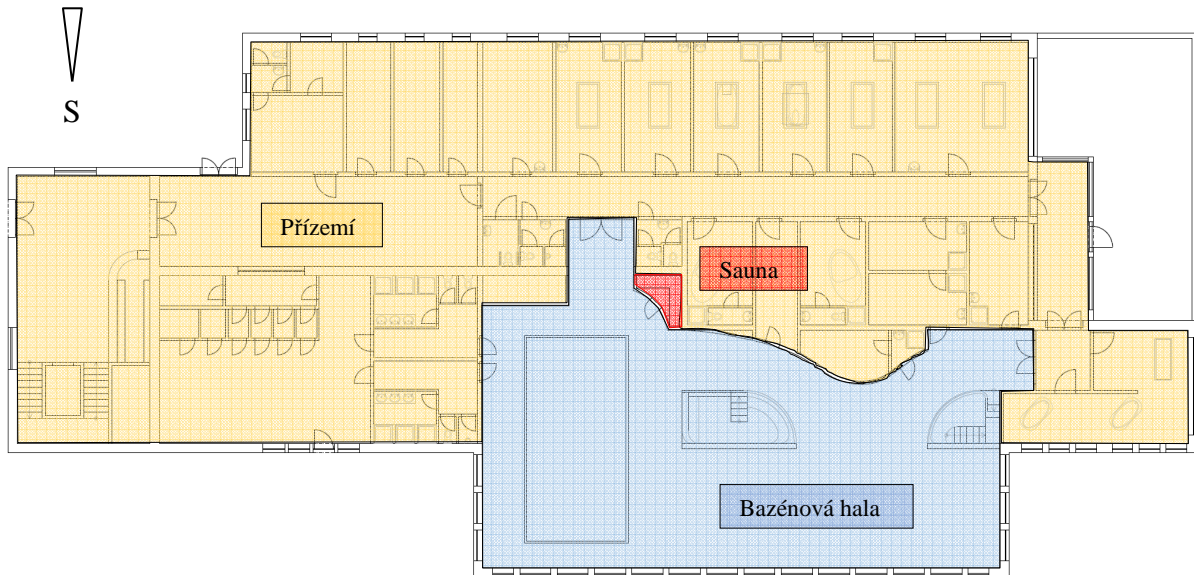
Z hlediska vytápění a větrání bude objekt rozdělen do tří hlavních zón:

- Pokoje pro hosty
- Přízemí
- Bazénová hala

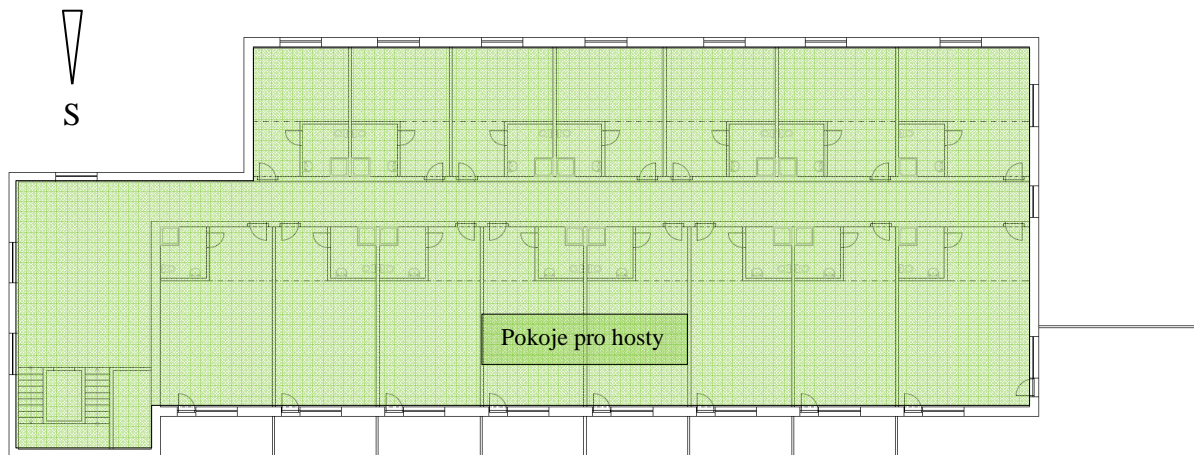
Pokoje pro hosty se nachází ve druhém a třetím podlaží (obě podlaží jsou shodná). Jedná se celkem o 30 pokojů s vlastní koupelnou a WC. Pro každý pokoj připadají dvě lůžka - návrhový počet osob využívající objekt je tedy 60.

Zóna "Přízemí" poskytuje zázemí pro personál a především pro hosty využívající bazénovou halu a další lázeňské služby.

V bazénové hale se nachází krytý bazén o rozměrech 5x10 m. Dále je zde vířivka a sauna s vychlazovací koupelí. Sauna bude vybavena vlastní technologií - projekt řeší pouze přívod čerstvého vzduchu do sauny.



Obr. 3 - Půdorys objektu - 1.np



Obr. 4 - Půdorys objektu - 2.np a 3.np

Svislé nosné konstrukce tvoří keramické zdivo tl. 440 mm bez zateplení, stropy jsou železobetonové, střecha plochá, zateplená spádovými klíny z čedičové vlny o výpočtové tloušťce 240 mm. Okna obsahují dvojsklo, v prostoru bazénové haly trojsklo. Technické rozvody budou vedeny převážně v podhledu.

Tepelně-fyzikální parametry vnějších konstrukcí:

Stěna obvodová - 440 mm: $U = 0,194 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Střecha: $U = 0,154 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Podlaha přilehlá k zemině: $U = 0,374 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Okno - dvojsklo: $U = 1,100 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

Okno - trojsklo: $U = 0,900 \frac{W}{m^2 \cdot K}$

A.5 Obecné požadavky na provoz objektu

Budou splněny hygienické požadavky na teplotní a vlhkostní mikroklima. Teplotní parametry dle ČSN EN 12831 budou zajištěny krytím vypočtených tepelných ztrát objektu, a to jak teplovodním, tak vzduchotechnickým systémem. Požadavky na větrání budou zajištěny dostatečným průtokem větracího vzduchu. Množství čerstvého vzduchu bude zajištěno dostatečnou intenzitou větrání - tato hodnota bude stanovena podle počtu osob a jejich potřebě čerstvého vzduchu. Pro sprchy, šatny a toalety bude hodnota stanovena podle počtu zařizovacích předmětů dle nařízení vlády 523/2002 Sb. Potřebný průtok přiváděného vzduchu pro odvod škodlivin bude stanoven na základě bilance vlhkosti, CO₂ a dalších škodlivin. Budova bude větrána výhradně nuceně. V letním období bude v pokojích pro hosty větrání částečně kompenzovat tepelné zisky. V zimním období bude vzduchotechnika kompenzovat tepelnou ztrátu větráním.

Zdroj tepla musí zajistit dostatečný výkon pro otopnou soustavu objektu, ohřev vzduchu a pro ohřev teplé užitkové a bazénové vody. Tyto podmínky musí splňovat pro návrhové parametry venkovního vzduchu v zimním období.

Zimní parametry dle ČSN 73 0540 pro oblast České Budějovice:

- oblastní teplota -17°C
- návrhová rel. vlhkost vzduchu 80 %
- průměrná teplota v otopném období +3,4°C
- počet dnů v otopném období 232

A.6 Potřeba tepla

A.6.1 Tep. ztráta prostupem

Pro výpočet tepelné ztráty prostupem byl využit software PROTECH - Tepelný výkon. Program počítá tepelné ztráty dle ČSN EN 12831. Následující tabulka obsahuje hodnoty tepelných ztrát prostupem pro jednotlivé zóny a pro celou budovu.

Zóna	Tepelná ztráta prostupem [W]	Z toho kryto teplovodním vytápěním [W]
Suterén	2 481	2 481
Přízemí	9 573	9 573
Bazénová hala	10 062	6 962
Pokoje pro hosty	18 543	18 543
Celková ztráta	40 660	37 560

Tab. 1 - Tepelné ztráty prostupem

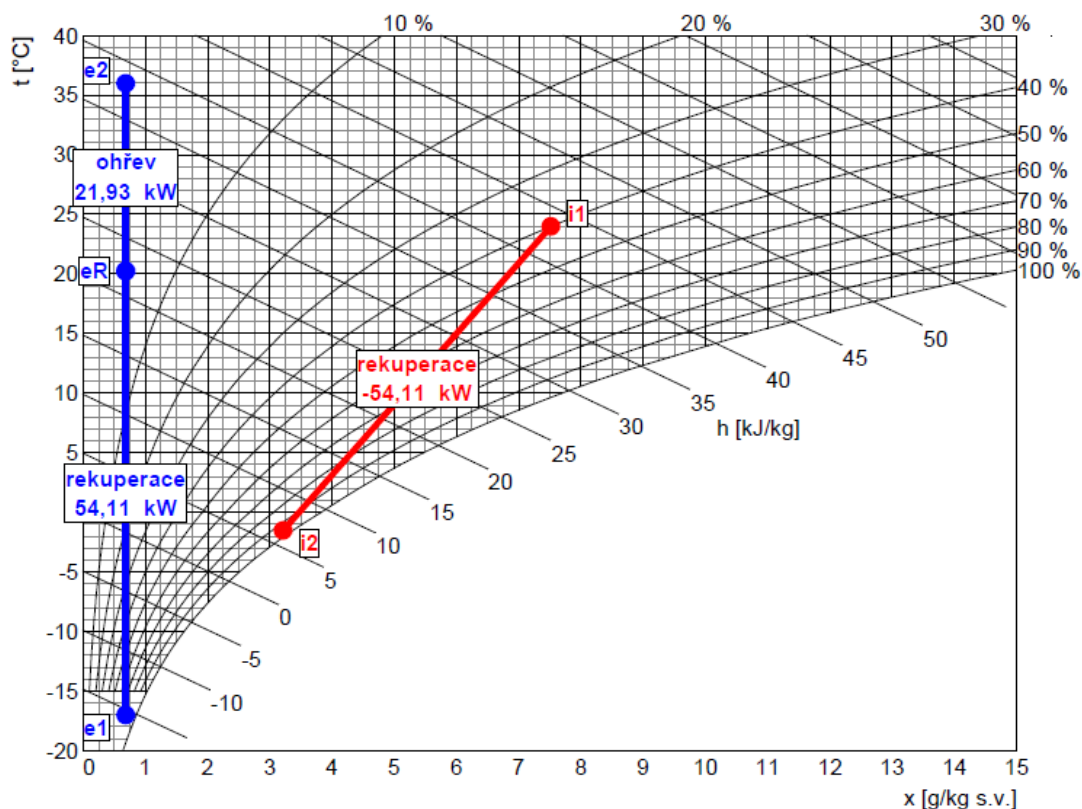
A.6.2 Tep. ztráta větráním

Výměnu a úpravu vzduchu v objektu budou zajišťovat 3 vzduchotechnické jednotky. Objekt je z hlediska větrání rozdělen do následujících zón:

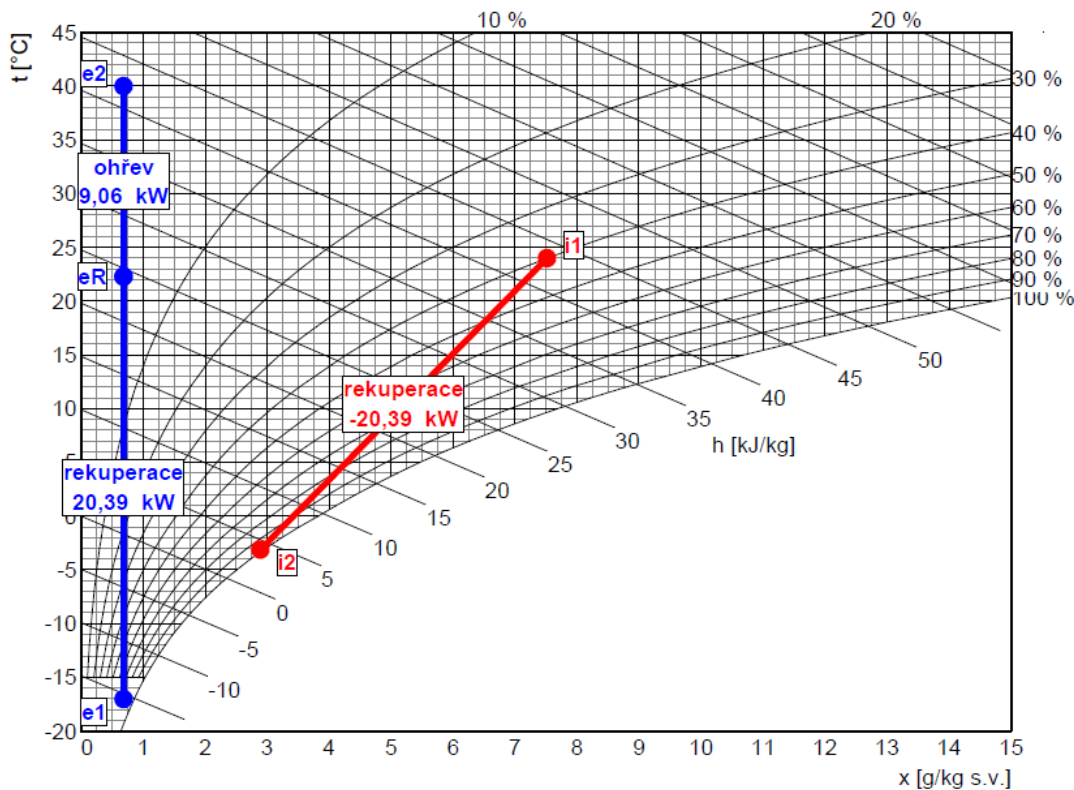
- Bazénová hala - PZP WPLE 2250
- Přízemí - VZT jednotka Atrea DUPLEX 5000 Multi
- Pokoje pro hosty - VZT jednotka Atrea DUPLEX 5000 Multi
- Sauna - pouze ventilátory
- Suterén - pouze ventilátory

Pro výpočet parametrů vzduchotechnických jednotek DUPLEX včetně výkonů ohřivačů byl použit návrhový program Atrea. Následující výtahy z návrhového programu ukazují potřebný výkon pro ohřev vzduchu. Není na nich znázorněno adiabatické vlhčení vzduchu.

V případě zóny "přízemí" jsou pro některé prostory instalovány dohříváče vzduchu o celkovém tepelném výkonu $Q = 3\text{kW}$.



Obr. 5 - H-X diagram - větrání přízemí



Obr. 6 - H-X diagram - větrání pokojů pro hosty

Bazénová hala bude částečně vytápěna také teplovzdušně. Tepelná ztráta prostupem, kterou je třeba pokrýt činí $Q = 3100\text{W}$.

Úpravu vzduchu pro bazénovou halu zajišťuje bazénová odvlhčovací jednotka PZP WPLE 2250, která je vybavena mimo jiné tepelným čerpadlem s uzavřeným okruhem. Tepelné čerpadlo o jmenovitém tepelném výkonu $Q = 12\text{kW}$ zajišťuje primární úpravu vzduchu. V případě velmi nízkých (návrhových) venkovních teplot je spínán dohříváč, který je dimenzován na max. topný výkon $Q = 5\text{kW}$.

Zóna	Tepelná ztráta větráním krytá ohříváči vzduchu [W]
Suterén	2 000
Přízemí	25 000
Bazénová hala	5 000
Pokoje pro hosty	9 000
Celková ztráta	41 000

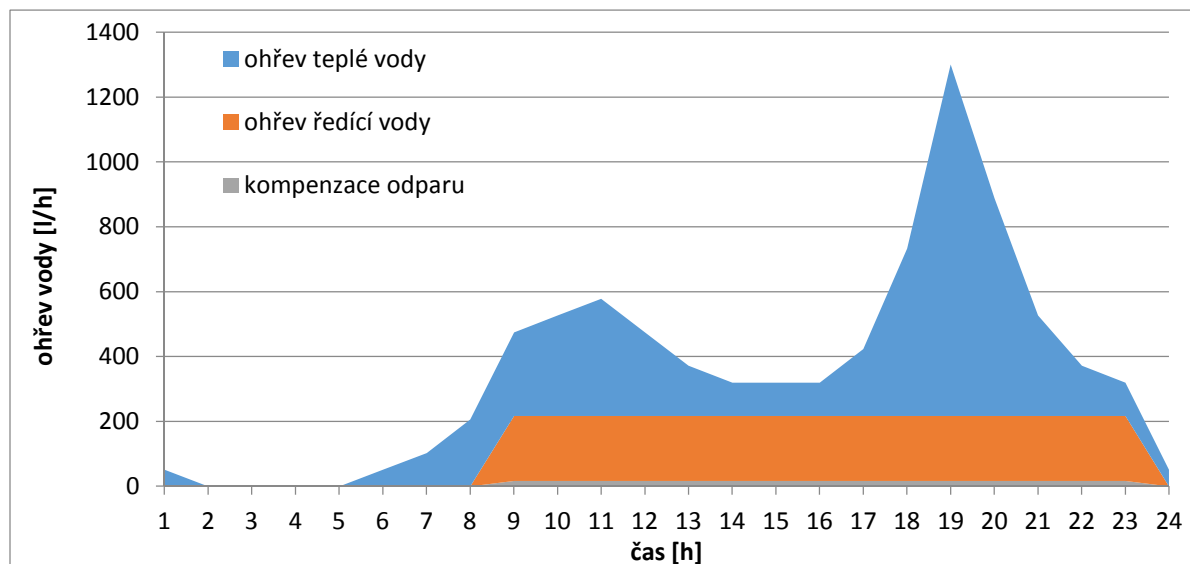
Tab. 2 - Tepelné ztráty větráním

Podrobnější informace k větrání objektu včetně navržených vzduchotechnických jednotek se nachází v příloze 2 - Projekt vzduchotechniky (studie).

A.6.3 Ohřev teplé vody

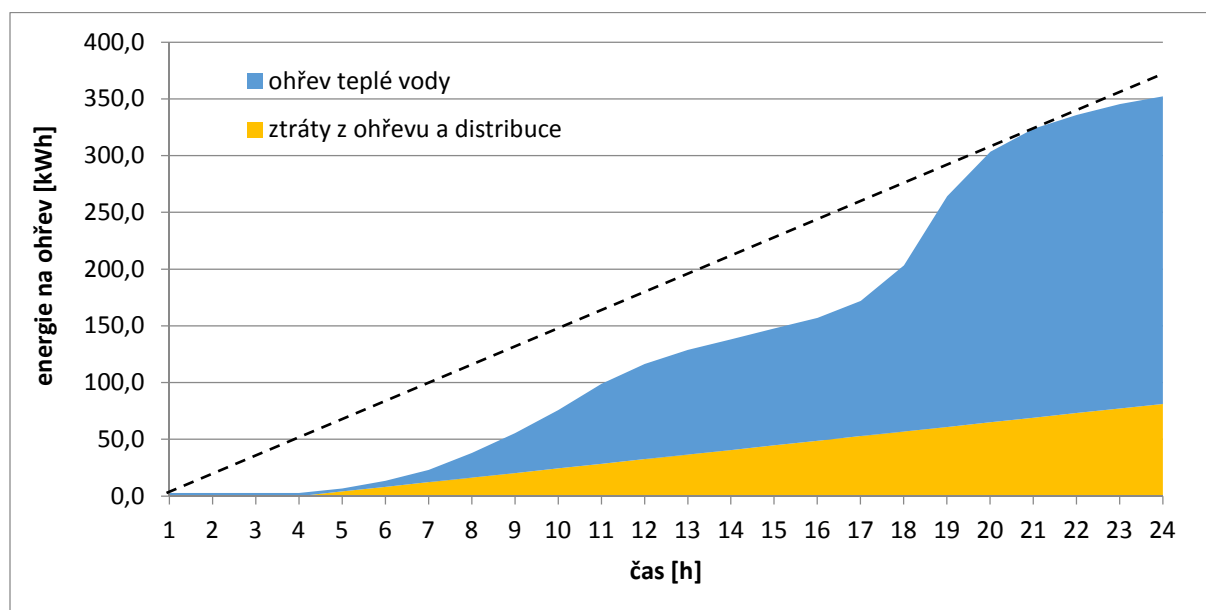
Ohřev teplé vody bude zajišťován centrálně, nepřímotopně, společným zdrojem tepla. Ohřívána bude odděleně teplá voda užitková a teplá voda bazénová.

Následující graf znázorňuje předpokládanou odběrovou křivku teplé vody.



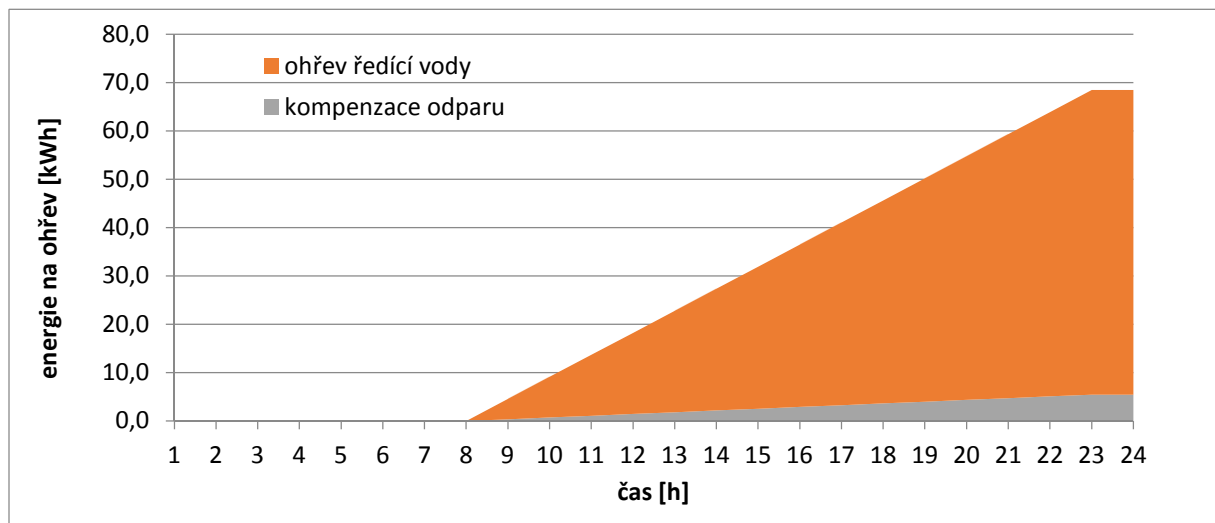
Graf 1- odběrová křivka - ohřev teplé užitkové vody, ředící vody, kompenzace odparu

Následující graf znázorňuje součtovou křivku odběru teplé užitkové vody. Z důvodu předpokládaného nepřetržitého provozu KGJ je voda ohřívána průběžně 24 hodin denně. V tomto případě vychází nutnost akumulovat $1,67 \text{ m}^3$ teplé vody při výkonu ohříváče $Q = 16,2 \text{ kW}$.



Graf 2 - součtová odběrová křivka - ohřev užitkové vody

Pro ohřev bazénové vody navrhuji průtočný ohřev o výkonu $Q = 4,6 \text{ kW}$, viz. graf níže.

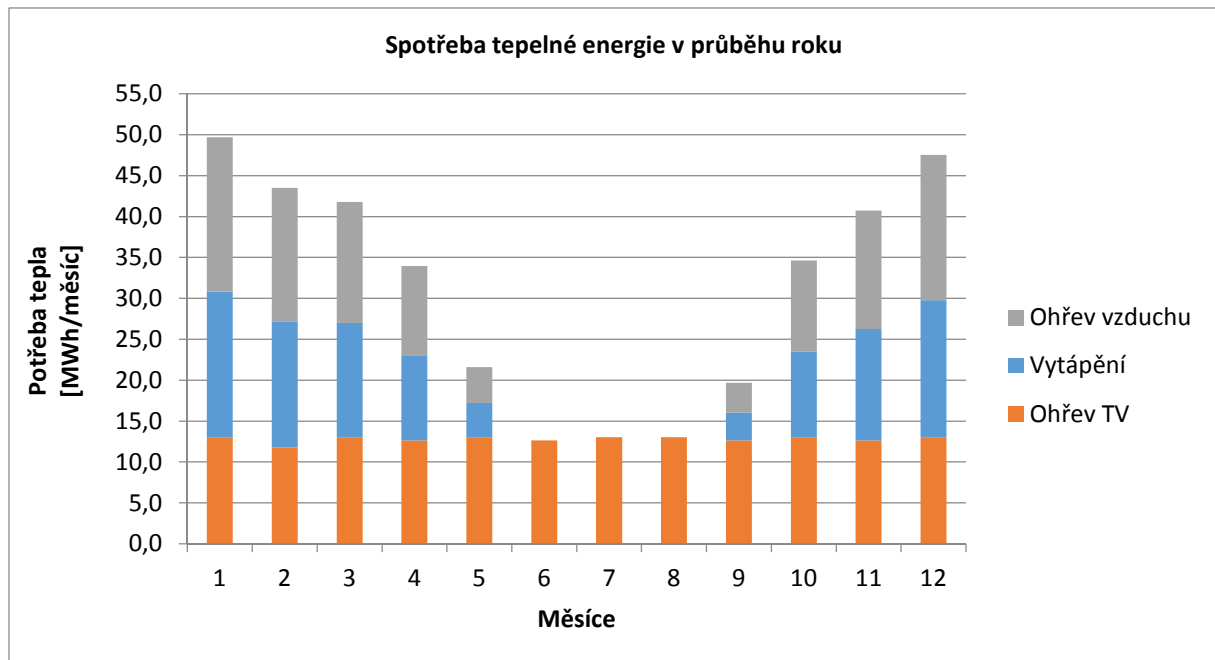


Graf 3 - součtová odběrová křivka - ohřev bazénové vody

A.7 Bilance tepla

Tepelný výkon pro otopnou soustavu	37,6 kW
Tepelný výkon pro ohřev vzduchu	41,0 kW
Tepelný výkon pro ohřev TV	20,8 kW
Celkový potřebný tepelný výkon při $t_e = -17 \text{ °C}$	99,4 kW

Tab. 3 - Celkový potřebný tepelný výkon



Graf 4 - Spotřeba tepelné energie v průběhu roku

Celková roční potřeba tepla řešeného objektu činí $E_h = 371,8 \text{ MWh}$.

A.8 Bilance elektřiny

Měrný příkon na osvětlení:	$P_{\text{osvětlení}} = 3,8 \text{ kW}$
VZT jednotka (bazénová hala) - ventilátory	$P_{\text{vent,1}} = 2,0 \text{ kW}$
VZT jednotka (bazénová hala) - kompresor	$P_{\text{komp,1}} = 2,4 \text{ kW}$
VZT jednotka (přízemí) - ventilátory	$P_{\text{vent,2}} = 2,3 \text{ kW}$
VZT jednotka (pokoje pro hosty) - ventilátory	$P_{\text{vent,3}} = 1,0 \text{ kW}$
Ostatní pomocné energie	$P_{\text{ost}} = 1,0 \text{ kW}$
Elektrický příkon celkem:	$P_{\text{celkem}} = 12,5 \text{ kW}$

Celková odhadovaná roční potřeba provozní elektřiny řešeného objektu činí $E_{\text{el}} = 110 \text{ MWh}$.

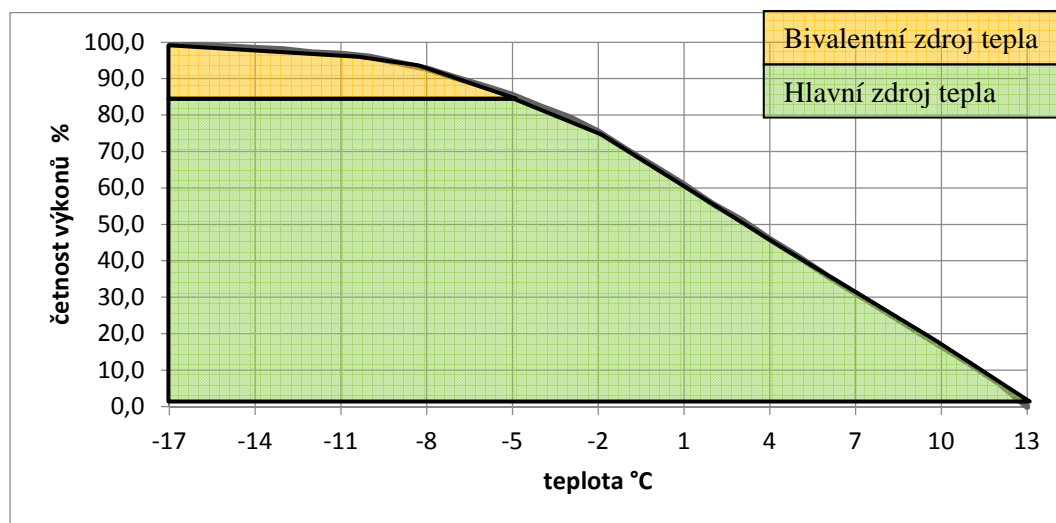
Pozn.: Ve výpočtech není uvažováno s elektrickým příkonem vybavení objektu jako jsou počítače, balneotechnika, atd.

B. Návrh zdroje tepla

V rámci diplomové práce bylo vytvořeno několik variant řešení zdroje tepla. Všechny varianty uvažují hlavní zdroj tepla, který je doplněn bivalentním zdrojem pro krytí špičkových výkonů. Při návrhu hlavního zdroje tepla je tedy zohledněna četnost výkonů v průběhu roku.

U větších objektů není výhodné navrhovat hlavní zdroj tepla na maximální tepelnou ztrátu, neboť vstupní investice do takového zdroje je vzhledem k četnosti velmi chladných dnů nepoměrně vysoká. Doporučuje se hlavní zdroj navrhovat na cca 80 % celkové tepelné ztráty objektu, přičemž zbylých 20 % (odpovídajících přibližně 40ti nejchladnějším dnům otopného období) pokrývá bivalentní zdroj.

Ve své práci uvažuji přibližně 85 % pro hlavní zdroj. Bivalentní zdroj poté spíná při venkovních teplotách $t_e < -5 \text{ °C}$, viz. graf níže.



Graf 5 - Četnost výkonů v průběhu roku

B.1 Varianty řešení zdroje tepla

V této kapitole uvádím několik variant řešení zdroje tepla. Pro každou variantu je uvedena specifikace hlavního a bivalentního zdroje tepla (výkon, pořizovací cena, a další...), dále stručný popis systému, v grafech je pro názornost uvedena celoroční bilance tepelných a elektrických toků v kW pro každý měsíc (uvažuji průměrnou měsíční teplotu) a nakonec výhody a nevýhody daných variant.

Bylo zvoleno celkem 5 základních variant řešení zdroje tepla:

- var. 1 - tepelné čerpadlo + elektrokotel
- var. 2 - kogenerační jednotka + tep. čerpadlo + elektrokotel
- var. 3 - kogenerační jednotka + plynový kotel
- var. 4 - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič
- var. 5 - kaskáda plynových kotlů

B.1.1 Tepelné čerpadlo + elektrokotel

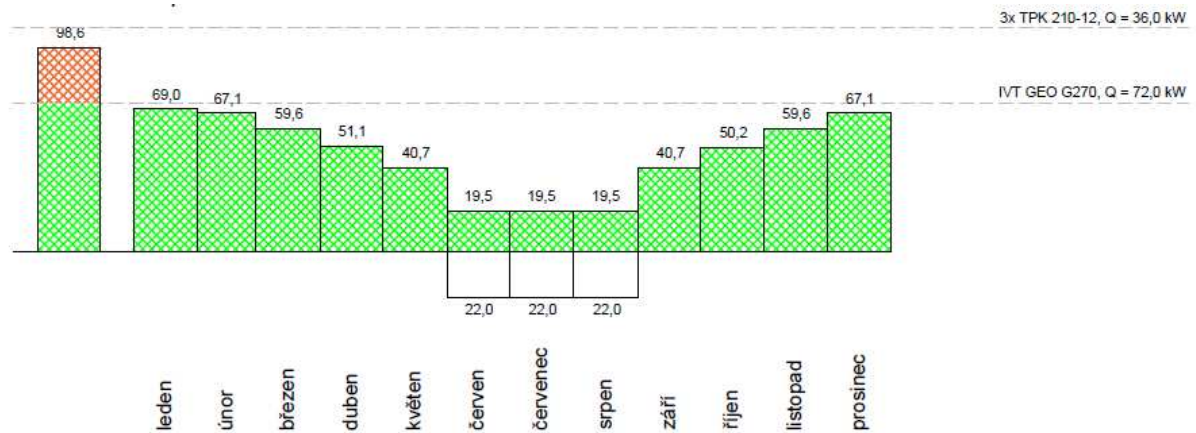
Navrhuji 1x tepelné čerpadlo IVT GEO G270 - $Q = 72,0 \text{ kW}$ (0/35)

maximální výkon:	$Q = 72,0 \text{ kW}$
příkon (0/35):	$P = 16,4 \text{ kW}$
topný faktor (0/35):	$\text{COP} = 4,38$
cena za čerpadlo:	600 000 Kč
cena za vrty:	$\approx 1\,900\,000 \text{ Kč}$
cena celkem:	$\approx 2\,500\,000 \text{ Kč}$ (bez DPH)

Navrhuji 3x elektrická topná patrona Dražice TPK 210-12 - $Q = 3 \times 12,0 \text{ kW}$

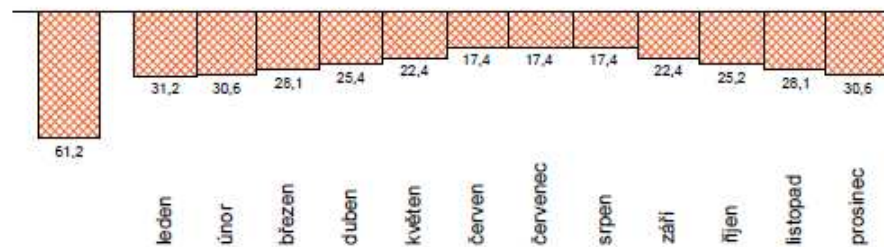
maximální topný výkon:	$Q = 36,0 \text{ kW}$
cena celkem:	$3 \times 7\,000 \text{ Kč}$ (bez DPH)

Pro vytápění hotelu je jako hlavní zdroj tepla zvoleno tepelné čerpadlo IVT GEO G270 o tepelném výkonu 72,0 kW (0/35). Jedná se o systém země - voda, kde zemní výměníky budou uloženy do hlubinných vrtů. Pro zásobování teplem je tento zdroj tepla je využitelný 80% otopného období. Jako bivalentní zdroj tepla byly zvoleny elektrické topné patrony o celkovém výkonu 36 kW, které jsou umístěny v akumulární nádobě a spouští se pouze ve velmi chladných dnech otopného období (zhruba 20% ot. období). V letním období se nabízí využití chladičného modulu (není součástí dodávky čerpadla), pomocí kterého může čerpadlo aktivně chladit a zároveň dodávat teplo pro ohřev TV.



Graf 6 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 1

t_w	-2,1	-1,1	3,1	7,5	12,8	16,0	20,0	16,0	13,0	7,8	2,9	-0,7
COP	3,6	3,6	3,7	3,8	3,9	4,0	4,0	4,0	3,9	3,8	3,7	3,6



Graf 7 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 1

Mezi hlavní výhody tohoto řešení patří nulové lokální emise a skutečnost, že objekt nemusí být plynofikován. Další výhodou je možnost využití levnějšího tarifu za dodávku elektřiny. Vysoký instalovaný příkon však znamená vysoké paušální poplatky za elektřinu.

Za nevýhodu považuji závislost na dodávkách elektřiny a velkou spotřebu elektrické energie, a to zejména v zimním období, kdy obnovitelné zdroje elektřiny, jako je např. solární fotovoltaický systém, nemají vysokou účinnost.

B.1.2 Kogenerační jednotka + tepelné čerpadlo + elektrokotel

Navrhuji 1x kogenerační jednotku Bosch CE 19 NA - $Q_h = 36,0$ kW, $Q_{el} = 19,0$ kW

maximální tepelný výkon: $Q_h = 36,0$ kW (60/40°C)
jmenovitý elektrický výkon: $Q_{el} = 19,0$ kW
cena jednotky: 1 000 000Kč (bez DPH)

Navrhuji 1x tepelné čerpadlo IVT GEO G238 - $Q = 38,7$ kW (0/35)

maximální výkon: $Q = 38,7$ kW
příkon (0/35): $P = 8,6$ kW

topný faktor (0/35):

COP = 4,5

cena za čerpadlo:

500 000 Kč

cena za vrty:

≈ 1 000 000 Kč

cena celkem:

≈ 1 500 000 Kč (bez DPH)

Navrhuji 2x elektrická topná patrona Dražice TPK 210-12 - Q = 2x 12,0 kW

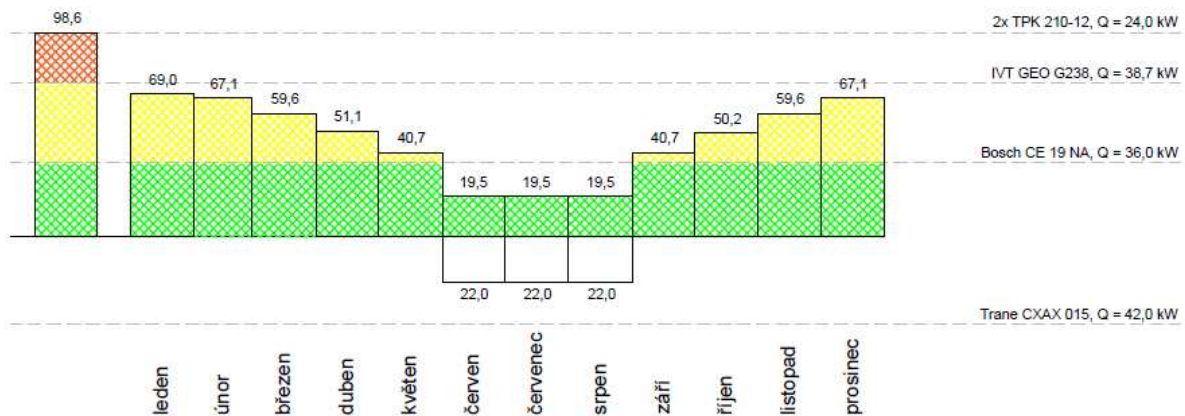
maximální topný výkon:

Q = 24,0 kW

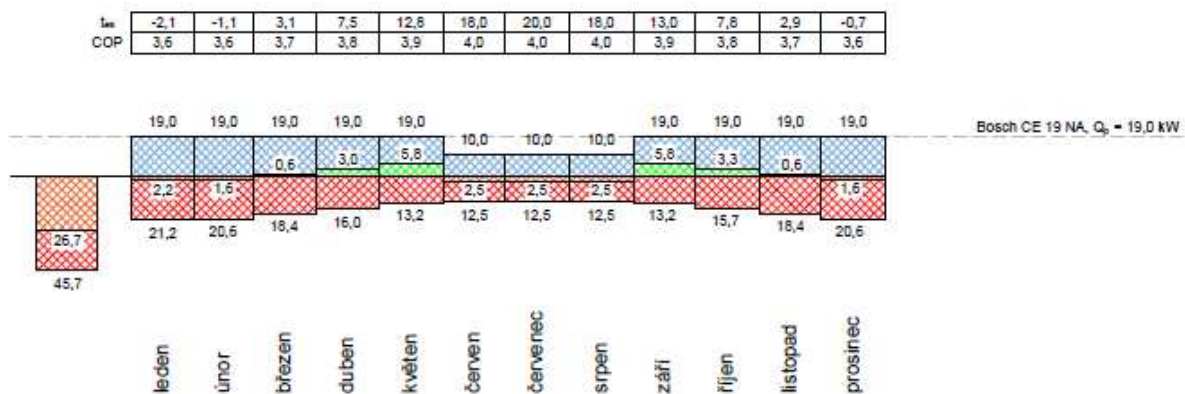
cena celkem:

2x 7 000 Kč (bez DPH)

Pro vytápění hotelu je jako hlavní zdroj tepla zvolena kogenerační jednotka Bosch CE 19 NA o tepelném výkonu 36 kW (při 60/40°C) a elektrickém výkonu 19 kW. Tento zdroj tepla je doplňován tepelným čerpadlem země-voda IVT GEO G238 o tep. výkonu 38,7 kW (0/35). Pro zásobování teplem jsou tyto zdroje tepla využitelné 85% otopného období. Jako bivalentní zdroj tepla byly zvoleny elektrické topné patrony o celkovém výkonu 24 kW, které jsou umístěny v akumulární nádobě a spouští se pouze ve velmi chladných dnech otopného období (zhruba 15% ot. období). V letním období se nabízí využití chladicího modulu (není součástí dodávky čerpadla), pomocí kterého může čerpadlo aktivně chladit



Graf 8 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 2



Graf 9 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 2

Výhodou této varianty je celoroční provoz kogenerační jednotky, tedy celoroční výroba elektrické energie. Kogenerační jednotka tak pokrývá spotřebu elektrické energie tepelným čerpadlem a částečně i spotřebu dalších elektrických spotřebičů. Kombinace těchto dvou

zdrojů tepla je ekonomicky velice výhodná jelikož provoz tepelného čerpadla nestojí vůbec nic. Platíme pouze plyn spotřebovaný malou kogenerační jednotkou. Další výhodou oproti dalším variantám je, že prostor, kde je umístěna KGJ nemusí být veden jako "kotelna".

Nabízí se zde také možnost využití levnějšího tarifu za dodávku elektřiny - zdroj tepla splňuje podmínky využití tarifu D 57d určeného pro tepelná čerpadla.

Nevýhodou je vyšší vstupní investice za KGJ a TČ a stejně jako u všech dalších variant nutnost plynofikace objektu.

B.1.3 Kogenerační jednotka + plynový kotel

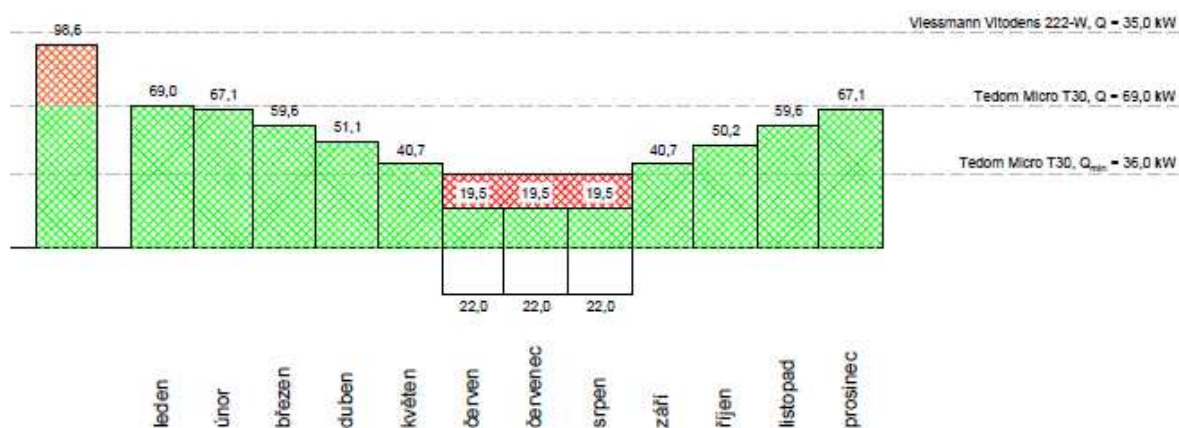
Navrhuji 1x kogenerační jednotku Tedom Micro T30 - $Q_h = 69,0 \text{ kW}$; $Q_{el} = 30,0 \text{ kW}$

maximální tepelný výkon:	$Q_h = 69,0 \text{ kW}$
jmenovitý elektrický výkon:	$Q_{el} = 30,0 \text{ kW}$
cena jednotky:	1 000 000 Kč (bez DPH)

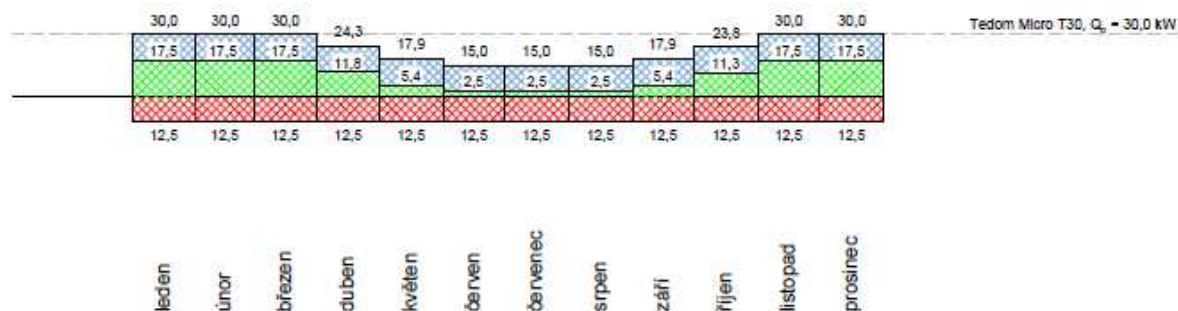
Navrhuji 1x plynový kondenzační kotel Viessmann Vitodens 222-W - $Q = 35,0 \text{ kW}$

maximální topný výkon:	$Q = 35,0 \text{ kW}$
cena kotle:	60 000 Kč (bez DPH)

Pro vytápění hotelu je jako hlavní zdroj tepla zvolena kogenerační jednotka Tedom Micro T30 o tepelném výkonu 69 kW a elektrickém výkonu 30 kW. Oproti variantě 2 je tato KGJ větší a pokrývá téměř veškerou potřebu tepla objektu. Pro zásobování teplem je tento zdroj tepla využitelný 80% otopného období. Jako bivalentní zdroj tepla byl zvolen plynový kondenzační kotel Viessmann Vitodens 222-W o tepelném výkonu 35 kW, který se spouští pouze ve velmi chladných dnech otopného období (zhruba 20% ot. období). V letním období není objekt chlazen.



Graf 10 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 3



Graf 11 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 3

Výhodou této varianty jsou celoroční přebytky elektrické energie, kterou je teoreticky možné prodávat do sítě. Objekt se pak stává nezávislým na dodávce elektrické energie. Za přebytky jsou však v současné době vypláceny velmi malé částky. Je proto vhodné zvážit, jestli se nevyplatí přebytkovou energii nějak využít.

Nevýhodou je zde omezená regulace kogenerační jednotky na min. 50% elektrického jmenovitého výkonu. V letním období pak, při požadavku kontinuální výroby el. energie, nebude možné spotřebovat veškeré teplo a toto teplo bude muset být mařeno bez užitku.

B.1.4 Kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič

Navrhuji 1x kogenerační jednotku Tedom Micro T30 - $Q_h = 69,0$ kW; $Q_{el} = 30,0$ kW

maximální tepelný výkon:	$Q_h = 69,0$ kW
jmenovitý elektrický výkon:	$Q_{el} = 30,0$ kW
cena jednotky:	1 000 000 Kč (bez DPH)

Navrhuji 1x plynový kondenzační kotel Visessmann Vitodens 222-W - $Q = 35,0$ kW

maximální topný výkon:	$Q = 35,0$ kW
cena kotle:	60 000 Kč (bez DPH)

Navrhuji 1x absorpční chladič Yazaki WFC SC 5 - $Q_{cooling} = 17,6$ kW

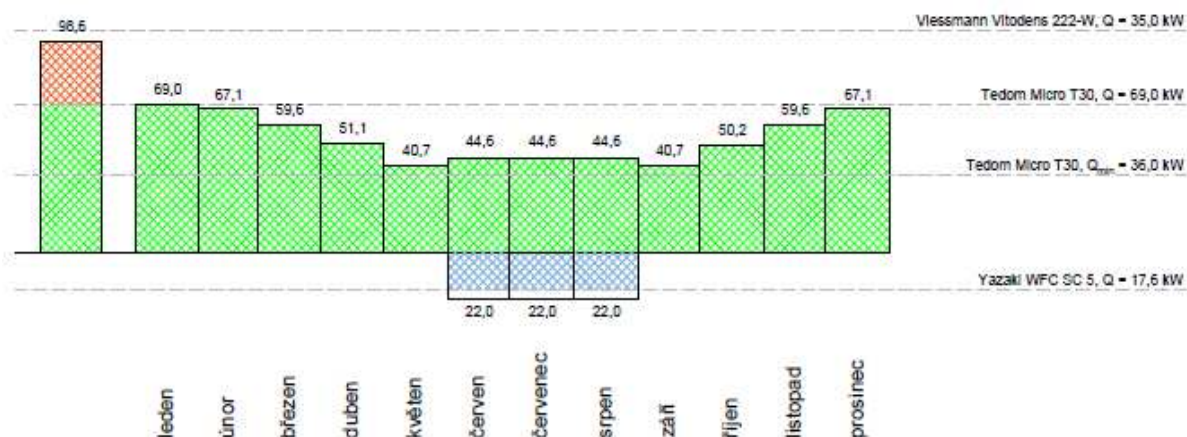
maximální chladicí výkon:	$Q_{cooling} = 17,6$ kW
tepelný příkon:	$Q_{tep.příkon} = 25,1$ kW
cena chladiče:	600 000 Kč (bez DPH)

Tato varianta je stejná jako varianta 3 s rozdílem, že v létě je přebytkové teplo, vyrobené kogenerační jednotkou, využito absorpčním chladičem ke krytí tepelné zátěže. Jedná se tedy o trigeneraci.

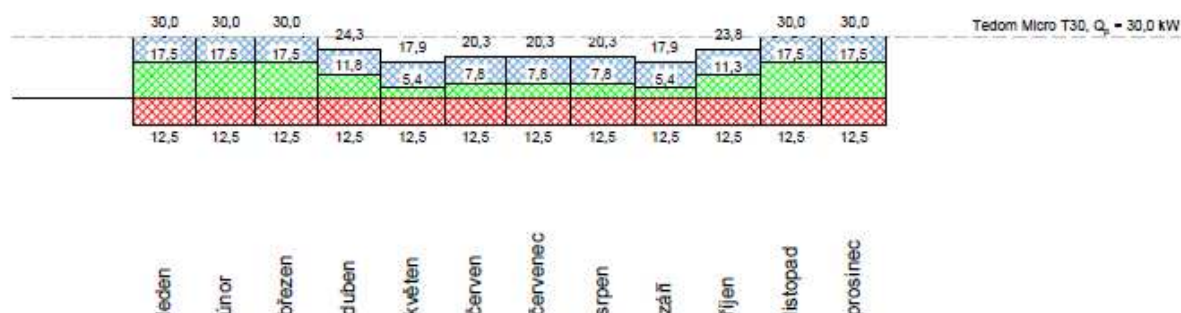
Pro vytápění hotelu je jako hlavní zdroj tepla zvolena kogenerační jednotka Tedom Micro T30 o tepelném výkonu 69 kW a elektrickém výkonu 30 kW. Pro zásobování teplem je tento zdroj tepla využitelný 80% otopného období. Jako bivalentní zdroj tepla byl zvolen

plynový kondenzační kotel Viessmann Vitodens 222-W o tepelném výkonu 35 kW, který se spouští pouze ve velmi chladných dnech otopného období (zhruba 20% ot. období).

Jako absorpční chladič jsem zvolil jednotku Yazaki WFC SC 5 o chladícím výkonu 17,6 kW.



Graf 12 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 4



Graf 13 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 4

Výhodou této varianty je využití potenciálu kogenerační jednotky, kdy je po celý rok zaručen odběr tepla a jednotka vyrábí dostatečné množství el. energie, které pokrývá vlastní spotřebu objektu a do sítě je navíc možné prodávat poměrně značné množství el. energie. Objekt je v létě chlazen, i když výkon absorpčního chladiče není schopen pokrýt maximální tepelnou zátěž objektu.

Nevýhodou této varianty oproti variantě 3 (bez absorpčního chladiče) je především vyšší investice do celého systému.

B.1.5 Kaskáda plynových kotlů

Navrhuji 3x plynový kondenzační kotel BAXI Luna Duo-Tec MP+ 1.35 - Q = 3x 34,8 kW

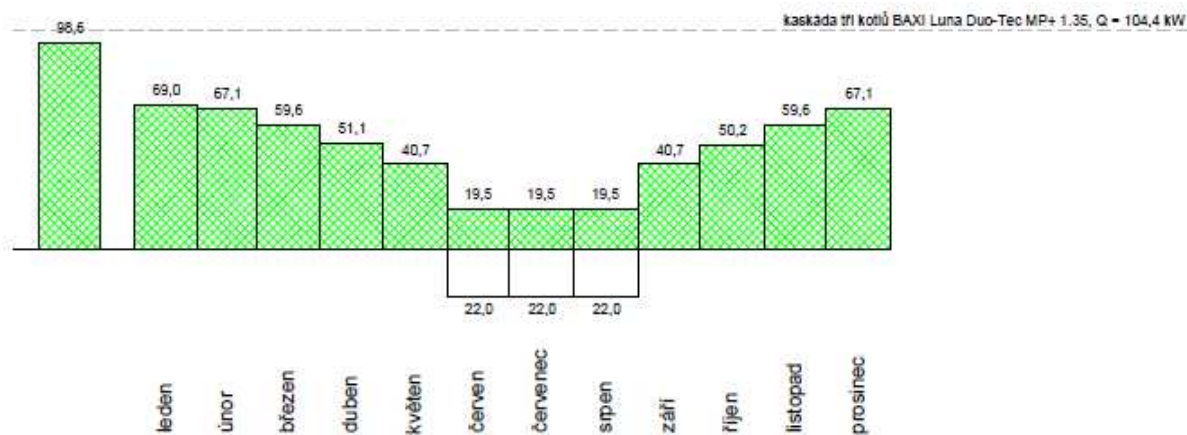
maximální topný výkon:

Q = 104,4 kW

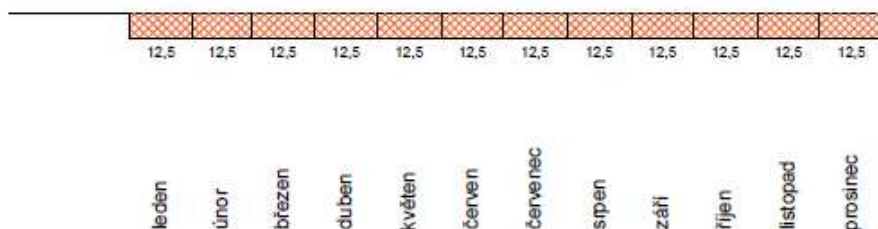
cena kotle:

3x 68 000 Kč (bez DPH)

Pro vytápění objektu je jako zdroj tepla navržena kaskáda tří plynových kondenzačních kotlů o celkovém výkonu 104,4 kW. V letním období není objekt chlazen.



Graf 14 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 5



Graf 15 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 5

Za hlavní výhodu zde platí, že vstupní investice do zdroje tepla je zdaleka nejnižší ze všech variant. Lze však předpokládat, že náklady na provoz objektu budou vyšší, než v ostatních variantách.

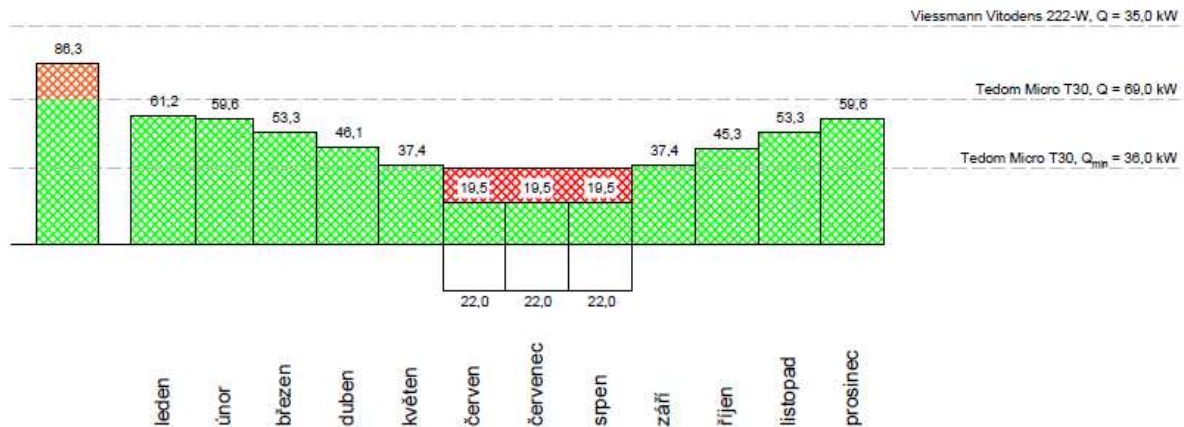
B.1.6 Možnost elektrického vytápění pokojů pro hosty

U varianty 3 a 4, kde se nám vyskytují velké přebytky elektrické energie v zimním období. Před konečným vyhodnocením všech variant proto stojí za úvahu využít tyto přebytky a nahradit část teplovodního vytápění vytápěním elektrickým - přímotopným.

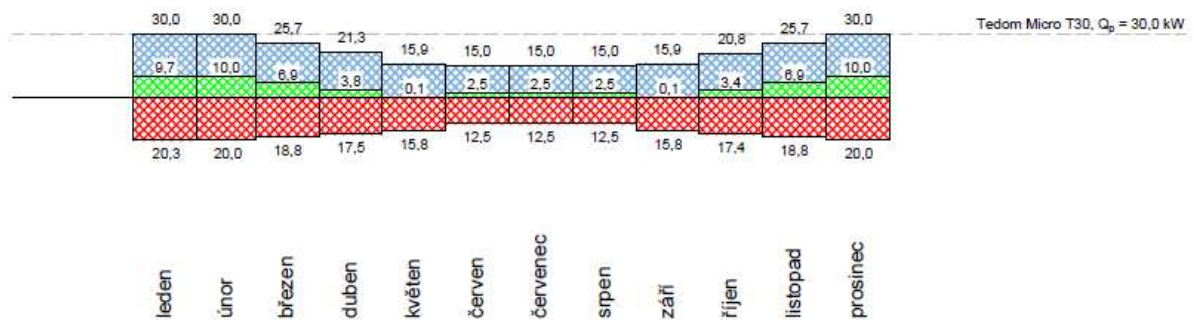
Z hlediska lepší regulace a celkové účinnosti systému je přímotopné elektrické vytápění výborné řešení. Přímá transformace elektrické energie na tepelnou je však z důvodu vysoké ceny za kW elektřiny v mnoha případech nevýhodná. V našem případě je to však, vzhledem k přebytkům elektřiny z KGJ výhodné. Důležité však je si připomenout, že zde uváděné bilance elektřiny nezohledňují příkony různých spotřebičů a zařízení v objektu.

Následující varianty 3b a 4b uvažují s elektrickým vytápěním pokojů pro hosty namísto vytápění teplovodního.

Varianta 3b - kogenerační jednotka + plynový kotel

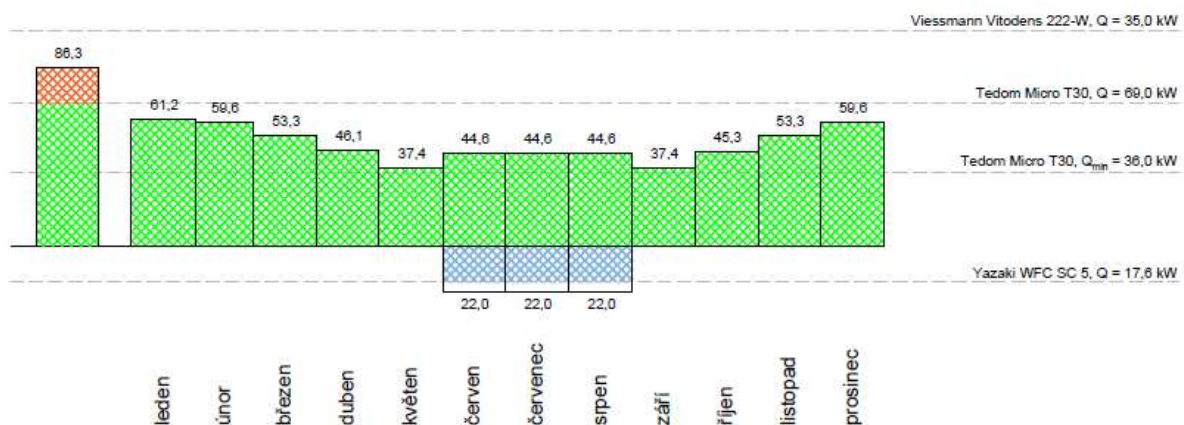


Graf 16 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 3b

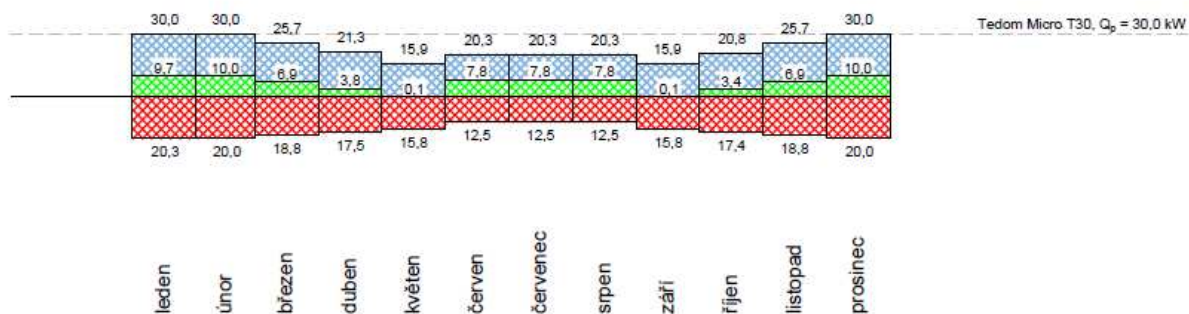


Graf 17 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 3b

Varianta 4b - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič



Graf 18 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 4b



Graf 19 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 4b

Z výše uvedených grafů je vidět, že při nahrazení teplovodního vytápění v pokojích pro hosty elektrickým se bilance elektřiny vyrovnává. Potenciál kogenerační jednotky je tedy využit naplno. Finančně nezajímavé výkupní ceny za elektřinu nahrazuje úspora za plyn při teplovodním vytápění.

B.2 Vyhodnocení variant

V této kapitole jsou jednotlivé varianty podrobeny energetickému, ekonomickému a ekologickému vyhodnocení. Vyhodnocení je nutno považovat spíše za orientační.

B.2.1 Energetické vyhodnocení

Ve všech variantách se vyskytují pouze dva energonositele - zemní plyn a elektřina. V tabulkách níže jsou uvedeny energetické potřeby objektu. První tabulka vyjadřuje množství tepla, které bude vyráběno spalováním zemního plynu. Druhá tabulka představuje množství elektrické energie, kterou je třeba odebrat z veřejné elektrické sítě pro provoz objektu.

Potřeba tepla krytá plynem

	var. 1	var. 2	var. 3	var. 4	var. 5	var. 3b	var. 4b
	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]	[MWh]
Leden	0,0	23,1	46,2	46,2	46,2	41,0	41,0
Únor	0,0	20,8	40,6	40,6	40,6	36,0	36,0
Březen	0,0	23,1	39,9	39,9	39,9	35,7	35,7
Duben	0,0	22,3	33,1	33,1	33,1	31,0	31,0
Květen	0,0	23,1	29,0	27,2	27,2	27,5	27,5
Červen	0,0	14,0	25,9	28,9	14,0	25,9	28,9
Červenec	0,0	14,5	26,8	29,8	14,5	26,8	29,8
Srpen	0,0	14,5	26,8	29,8	14,5	26,8	29,8
Září	0,0	22,3	26,4	26,4	26,4	26,6	26,6
Říjen	0,0	23,1	33,6	33,6	33,6	31,6	31,6

Listopad	0,0	22,3	38,6	38,6	38,6	34,6	34,6
Prosinec	0,0	23,1	44,9	44,9	44,9	39,9	39,9
Σ	0,0	246,2	411,8	419,1	373,6	383,4	392,5

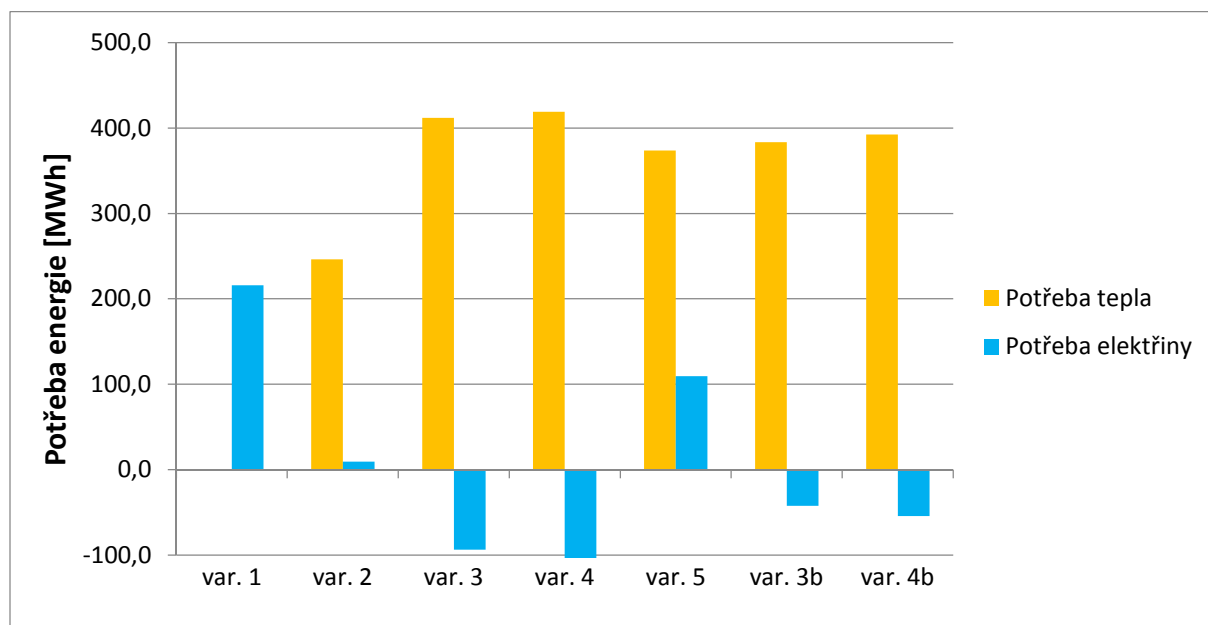
Tab. 4 - Potřeba tepla

Potřeba elektřiny

	var. 1 [MWh]	var. 2 [MWh]	var. 3 [MWh]	var. 4 [MWh]	var. 5 [MWh]	var. 3b [MWh]	var. 4b [MWh]
Leden	23,2	1,6	-13,0	-13,0	9,3	-7,2	-7,2
Únor	20,6	1,1	-11,8	-11,8	8,4	-6,7	-6,7
Březen	20,9	0,0	-13,0	-13,0	9,3	-5,1	-5,1
Duben	18,3	0,0	-8,5	-8,5	9,0	-2,7	-2,7
Květen	16,7	0,0	-4,0	-4,0	9,3	-0,1	-0,1
Červen	12,5	1,8	-1,8	-5,6	9,0	-1,8	-5,6
Červenec	12,9	1,9	-1,9	-5,8	9,3	-1,9	-5,8
Srpen	12,9	1,9	-1,9	-5,8	9,3	-1,9	-5,8
Září	16,1	0,0	-3,9	-3,9	9,0	-0,1	-0,1
Říjen	18,7	0,0	-8,4	-8,4	9,3	-2,5	-2,5
Listopad	20,2	0,0	-12,6	-12,6	9,0	-5,0	-5,0
Prosinec	22,8	1,2	-13,0	-13,0	9,3	-7,4	-7,4
Σ	215,9	9,4	-93,7	-105,5	109,5	-42,4	-54,1

Tab. 5 - Potřeba elektřiny

Pozn.: hodnoty se záporným znaménkem znamenají přebytky energie



Graf 20 - Potřeba energie - shrnutí

Z grafu č.20 je patrné, jak jsou jednotlivé varianty náročné na dodávky energie.

U varianty 1 (TČ + elektrokotel) vidíme, že objekt nemusí být plynofikován, spotřebovává se zde pouze elektrická energie. Té je ale, oproti jiným variantám potřeba výrazně více. To je dáno příkonem tepelného čerpadla, které kryje tepelné ztráty objektu.

Varianta 2 (KGJ + TČ + elektrokotel) se vyznačuje velice příznivou bilancí elektrické energie a tepla, které je kryto zemním plynem. Elektřina vyráběná kogenerační jednotkou je spotřebována tepelným čerpadlem a teplo vyráběné tepelným čerpadlem je poté "zadarmo". To má za následek, že oproti následujícím variantám je potřeba tepla, která připadá na zemní plyn, výrazně nižší. KGJ Bosch uvažovaná v této variantě má téměř poloviční elektrický výkon oproti jednotce TEDOM ve variantě 3 a 4, přesto zvládne pokrýt příkon tepelného čerpadla a dalších spotřebičů důležitých pro provoz objektu (LED osvětlení, ventilátory pro VZT, čerpadla, kompresory). Bilance elektřiny je proto také příznivá.

Varianta 3 (KGJ + plynový kotel) uvažuje provoz větší jednotky TEDOM. Dodávka tepla je kompletně zajištěna spalováním zemního plynu. KGJ kompletně pokrývá potřebu elektřiny pro provoz objektu a vznikají nám přebytky elektřiny, které jsou velmi výrazné.

Varianta 4 (KGJ + plynový kotel + absorpční chladič), při téměř stejné potřebě energií jako u varianty 3, nabízí možnost chlazení absorpčním chladičem. Tato varianta navíc řeší problém varianty 3, kde v letním období jednotka není schopna snížit výkon na požadovaných 19,5 kW pro ohřev vody a přebytečné teplo je tak mařeno bez užítku.

Varianta 5 (kaskáda plynových kotlů) představuje konvenční řešení zdroje tepla, kde spotřeba plynu i elektřiny bude vysoká.

Varianty 3b a 4b (využití elektrického vytápění pokojů) vykazují, oproti variantám 3 a 4, nižší potřebu tepla krytou zemním plynem a nižší přebytky el. energie.

B.2.2 Ekonomické vyhodnocení

Pro všechny varianty bylo zpracováno zjednodušené ekonomické vyhodnocení. Do cenového porovnání jsou zahrnuty pořizovací náklady zdroje tepla a náklady na provoz objektu (náklady za plyn a elektřinu) určené z ročních bilancí tepelných a elektrických toků, které jsou uvedeny v kapitole "B.1 Varianty řešení zdroje tepla".

B.2.2.1 Náklady za plyn

Obchodní část ceny:	Cena za dodávku plynu:	822,8	Kč/MWh
	Cena za kapacitu:	0,0	Kč/m ³
Distribuční část ceny:	Cena za distribuci plynu:	251,0	Kč/MWh
	Cena za kapacitu:	172,9	Kč/m ³
Celková cena:	Celková cena za plyn:	1073,8	Kč/MWh
	Celková cena za kapacitu:	172,9	Kč/m³

var. 1 - tepelné čerpadlo + elektrický kotel

potřeba tepla: 0 MWh/rok
celková cena za plyn: $0 * 1073,8 = 0$ Kč
spotřeba plynu: $0 \text{ m}^3/\text{rok}$
celková cena za plyn: $(0 / 115) * 172,9 = 0$ Kč
roční platba za plyn: 0 Kč/rok

var. 2 - kogenerační jednotka + tep. čerpadlo + elektrokotel

potřeba tepla: 300 MWh/rok
celková cena za plyn: $300 * 1073,8 = 322\ 140$ Kč
spotřeba plynu: $5 \text{ m}^3/\text{h} * 24 * 365 = 43\ 800 \text{ m}^3/\text{rok}$
celková cena za plyn: $(43800 / 115) * 172,9 = 65\ 852$ Kč
roční platba za plyn: $322\ 140 + 65\ 852 = \underline{387\ 992 \text{ Kč/rok}}$

var. 3 - kogenerační jednotka + plynový kotel

potřeba tepla: 412 MWh/rok
celková cena za plyn: $412 * 1073,8 = 442\ 406$ Kč
spotřeba plynu: $7,5 \text{ m}^3/\text{h} * 24 * 365 = 65\ 700 \text{ m}^3/\text{rok}$
celková cena za plyn: $(65700 / 115) * 172,9 = 98\ 779$ Kč
roční platba za plyn: $442\ 406 + 98\ 779 = \underline{541\ 185 \text{ Kč/rok}}$

var. 4 - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič

potřeba tepla: 419 MWh/rok
celková cena za plyn: $419 * 1073,8 = 449\ 922$ Kč
spotřeba plynu: $7,6 \text{ m}^3/\text{h} * 24 * 365 = 66\ 576 \text{ m}^3/\text{rok}$
celková cena za plyn: $(66576 / 115) * 172,9 = 100\ 096$ Kč
roční platba za plyn: $449\ 922 + 100\ 096 = \underline{550\ 018 \text{ Kč/rok}}$

var. 5 - kaskáda plynových kotlů

potřeba tepla: 374 MWh/rok
celková cena za plyn: $374 * 1073,8 = 401\ 601$ Kč
spotřeba plynu: $5,0 \text{ m}^3/\text{h} * 24 * 365 = 43\ 800 \text{ m}^3/\text{rok}$
celková cena za plyn: $(43800 / 115) * 172,9 = 65\ 852$ Kč
roční platba za plyn: $401\ 601 + 65\ 852 = \underline{467\ 453 \text{ Kč/rok}}$

var. 3b - kogenerační jednotka + plynový kotel (el. vytápění pokojů)

potřeba tepla: 383 MWh/rok
celková cena za plyn: $383 * 1073,8 = 411\ 265$ Kč
spotřeba plynu: $7,2\ m^3/h * 24 * 365 = 63\ 072\ m^3/rok$
celková cena za plyn: $(63072 / 115) * 172,9 = 94\ 827$ Kč

roční platba za plyn: $411\ 265 + 94\ 827 = \underline{\underline{506\ 092\ Kč/rok}}$

var. 4b - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič (el. vytápění pokojů)

potřeba tepla: 393 MWh/rok
celková cena za plyn: $393 * 1073,8 = 422\ 003$ Kč
spotřeba plynu: $7,3\ m^3/h * 24 * 365 = 63\ 948\ m^3/rok$
celková cena za plyn: $(63948 / 115) * 172,9 = 96\ 144$ Kč

roční platba za plyn: $422\ 003 + 96\ 144 = \underline{\underline{518\ 177\ Kč/rok}}$

B.2.2.2 Náklady za elektřinu

Celková cena za elektřinu (tarif D 02d): 4 311 Kč/MWh
Celková cena za elektřinu (tarif D 57d): $\approx 2\ 500$ Kč/MWh
Nabízená výkupní cena elektřiny: 250 Kč/MWh

var. 1 - tepelné čerpadlo + elektrický kotel

použitý tarif: D 57d
potřeba el. energie: 216 MWh/rok
celková cena za elektřinu: $216 * 2\ 500 = 540\ 000$ Kč
navržená velikost jističe: 3 x 125 A
platba za jistič: 6 827 Kč/měsíc

roční platba za elektřinu: $540\ 000 + 12 * 6\ 827 = \underline{\underline{621\ 924\ Kč/rok}}$

var. 2 - kogenerační jednotka + tep. čerpadlo + elektrokotel

použitý tarif: D 57d
potřeba el. energie: 9 MWh/rok
celková cena za elektřinu: $9 * 2\ 500 = 22\ 500$ Kč
navržená velikost jističe: 3 x 100 A
platba za jistič: 3 350 Kč/měsíc

roční platba za elektřinu: $22\ 500 + 12 * 3\ 350 = \underline{\underline{62\ 700\ Kč/rok}}$

var. 3 - kogenerační jednotka + plynový kotel

použitý tarif:	D 02d
potřeba el. energie:	0 MWh/rok
celková cena za elektřinu:	$0 * 4\,311 = 0$ Kč
přebytky el. energie:	94 MWh
platba za prodanou energii:	$94 * 250 = 23\,500$ Kč
navržená velikost jističe:	3 x 63 A
platba za jistič:	336 Kč/měsíc

roční platba za elektřinu: $0 + 12 * 336 - 23\,500 = \underline{\underline{- 19\,468 \text{ Kč/rok}}}$

var. 4 - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič

použitý tarif:	D 02d
potřeba el. energie:	0 MWh/rok
celková cena za elektřinu:	$0 * 4\,311 = 0$ Kč
přebytky el. energie:	106 MWh
platba za prodanou energii:	$106 * 250 = 26\,500$ Kč
navržená velikost jističe:	3 x 63 A
platba za jistič:	336 Kč/měsíc

roční platba za elektřinu: $0 + 12 * 336 - 26\,500 = \underline{\underline{- 22\,468 \text{ Kč/rok}}}$

var. 5 - kaskáda plynových kotlů

použitý tarif:	D 02d
potřeba el. energie:	110 MWh/rok
celková cena za elektřinu:	$110 * 4\,311 = 474\,210$ Kč
navržená velikost jističe:	3 x 63 A
platba za jistič:	336 Kč/měsíc

roční platba za elektřinu: $474\,210 + 12 * 336 = \underline{\underline{478\,242 \text{ Kč/rok}}}$

var. 3b - kogenerační jednotka + plynový kotel (el. vytápění pokojů)

použitý tarif:	D 02d
potřeba el. energie:	0 MWh/rok
celková cena za elektřinu:	$0 * 4\,311 = 0$ Kč
přebytky el. energie:	42 MWh
platba za prodanou energii:	$42 * 250 = 10\,500$ Kč
navržená velikost jističe:	3 x 80 A
platba za jistič:	409 Kč/měsíc

roční platba za elektřinu: $0 + 12 * 409 - 10\,500 = \underline{\underline{- 5\,592 \text{ Kč/rok}}}$

var. 4b - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič (el. vytápění pokojů)

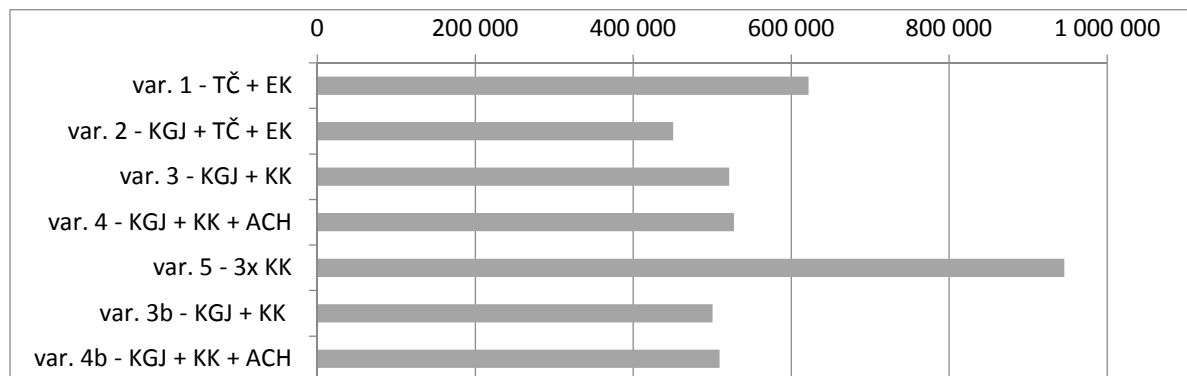
použitý tarif: D 02d
 potřeba el. energie: 0 MWh/rok
 celková cena za elektřinu: $0 * 4\,311 = 0$ Kč
 přebytky el. energie: 54 MWh
 platba za prodanou energii: $54 * 250 = 13\,500$ Kč
 navržená velikost jističe: 3 x 80 A
 platba za jistič: 409 Kč/měsíc

roční platba za elektřinu: $0 + 12 * 409 - 13\,500 = \underline{\underline{- 8\,592 \text{ Kč/rok}}}$

B.2.2.3 Shrnutí provozních nákladů

	Cena plynu	Cena elektřiny	Celková roční cena
var. 1 - tepelné čerpadlo + elektrický kotel	0	621 924	621 924
var. 2 - kogenerační jednotka + tep. čerpadlo + elektrokotel	387 992	62 700	450 692
var. 3 - kogenerační jednotka + plynový kotel	541 185	-19 468	521 717
var. 4 - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič	550 018	-22 468	527 550
var. 5 - kaskáda plynových kotlů	467 453	478 242	945 695
var. 3b - kogenerační jednotka + plynový kotel (el. vytápění pokojů)	506 092	-5 592	500 500
var. 4b - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič (el. vytápění pokojů)	518 177	-8 592	509 585

Tab. 6 - Ekonomické porovnání variant



Graf 21 - Ekonomické porovnání variant

B.2.2.4 Pořizovací náklady

Tabulka níže uvádí orientační náklady na pořízení zdroje tepla bez DPH.

var. 1 - tepelné čerpadlo + elektrický kotel	≈ 2 500 000 Kč
var. 2 - kogenerační jednotka + tep. čerpadlo + elektrokotel	≈ 2 500 000 Kč
var. 3 - kogenerační jednotka + plynový kotel	≈ 1 060 000 Kč
var. 4 - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič	≈ 1 660 000 Kč
var. 5 - kaskáda plynových kotlů	≈ 200 000 Kč

B.2.2.5 Vyhodnocení

U varianty 1 (TČ + elektrokotel) vidíme, že oproti konvenčnímu řešení s plynovými kotli je zde velká úspora celkových provozních nákladů. Ve srovnání s dalšími variantami, které obsahují kogenerační jednotku, jsou však provozní náklady vyšší. To je dáno velkou potřebou "drahé" elektřiny (ikdyž v levném tarifu) a vysokou paušální cenou za instalovaný jistič. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena systému - především hlubinných vrtů pro TČ.

Varianta 2 (KGJ + TČ + elektrokotel) díky příznivé bilanci energetických toků vychází ze všech variant nejlépe. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena systému.

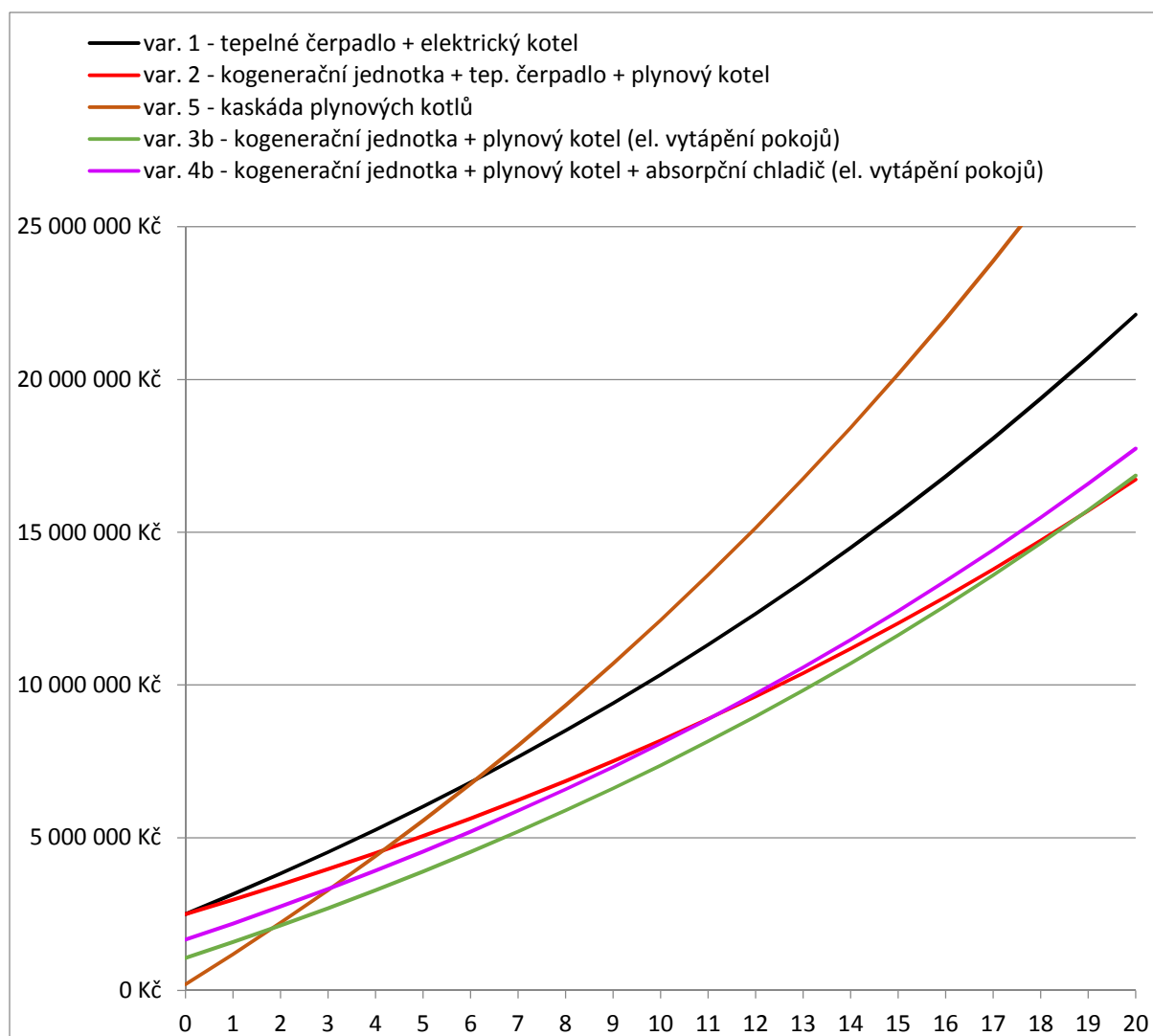
U varianty 3 (KGJ + plynový kotel) vychází mnohem větší cena za odebraný plyn, než ve variantě 2. Díky přebytkům elektrické energie však celkové provozní náklady vycházejí příznivě.

Varianta 4 (KGJ + plynový kotel + absorpční chladič) se oproti variantě 3 liší zejména ve vyšší pořizovací ceně za absorpční chladič. Provozní náklady jsou obdobné.

Varianta 5 (kaskáda plynových kotlů) se vyznačuje především nízkou pořizovací cenou zdroje tepla. Provozní náklady jsou však příliš vysoké a již po několika letech se provoz, v porovnání s ostatními variantami, přestane vyplácet.

Varianty 3b a 4b (využití elektrického vytápění pokojů) vykazují, oproti variantám 3 a 4, nižší provozní náklady. Na tomto příkladě je patrné, že přebytky elektrické energie se vyplatí spotřebovat na místě, než prodávat zpět do sítě.

Na grafu níže je patrný cash-flow v rozmezí 20 let oproštěný od servisních a dalších nákladů. Kvůli přehlednosti grafu byly vypuštěny var. 3 a 4, které se od variant 3b a 4b příliš neliší.



Graf 22 - Diskontované cash-flow

B.2.2.6 Úvaha - ekonomické porovnání s využitím chlazení

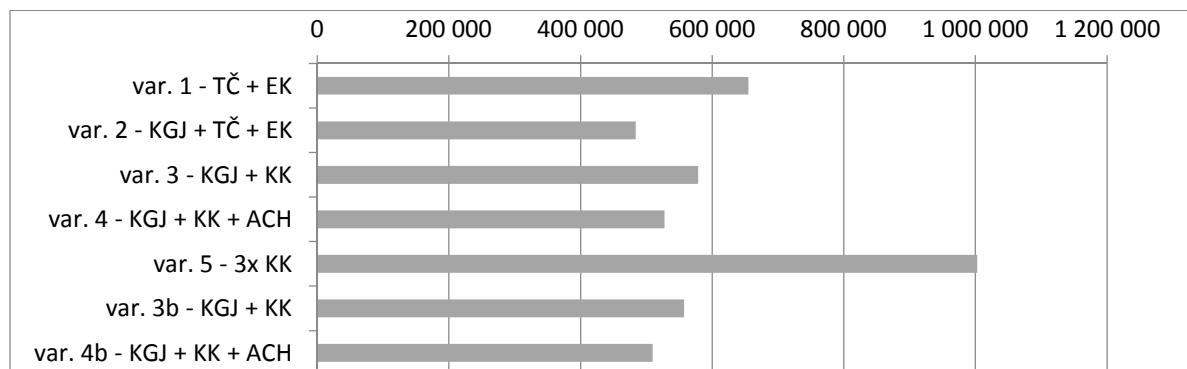
Vzhledem k tomu, že v předchozích úvahách je objekt chlazen pouze ve variantě 4 (využití absorpčního chladiče), nabízí se otázka, jak ovlivní výsledky, když u ostatních variant přidáme kompresorové chlazení.

Ceny chlazení (kompresorové chlazení)

potřeba el. energie:	13,2 MWh/rok
celková cena za elektřinu (tarif D 02d):	$13,2 * 4\,311 = 56\,905$ Kč
celková cena za elektřinu (tarif D 57d):	$13,2 * 2\,500 = 33\,000$ Kč

	Bez chlazení	Cena chlazení	S chlazením
var. 1 - tepelné čerpadlo + elektrický kotel	621 924	33 000	654 924
var. 2 - kogenerační jednotka + tep. čerpadlo + elektrokotel	450 692	33 000	483 692
var. 3 - kogenerační jednotka + plynový kotel	521 717	56 905	578 622
var. 4 - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič	527 550	0	527 550
var. 5 - kaskáda plynových kotlů	945 695	56 905	1 002 600
var. 3b - kogenerační jednotka + plynový kotel (el. vytápění pokojů)	500 500	56 905	557 405
var. 4b - kogenerační jednotka + plynový kotel + absorpční chladič (el. vytápění pokojů)	509 585	0	509 585

Tab. 7 - Ekonomické porovnání variant - s chlazením



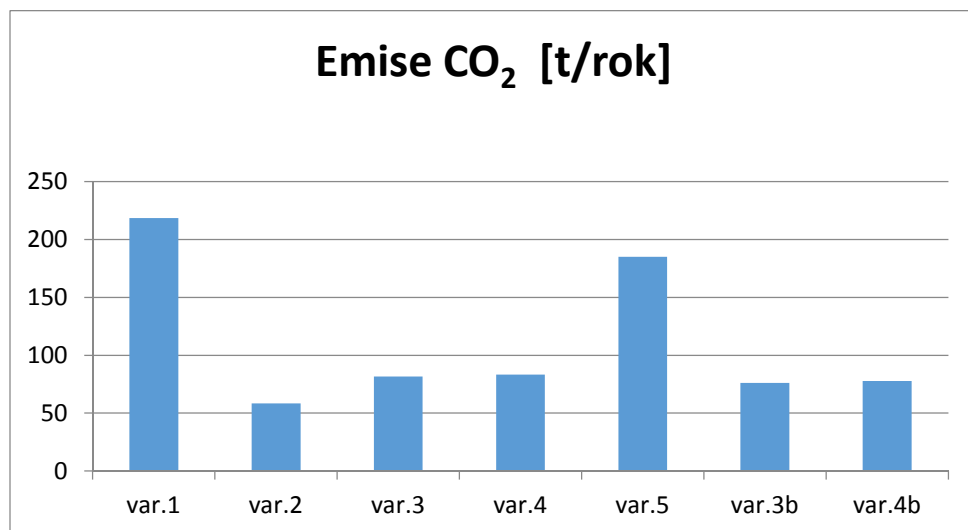
Graf 23 - Ekonomické porovnání variant - s chlazením

Z výše uvedeného je patrné, že pokud u variant 1, 2, 3 a 5 instalujeme kompresorové chlazení, zvýhodňuje se varianta 4, kde je chlad vyráběn absorpčním chladičem z přebytečného tepla produkovaného kogenerační jednotkou.

B.2.3 Ekologické vyhodnocení

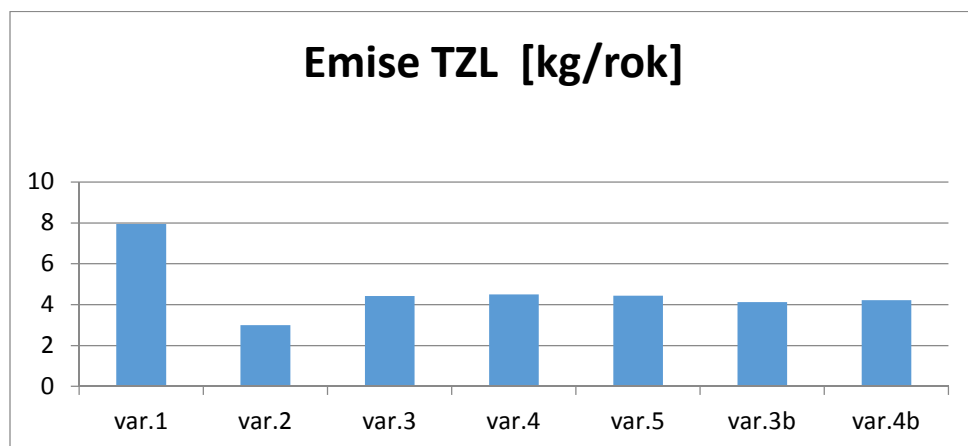
V rámci ekologického vyhodnocení byly jednotlivé varianty podrobeny porovnání v produkci emisí oxidu uhličitého, tuhých znečišťujících látek, oxidů dusíku a oxidu siřičitého.

Výsledky jsou patrné na grafech níže.



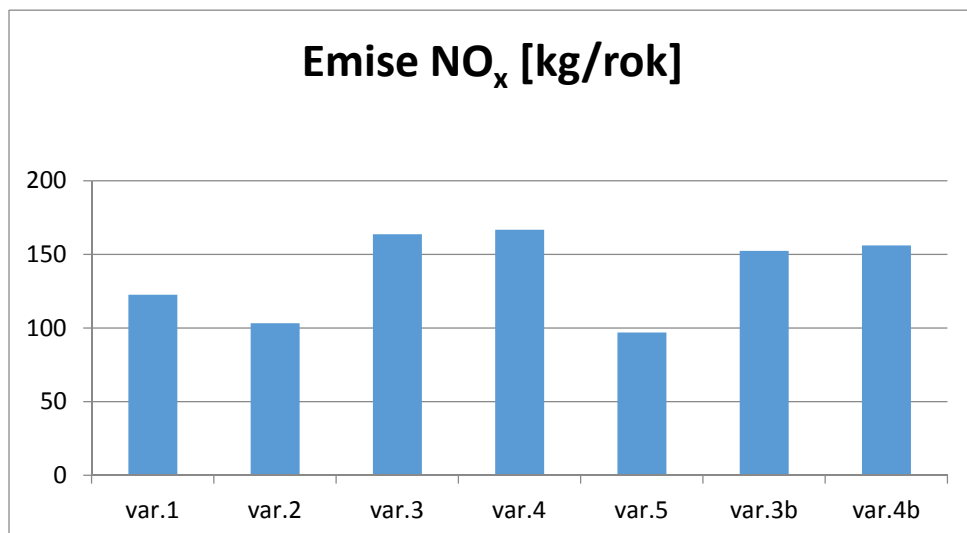
Graf 24 - Emise CO₂

Nejméně CO₂ produkují systémy s kogenerační jednotkou. Jelikož se v České republice největší množství elektřiny vyrábí v uhelných elektrárnách, je tato energie zatížena velkým emisním faktorem (vysoké emise CO₂ při spalování uhlí). Při použití KGJ si však elektřinu vyrábíme sami, při vysoké účinnosti za současné výroby tepla. V tomto ohledu je pak kogenerace velmi ekologická, jak již bylo zmíněno v úvodu práce.



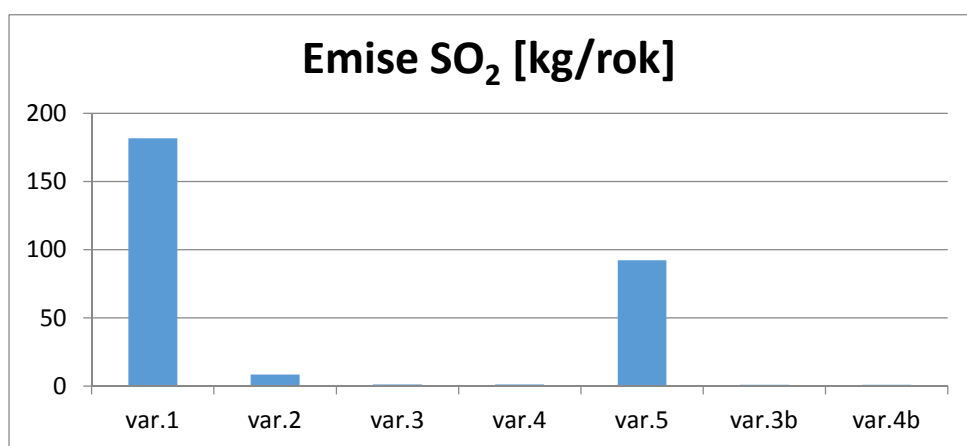
Graf 25 - Emise TZL

S emisemi TZL je to podobné jako s oxidem uhličitým. Největší vychází tepelné čerpadlo ve variantě 1, které má sice nulové lokální emise, elektřina vyráběná především v uhelných elektrárnách však znamená velké emise TZL v místě elektrárny. I zde je vidět výhoda kombinace kogenerační jednotky a tepelného čerpadla v mixu dvou různých energonositelů.



Graf 26 - Emise NO_x

Emise NO_x jsou spojeny se spalováním i ušlechtlejších paliv jako je například zemní plyn. Proto zde kogenerace nijak nevyčnívá. Var. 2 však opět tvoří zajímavou alternativu.



Graf 27 - Emise SO₂

Emise SO₂ jsou opět spojeny především s elektřinou, která je zatížena vysokým emisním faktorem. Při výrobě vlastní elektřiny výrazně omezíme produkci oxidu siřičitého do atmosféry. Při spalování plynu tolik SO₂ nevzniká.

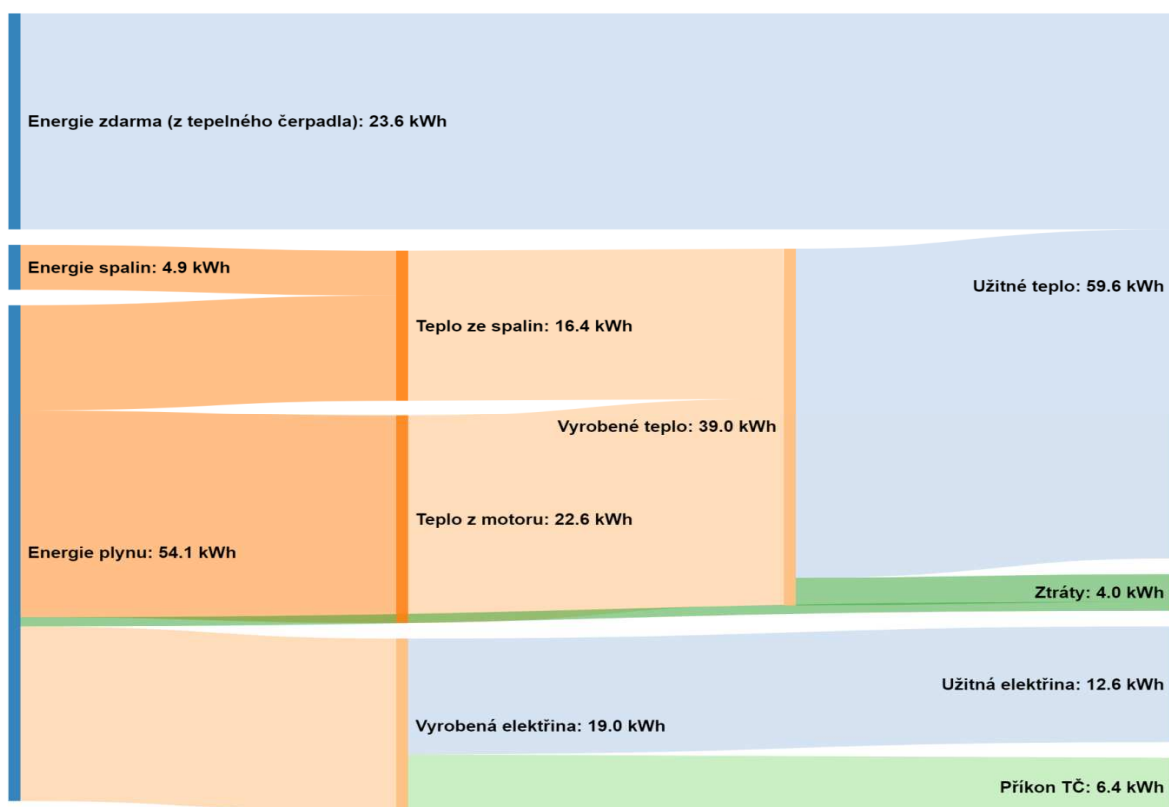
Je důležité zmínit, že spalovací motor kogenerační jednotky má emisní faktor řádově vyšší než kotel s vnějším spalováním. Emise vzešlé z motoru KGJ jsou tak mnohem vyšší. Když se však na princip kogenerace podíváme z vyššího nadhledu a do výpočtů zahrneme i současnou výrobu elektřiny, zjistíme, že kogenerační jednotka vychází jako jasný vítěz. V kombinaci s tepelným čerpadlem - tedy při kombinaci dvou různých energonositelů, se navíc jeví jako vhodné řešení při řešení problémů se znečištěním atmosféry Země.

B.3 Závěr

Z výsledků je patrné, že kombinovaná výroba elektřiny a tepla přináší mimo jiné výrazné provozní úspory. V porovnání s konvenčním zdrojem tepla (v našem případě plynovým kotlem) se vyšší investice do kogenerační jednotky vrátí za několik let. Oproti tepelnému čerpadlu, které je širokou veřejností považováno za ekologický zdroj tepla (avšak v České republice tomu tak díky uhelným elektrárnám není), má kogenerace nižší emise škodlivých plynů a dokonce též nižší provozní náklady.

Za nejlepší variantu považuji variantu 2, kde je kogenerační jednotka doplněna tepelným čerpadlem a po větší část roku pracují oba zdroje současně. Kombinace kogenerační jednotky a tepelného čerpadla tvoří komplexní systém, který disponuje vysokou účinností a snižuje provozní energetické náklady na minimum.

Sankeyův diagram níže zobrazuje výhodu kombinace těchto dvou zdrojů. Diagram je sestaven pro provoz systému po dobu jedné hodiny při venkovní průměrné teplotě pro danou oblast - tedy +3,4 °C. Je na něm vidět, že při plném výkonu kogenerační jednotky je plně pokryta potřeba tepla objektu, a to z části samotnou KGJ a z části teplem z TČ, které však pracuje zadarmo, neboť využívá elektřiny vyrobené kogenerací - to se ve výsledku projeví výrazným snížením množství spotřebovaného plynu. Navíc, pro další potřeby objektu (např. osvětlení, větrání a další...) je každou hodinu vyrobeno 12,6 kWh elektrické energie. Takto efektivně navržený systém je nejen velmi ekonomický, ale také šetrný k životnímu prostředí. Ve výsledku bude uživatel objektu nakupovat z veřejné sítě o mnoho méně elektrické energie, která je drahá a je zatížena vysokými emisními faktory a faktorem primární energie.



Graf 28 - Sankeyův diagram odpovídající variantě 2 - kombinace KGJ a TČ

Projekt vytápění a zdroje tepla ve stupni dokumentace pro provedení stavby, obsažený v příloze 1, se zabývá návrhem zdroje z varianty 2.

Projekt řeší především problémy spojené se zapojením dvou takto rozdílných zdrojů tepla do jednotného systému. Pro názornost obsahuje zjednodušené provozní schéma, které je dále rozvedeno v technologickém schématu zapojení zdrojů s podrobným popisem všech zařízení a armatur.

Použité zdroje

Zákony, vyhlášky, normy, směrnice

1. ČSN 73 0540-2. *Tepelná ochrana budov - Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
2. ČSN 73 0540-3. *Tepelná ochrana budov - Část 3: Návrhové hodnoty veličin*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
3. ČSN EN 12831. *Tepelné soustavy v budovách - Výpočet tepelného výkonu*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2005.
4. TNI 73 0331. *Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
5. Vyhláška č. 193/2007 Sb. *kteou se stanoví podrobnosti účinnosti užití energie při rozvodu tepelné energie a vnitřním rozvodu tepelné energie a chladu*, 2007.
6. Vyhláška č. 20/2012 Sb. *kteou se mění vyhláška č.268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby*, 2012.
7. Vyhláška č. 238/2011 Sb. *o stanovení hygienických požadavků na koupaliště, sauny a hygienické limity písku v pískovištích venkovních hracích ploch*, 2011.
8. Nařízení vlády č. 523/2002 Sb., *kteým se mění nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kteým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci*, 2002.

Publikace

9. KRBEK, Jaroslav a Bohumil POLESNÝ. *Kogenerační jednotky - zřizování a provoz*. Praha: GAS, 2007.
10. DOUBRAVA, Jiří. *Regulace ve vytápění*. 2., upr. vyd. Praha: Společnost pro techniku prostředí, 2007

Elektronické zdroje

11. EkoWATT :: Informace :: Úspory energie :: Kombinovaná výroba elektřiny a tepla. EkoWATT [online]. Copyright © EkoWATT [cit. 26.12.2017]. Dostupné z: <http://ekowatt.cz/cz/informace/uspory-energie/kombinovana-vyroba-elekriny-a-tepla>

Použité programy

Autodesk AutoCAD 2015
MS Office 2007
Protech CD 586
SketchUp Make 2015

Seznam použitých obrázků, tabulek, grafů

Seznam obrázků

Obr. 1 - Porovnání účinnosti výroby energie [11]	3
Obr. 2 - Severo-západní pohled na objekt.....	4
Obr. 3 - Půdorys objektu - 1.np	5
Obr. 4 - Půdorys objektu - 2.np a 3.np	5
Obr. 5 - H-X diagram - větrání přízemí	7
Obr. 6 - H-X diagram - větrání pokojů pro hosty.....	8

Seznam tabulek

Tab. 1 - Tepelné ztráty prostupem	6
Tab. 2 - Tepelné ztráty větráním	8
Tab. 3 - Celkový potřebný tepelný výkon.....	10
Tab. 4 - Potřeba tepla	21
Tab. 5 - Potřeba elektřiny	21
Tab. 6 - Ekonomické porovnání variant.....	26
Tab. 7 - Ekonomické porovnání variant - s chlazením	29

Seznam grafů

Graf 1- odběrová křivka - ohřev teplé užitkové vody, ředící vody, kompenzace odparu	9
Graf 2 - součtová odběrová křivka - ohřev užitkové vody.....	9
Graf 3 - součtová odběrová křivka - ohřev bazénové vody	10
Graf 4 - Spotřeba tepelné energie v průběhu roku	10
Graf 5 - Četnost výkonů v průběhu roku.....	11
Graf 6 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 1	13
Graf 7 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 1	13
Graf 8 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 2	14
Graf 9 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 2	14
Graf 10 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 3	15
Graf 11 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 3	16
Graf 12 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 4	17
Graf 13 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 4	17
Graf 14 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 5	18
Graf 15 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 5	18
Graf 16 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 3b	19
Graf 17 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 3b	19
Graf 18 - celoroční bilance tepelných toků [kW] - var. 4b	19
Graf 19 - celoroční bilance elektrických toků [kW] - var. 4b	20
Graf 20 - Potřeba energie - shrnutí.....	21
Graf 21 - Ekonomické porovnání variant.....	26

Graf 22 - Diskontované cash-flow	28
Graf 23 - Ekonomické porovnání variant - s chlazením	29
Graf 24 - Emise CO ₂	30
Graf 25 - Emise TZL	30
Graf 26 - Emise NO _x	31
Graf 27 - Emise SO ₂	31
Graf 28 - Sankeyův diagram odpovídající variantě 2 - kombinace KGJ a TČ	32

Seznam příloh a výkresů

Seznam příloh

Příloha 1 - Projekt ústředního vytápění a zdroje tepla (DPS)

Příloha 2 - Projekt vzduchotechniky (studie)

Příloha 3 - Technické listy a výpočty

Seznam výkresů - Projekt ústředního vytápění a zdroje tepla

Výkres č. 1 - ÚT - provozní schéma

Výkres č. 2 - ÚT - technologické schéma

Výkres č. 3 - ÚT - schéma otopné soustavy

Výkres č. 4 - ÚT - půdorys 1.pp

M 1:75

Výkres č. 5 - ÚT - půdorys 1.np

M 1:75

Výkres č. 6 - ÚT - půdorys 2.np

M 1:100

Výkres č. 7 - ÚT - půdorys 3.np

M 1:100

Seznam výkresů - Projekt vzduchotechniky

Výkres č. 1 - VZT - půdorys 1.pp

M 1:75

Výkres č. 2 - VZT - půdorys 1.np

M 1:100

Výkres č. 3 - VZT - půdorys 2.np

M 1:100

Výkres č. 4 - VZT - půdorys 3.np

M 1:100