



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

EXPANZNÍ STANICE ZEMNÍHO PLYNU

NATURAL GAS EXPANSION UNIT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

ONDŘEJ ŽÁČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JIŘÍ POSPÍŠIL, Ph.D.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student(ka): Ondřej Žáček

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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 bakalářské práce:

Expanzní stanice zemního plynu

v anglickém jazyce:

Natural gas expansion unit

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce je zaměřena na seznámení s technologií průmyslové expanze vysokotlakého zemního plynu a souvisejícím užitím expanzních turbín. Praktické seznámení s technologií bude realizováno prohlídkou a popisem parametrů expanzní stanice Velké Němčice. V práci bude uvedeno srovnání řešení s užitím expanzní turbíny a bez expanzní trbíny včet stručného technicko-ekonomického hodnocení.

Cíle bakalářské práce:

1. Zpracujte rešerši na téma expanze (zemního plynu).
2. Popište expanzní stanici Velké Němčice.
3. Proveďte technickou analýzu expanzní stanice s dílčím technicko-ekonomickým hodnocením.

Seznam odborné literatury:

Fík, Josef, Zemní plyn: tabulky, diagramy, rovnice, výpočty, výpočtové pravítko, 2006

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

Abstrakt

Bakalářská práce „Expanzní stanice zemního plynu“ se zabývá problematikou redukce tlaku z přepravní sítě firmy NET4GAS do distribuční sítě JMP Net s.r.o. Práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první, teoretické části, jsou čtenáři seznámeni se způsoby redukce tlaku zemního plynu, vlastnostmi zemního plynu a rozdělením tlakových hladin plynovodů. Druhá část popisuje důležité zařízení expanzní stanice Velké Němčice, jako je expanzní turbína, kogenerační jednotky, regulátory atd. Třetí část obsahuje výpočet pro nejefektivnější chod stanice.

Klíčová slova

zemní plyn, plynovod, regulátor, expanzní turbína, kogenerace, odorizace

Abstract

The bachelor thesis "Natural gas expansion unit" relates to the problematics of gas pressure reduction from transport network of NET4GAS to the distribution network of JMP Net s.r.o. The thesis consists of three parts. In the first part the reader is introduced to the methods of natural gas pressure reduction, to the behavior and properties of natural gas and to the problematics of pressure levels of the gas pipelines. The second part describes the important segments of the expansion station in Velké Němčice such as the expansion turbine, cogeneration, regulators etc. The third part contains calculation of the most effective operation of the station.

Keywords

natural gas, gas pipeline, regulator, expansion turbine, cogeneration, odourisation

Bibliografická citace

ŽÁČEK, O. *Expanzní stanice zemního plynu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 63 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D..

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci vypracoval samostatně na základě uvedené odborné literatury a pod vedením doc. Ing. Jiřího Pospíšila, Ph.D.

.....
Ondřej Žáček

V Brně dne

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své bakalářské práce panu doc. Ing. Jiřímu Pospíšilovi, Ph.D. za cenné rady, připomínky a za to, že se mi vždy věnoval, když byla potřeba konzultace. Dále patří můj velký dík panu Jaroslavu Hruškovi, vedoucímu předávací stanice Velké Němčice, který mě vícekrát ochotně provedl stanicí s odborným výkladem, dal mi mnoho podnětných rad a podkladů pro zpracování výpočtů. Děkuji také panu Ing. Hynku Faktorovi, který mě přivedl na toto téma bakalářské práce a poskytnul mi užitečné materiály. A v neposlední řadě pak děkuji svému otci Ing. Lubomíru Žáčkovi za zprostředkování spolupráce na této bakalářské práci s Jihomoravskou plynárenskou a.s., za užitečné podklady pro zpracování práce a za cenné rady.

Obsah

Úvod	15
1 Obecné informace o zemním plynu	16
1.1 Tlakové hladiny plynovodů	16
2 Expanze zemního plynu	18
2.1 Regulátor	18
2.1.1 Regulátory přímočinné	18
2.1.2 Regulátory nepřímochinné	19
2.2 Expanzní turbína	20
3 Expanzní stanice Velké Němčice	21
3.1 Filtrace	23
3.2 Centrální měření	24
3.3 Regulace	24
3.3.1 Regulační řada Brodské – Brno I	25
3.3.2 Regulační řada Brodské – Brno II	27
3.3.3 Regulační řada Znojmo	28
3.3.4 Ochoz regulačních řad	28
3.3.5 Regulační řada vlastní spotřeby	29
3.4 Expanzní turbína	31
3.4.1 Prachový filtr	31
3.4.2 Bezpečnostní uzávěr SSV	32
3.4.3 Výměník	32
3.4.4 Bezpečnostní uzávěr (GOTV)	32
3.4.5 Řídicí ventil	33
3.4.6 Expanzní turbína	34
3.5 Teplá voda	35
3.6 Kogenerace	36
3.7 Kotelna	36
3.7.1 Plynový teplovodní kotel	37
3.7.2 Odporový elektrický kotel	37
3.7.3 Beztlaké vyrovnávací nádrže	38
3.8 Odorizace	39
4 Výpočet ideálního chodu stanice	40
4.1 Výpočty pro chod stanice v létě	40
4.1.1 Potřebná teplota předehřevu	40

4.1.2	Výkon přehřevu	41
4.1.3	Provozní doba kogeneračních jednotek při plném výkonu	43
4.1.4	Spotřeba kogeneračních jednotek	43
4.1.5	Výkon vyráběné elektrické energie	44
4.1.6	Finanční bilance s přehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami ...	45
4.1.7	Finanční bilance s přehřevem realizovaným kotly	47
4.2	Výpočty pro chod stanice v zimě.....	48
4.2.1	Potřebná teplota přehřevu.....	48
4.2.2	Výkon přehřevu	49
4.2.3	Provozní doba kogeneračních jednotek při plném výkonu	51
4.2.4	Spotřeba kogeneračních jednotek	52
4.2.5	Výkon vyráběné elektrické energie	52
4.2.6	Finanční bilance s přehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami ...	53
4.2.7	Finanční bilance s přehřevem realizovaným kotly	55
4.3	Rozšíření výpočtů pro získání optimálního chodu stanice.....	57
5	Závěr	60
6	Seznam použitých zdrojů	61
7	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	62

Úvod

Plynárenství nemá příliš dlouhou historii. Ve většině zemí prošlo dvěma etapami. První z nich lze nazvat érou svítiplynu. Začala v okamžiku, kdy Francouz Filip Lebon a Skot William Murdoch vyrobili nezávisle na sobě první svítiplyn. Tato výroba je datována do roku 1782. Tato etapa trvala až do druhé poloviny 20. století, kdy přichází na trh zemní plyn, který postupně vytlačil svítiplyn (v České republice byla výroba svítiplynu ukončena v roce 1996). [1]

Do České republiky je drtivá většina zemního plynu přiváděna z Ruska. K dopravě jsou používány tzv. velmi vysokotlaké plynovody. Díky obrovskému tlaku v potrubí je možné přepravit velké množství plynu. Ke snížení tohoto tlaku na hodnotu, která je použitelná v rozvodných sítích JMP Net s.r.o., slouží předávací stanice, jinak nazývaná také expanzní stanice nebo předregulační stanice.

Při snižování tlaku v regulátorech (proces škrcení) se maří tlaková energie, která je v plynu obsažená. Proto některé stanice využívají expanzní turbíny. Ty tuto tlakovou energii plynu přeměňují na mechanickou a dále pak pomocí generátoru na energii elektrickou.

Při škrcení v regulátoru dochází k poklesu teploty plynu, při expanzi v turbíně dochází ještě k výraznějšímu poklesu teploty. Kvůli bezproblémovému chodu regulačních zařízení je nutné, aby teplota plynu za regulací byla vyšší, než je rosý bod plynu. Proto se musí plyn přehřívát. Tento přehřev lze uskutečnit mnoha způsoby. K neekonomičtějším a často používaným způsobům při přehřevu velkého objemu patří využití kogeneračních jednotek.

1 Obecné informace o zemním plynu

Zemní plyn je bez barvy a většinou i bez zápachu (typický zápach dostává zemní plyn až při odorizaci). Zemní plyn není jedovatý, nelze ho však dýchat.

Složení zemního plynu je v každém ložisku trochu odlišné. Obvyklé složení zemního plynu a složení ještě přípustné pro zásobování obyvatel je uvedeno v Tab. 1.

vlastnost	jednotka	obvyklé složení	ON 38 6110
CH ₄	%	96,88	min. 85
C ₂ H ₆	%	1,20	
C ₃ H ₈	%	0,37	max. 9,1
C ₄ H ₁₀	%	0,14	
vyšší uhlovodíky	%	0,07	
H ₂	%	-	max. 0,8
CO ₂ + N ₂	%	1,34	max. 7
spalné teplo	MJ/m ³ /n	40,14	min. 38,1
specifická hmotnost	kg/m ³ /n	0,7412	nenormalizováno
hutnota	1	0,573	nenormalizováno

Tab. 1 Obvyklé a přípustné složení zemního plynu [6]

Zemní plyn disponuje vysokým spalným teplem, dobře hoří a je výbušný. Nebezpečná koncentrace zemního plynu ve směsi se vzduchem je v rozmezí 5 – 15%. Zápalná teplota závisí na složení, obecně se však udává 650°C.

Stavovou rovnici zemního plynu lze zapsat v podobě:

$$\frac{p \cdot v}{T} = Z \cdot konst.$$

Kde p je tlak, v je měrný objem, T je teplota a Z je kompresibilitní faktor, jehož hodnota je závislá na tlaku a teplotě. Obecně lze konstatovat, že stlačením se zemní plyn zhušťuje více než plyn ideální. [1]

1.1 Tlakové hladiny plynovodů

Soustavu plynovodů lze rozlišit na čtyři tlakové hladiny. Třemi z nich zásobuje Jihomoravská plynárenská, a.s. své odběratele zemního plynu. Jsou to vysokotlakové, středotlakové a nízkotlakové plynovody. Poslední tlakovou hladinu představují tzv. velmi vysokotlakové plynovody. [5]

Nízkotlakové plynovody, skupina A1

Používá se pro ně zkratka ntl systémy. Tlak plynu se v nich pohybuje od 0 do 5 kPa. Dříve se používaly k rozvodu plynu po městech. Kvůli větší efektности jsou tyto rozvody nahrazovány středotlakými plynovody.

Středotlakové plynovody, skupina A2

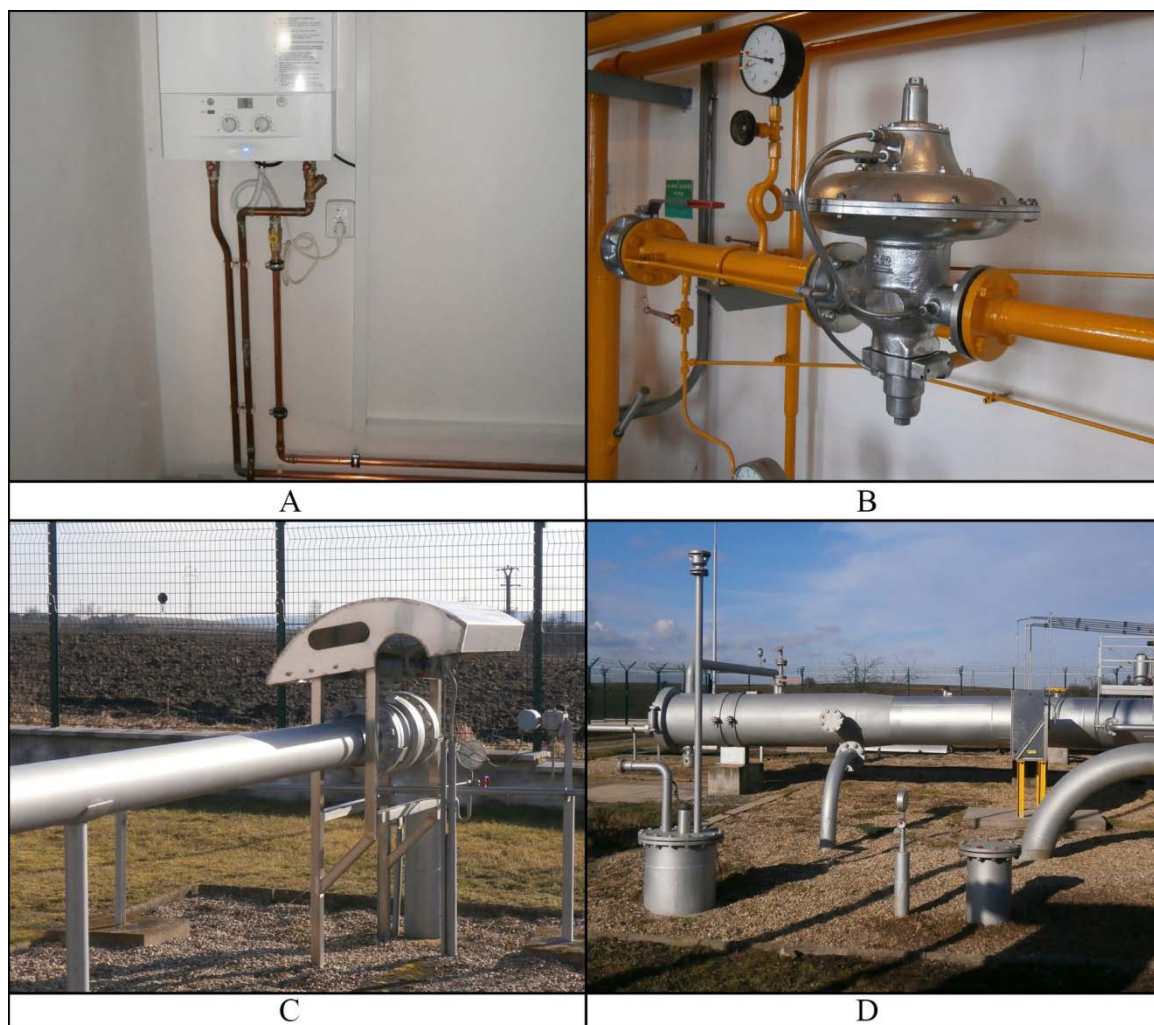
Zkratka pro tyto systémy je stl. Středotlaký systém disponuje tlakem pohybujícím se v rozmezí 5 – 400 kPa a jeho použití je zejména v dopravě plynu po městech.

Vysokotlaké plynovody, skupiny A3 a B1

Používaná zkratka těchto plynovodů je vtl. Vysokotlaké plynovody lze charakterizovat tlakem od 0,4 do 4 MPa. Slouží k přepravě plynu na delší vzdálenosti. Tvoří síť mezi předávacími stanicemi a vysokotlakými regulačními stanicemi.

Velmi vysokotlaké plynovody, skupina B2

Jinak také nazývané vvtl systémy mají tlak od 4 do 100 MPa. Přepravují obrovské množství plynu na velmi dlouhé vzdálenosti.



Obr. 1 Ukázka tlakových hladin plynovodů: A – ntl plynovod;
B – stl plynovod; C – vtl plynovod; D – vvtl plynovod

2 Expanze zemního plynu

Samotná expanze zemního plynu se realizuje dvěma způsoby, které jsou zde následně popsány.

2.1 Regulátor

Regulátory jsou nejrozšířenějším zařízením pro expanzi zemního plynu. Proces probíhající při takové expanzi uvnitř regulátoru je nazýván škrcení. Při tomto procesu teplota plynu klesá. Avšak oproti expanzi zemního plynu v turbíně tento pokles není tak výrazný a tudíž se nemusí plyn přehřívat na tak vysokou teplotu. Hlavní nevýhodou tohoto procesu je však to, že je zmařena veškerá tlaková energie plynu bez užitku.

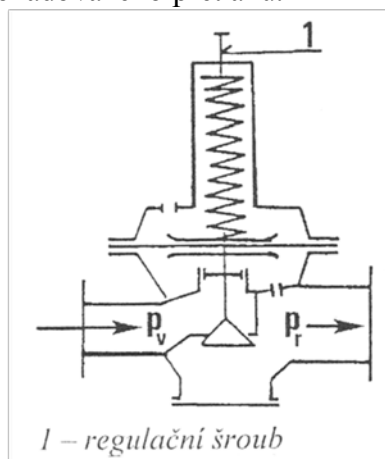
Regulátory mají za sebou již velký historický vývoj. V prvopočátcích se používaly regulátory pouze pro nízké přetlaky plynu a jejich konstrukce byly velmi jednoduché. Měřicí člen regulovaného tlaku a současně i ovládací člen tvořil zvon, který byl ponořený do kapaliny, nejčastěji oleje. Zvon byl spojen s kuželkou (regulační orgán), která škrtila průtok plynu ventilovým sedlem. Impulz regulovaného tlaku byl zaveden pod zvon, který se mohl vynořovat nebo ponořovat v závislosti na hodnotě výstupního tlaku a tím byl ovládán regulační orgán.

S rostoucími nároky na regulátory šel vývoj regulátorů rychle dopředu. Regulátory prodělaly velký vývoj v přijatelnějších rozměrech, lze regulovat daleko vyšší přetlaky, regulace je daleko přesnější a automatizovaná. Dalším důležitým faktorem vývoje je hlučnost regulátorů. Při velkých tlakových spádech nastává také velký hluk od této regulace. Přesněji řečeno zdrojem tohoto hluku jsou kompresní rázy po škrcení v sedlové partii, narážení rozpadajícího se proudu na stěny a přepážky zařízení. Tomuto hluku lze do jisté míry předejít postupným škrcením tlaku, škrcením mnoha průtočnými průřezy nebo rozdělením proudu za sedlem do více menších proudů.

V současné době lze rozdělit podle regulačního systému regulátory na přímočinné a nepřímochinné. [1]

2.1.1 Regulátory přímočinné

Přímochinné regulátory jsou charakteristické tím, že táž membrána se využívá jako porovnávací (snímací) zařízení (čidlo) k předání impulsu pro přestavení regulačního orgánu a současně slouží jako pohon regulačního orgánu. Toto zařízení je tvořeno membránou, na kterou z jedné strany působí regulovaný přetlak a z druhé strany pak vyrovnávací síla, která svou velikostí určuje hodnotu požadovaného přetlaku.



Obr. 2 Přímochinný regulátor [1]

Hodnota regulovaného přetlaku je nastavitelná vyrovnávací silou. Tato síla bývá vyvozována pružinou nebo nastaveným přetlakem regulovaného plynu ve zvonu nad membránou. U starších typů regulátorů se používalo i závaží.

Podstata práce přímočinných regulátorů spočívá v tom, že membrána reaguje na změny průtoku plynu, což způsobuje pokles nebo stoupnutí regulovaného přetlaku změnou polohy, která odpovídá vyrovnání sil, které působí na tuto membránu z obou stran – z jedné strany je to tlak regulovaného plynu a z druhé strany vyrovnávací síla. Tímto opětovným vyrovnáním sil se zvětší nebo zmenší průtočný průřez v sedle regulátoru.

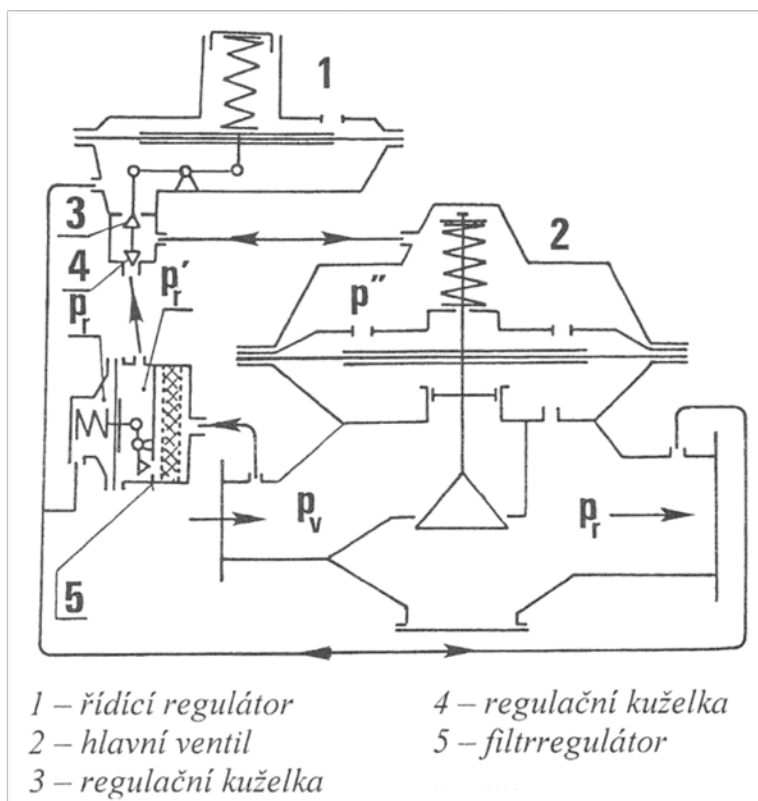
Hlavní předností oproti nepřímochinným regulátorům je jednoduchost provedení, nenáročnost na údržbu, dokonalá stabilita a příznivé dynamické vlastnosti. Na druhou stranu proti nepřímochinným regulátorům jsou přímočinné regulátory méně přesné. [1]

2.1.2 Regulátory nepřímochinné

Nepřímochinný regulátor obsahuje dva regulátory. Řídící regulátor modeluje impuls pro přestavění regulačního orgánu. Pak je tento impuls vyslán k hlavnímu regulátoru, jehož membrána působí jako pohon a membrána řídicího ventilu působí jako ústřední regulační člen.

U tohoto typu regulátoru nastavujeme řídicí tlak v prostoru nad membránou pomocí řídicího ventilu. Tato membrána je vyvažována pružinou o tuhosti, jež odpovídá maximální přípustné odchylce regulovaného tlaku. Pro stabilitu funkce regulátoru je nejlepší použít průtočné řídicí ventily. Takový ventil pak způsobí plynulou změnu velikosti přítoku a odtoku.

Jak již je zmíněno dříve, výhodou těchto regulátorů je přesnost regulace. Naopak nevýhodou jsou dynamické vlastnosti, protože tento regulátor reaguje s určitým zpožděním. [1]



Obr. 3 Nepřímochinný regulátor [1]

2.2 Expanzní turbína

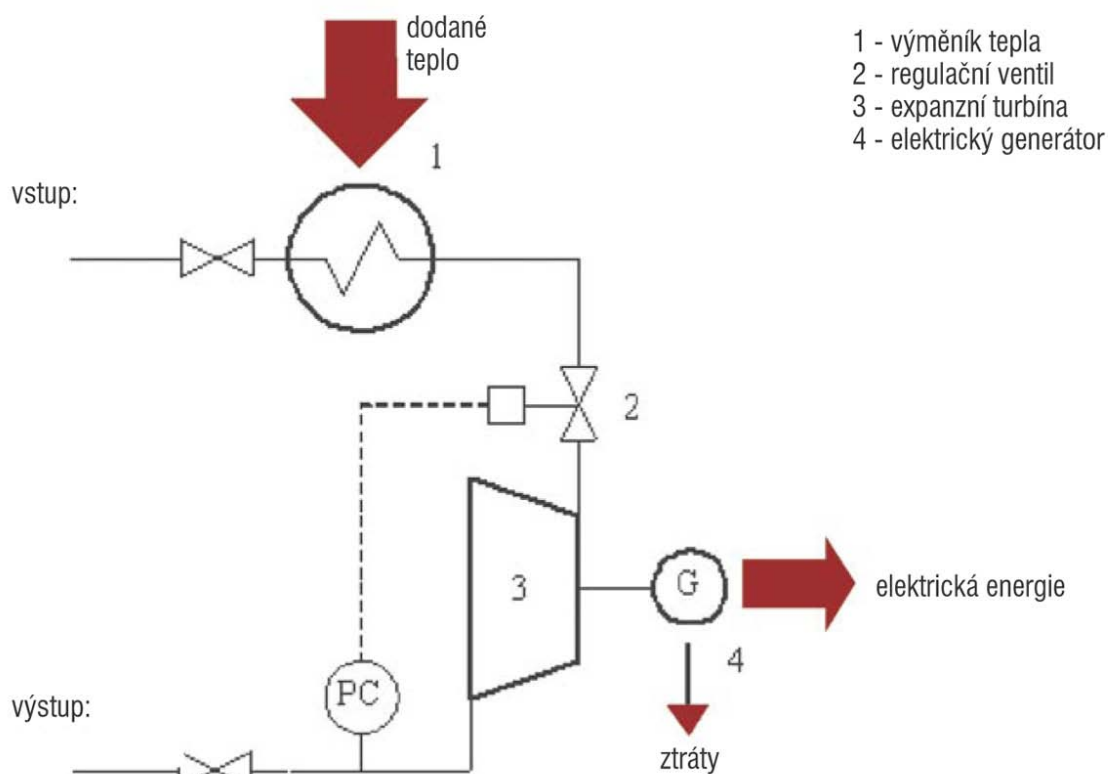
Expanzní turbíny nejsou, kvůli jejich pořizovací ceně a nárokům na údržbu, tak často využívány jako regulátory. Jsou používány zejména u expanze tlaku z velmi vysokých hodnot. Expanzní turbína snižuje tlak a navíc i přeměňuje tlakovou energii plynu na energii mechanickou, kterou lze následně pomocí generátoru přeměnit na elektrickou energii. Tato expanze v turbíně sice potřebuje předehřev zemního plynu asi na trojnásobně vyšší teplotu než je tomu u regulátoru, avšak ekonomicky se tato energie vyplatí investovat, protože z plynu získáme jeho tlakovou energii.

Podstata přeměny energie stlačeného plynu na elektrickou energii spočívá ve sledu následujících dějů. Proudící plyn roztočí rotor turbíny, což způsobí roztočení generátoru elektrického proudu, následně se elektrická energie většinou filtruje a usměrňuje a pak se může poslat do rozvodné sítě.

Expanzní turbíny jsou kompaktní stroje, spojené zpravidla s elektrickým generátorem v jeden celek. Výkon turbín se běžně pohybuje od stovek kW až do deseti MW. K řízení průtoku plynu lze použít regulace natáčení lopatek vstupního statoru nebo také tzv. regulační ventil na vstupu expanzní turbíny. Použití regulačního ventilu však snižuje výkon turbíny.

Otáčky turbíny mohou dosahovat typicky od $15\,000\text{ min}^{-1}$ až $40\,000\text{ min}^{-1}$.

Transformaci tlakové energie na elektrickou energii lze uskutečnit dvěma způsoby. První způsob je založen na použití převodovky, která redukuje otáčky turbíny na $3\,000\text{ ot/min}$. Následně se pak v asynchronním generátoru vyrobí proud se síťovou frekvencí 50 Hz . Druhý způsob této převodovky nevyužívá a je zde umístěn generátor na společné hřídeli s expanzními koly. Takto vyrobený proud se pak musí nejdříve usměrnit v měniči frekvence (konvertor) a potom se upraví na požadovanou síťovou frekvenci 50 Hz . [7]



Obr. 4 Schéma redukce tlaku zemního plynu pomocí expanzní turbíny [7]

3 Expanzní stanice Velké Němčice

Následující část se věnuje popisu předávací stanice Velké Němčice.

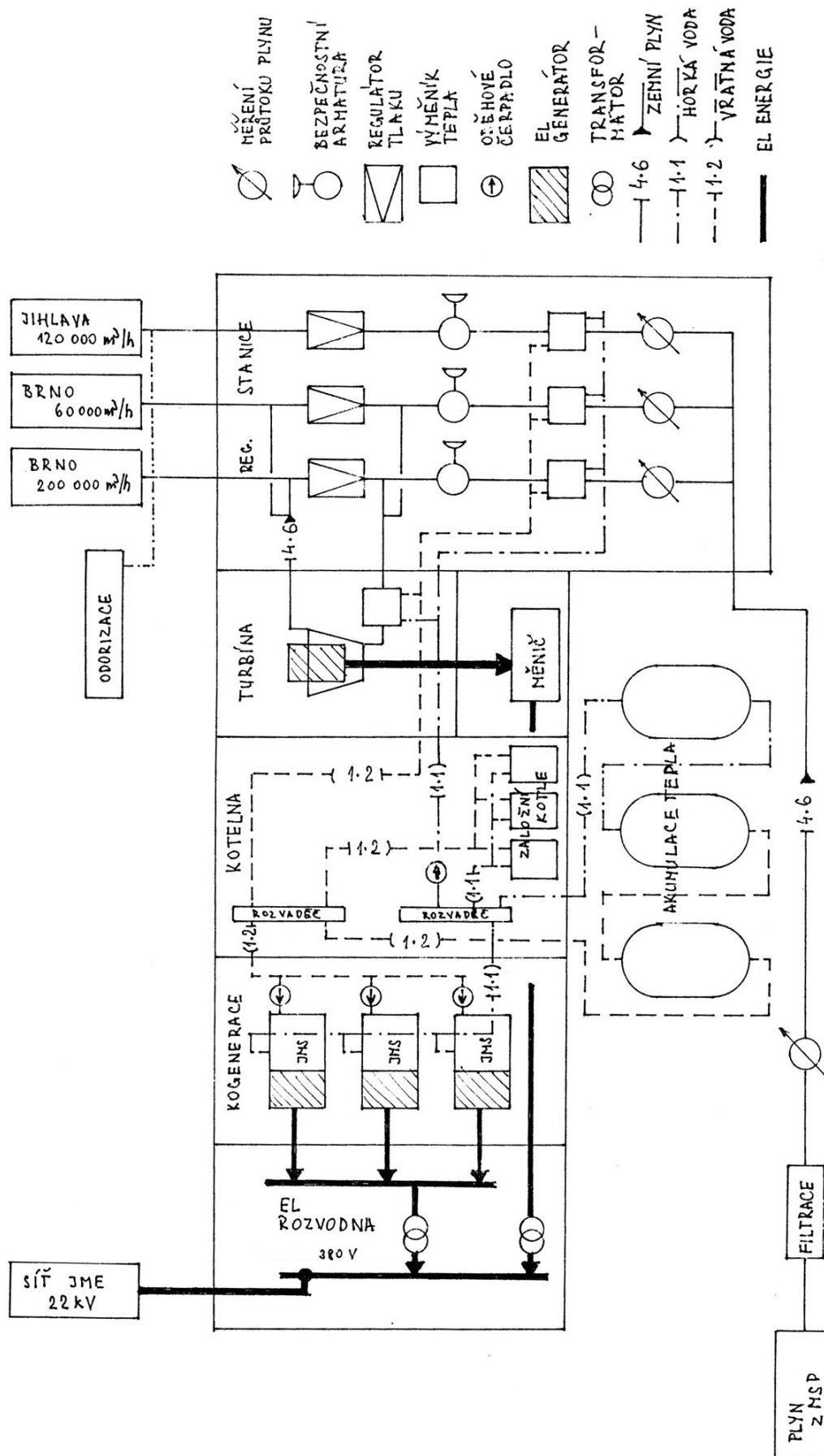
Předávací stanice Velké Němčice byla poprvé spuštěna v roce 1953. V letech 1953 – 1992 redukovala tlak plynu ze soustavy vvtl do vtl soustavy pouze pomocí regulátorů. Předehřev plynu byl zajištěn pomocí kotlů. V letech 1992 – 1993 prošla stanice významnou rekonstrukcí, při níž byla opatřena expanzní turbínou a třemi kogeneračními jednotkami. Tato zařízení zajišťují stanici ekonomičtější chod.

Stanice ve Velkých Němčicích je velmi významná, protože přes ni prochází zhruba 50% plynu distribuovaného JMP Net s.r.o.

Jak je zřejmé z Obr. 6, plyn prochází postupně filtrací, měřením, regulací a odorizací. K nutnému předehřevu lze použít kogeneraci nebo kotelnu. V areálu stanice se nacházejí také tři nádrže sloužící k akumulaci teplé vody.



Obr. 5 Předávací stanice Velké Němčice



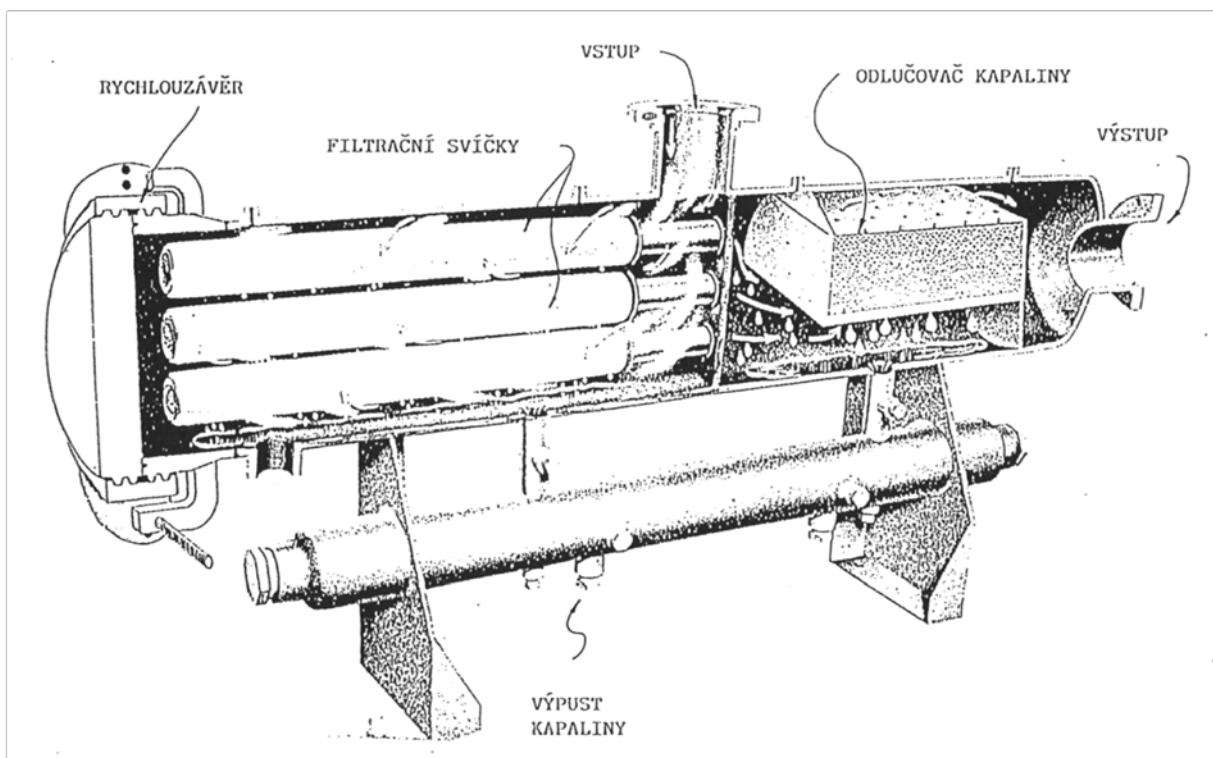
Obr. 6 Schéma předávací stanice Velké Němčice [6]

3.1 Filtrace

V areálu se nacházejí čtyři horizontální filtry DN 350 PN 63 od firmy PECO. Všechny filtry mají společný kolektor, jehož pomocí je realizován vstup plynu do filtrů. Každý filtr je také vybaven dvěma uzavíracími armaturami se servopohonem, z nichž jedna je umístěna před filtrem a druhá pak za filtrem. Pomocí těchto armatur lze regulovat počet činných filtrů v závislosti na celkovém průtoku zemního plynu.

Použitý filtr se skládá ze dvou sekcí. První sekce slouží k oddělování pevných částic. Filtrační svíčky dokážou odloučit nečistoty o velikosti $1\mu\text{m}$ a větší. U každého filtru je nutné sledovat tlakovou diferenci. To je zajištěno pomocí diferenčního manometru MIDWEST model 120. Spínací kontakt manometru je nastaven výrobcem na 0,08 MPa. Když je dosažena tato tlaková diference, znamená to, že svíčky jsou už nepřípustně zanesené a je nutné je vyměnit.

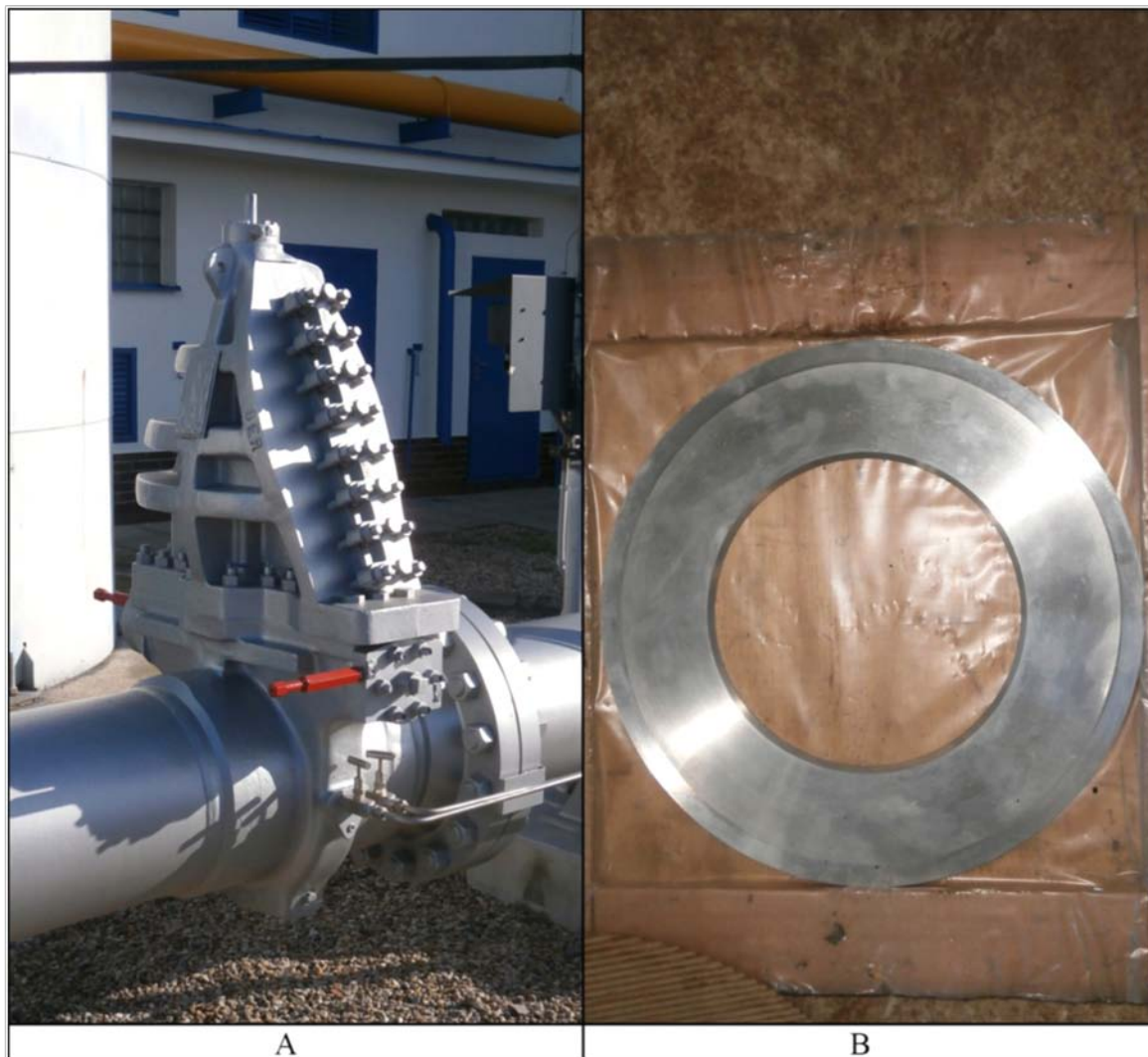
Druhá sekce filtru je vybavena zařízením pro odlučování kapalných složek zemního plynu. Pro odvádění kondenzátu je filtr opatřen ručními uzavíracími armaturami DN 25 PN 63. Tato potrubí jsou pak svedena do společného potrubí DN 50 PN 63. V každé sběrné nádrži je instalovaná signalizace maximální hladiny. Odkalovací potrubí filtrů je zaústěno do čela beztlaké nádoby na nečistoty. Nádoba je dvouplášťová, prostor mezi pláštěmi je plněn dusíkem na 0,07 MPa. Kontrola tohoto tlaku zajišťuje těsnost nádoby. Vyprazdňování nádrže se realizuje pomocí prázdné cisterny s čerpadlem. Maximální výkon jednoho filtru je $150\,000\text{ m}^3/\text{h}$. [6]



Obr. 7 Filtr DN 350 PN 63 fy Perry Corporation [6]

3.2 Centrální měření

Centrální měření je zajištěno pomocí kruhové přesně kalibrované clony (letní clona obsahuje přesnou díru o průměru 230,022 mm). Výměna této clony se provádí za plného provozu. Podstata měření je ve snímání tlaku a teploty před a za clonou. Informace jdou pak do Solartronu, což je zařízení, které je schopno přepočítat tyto údaje na průtok plynu.

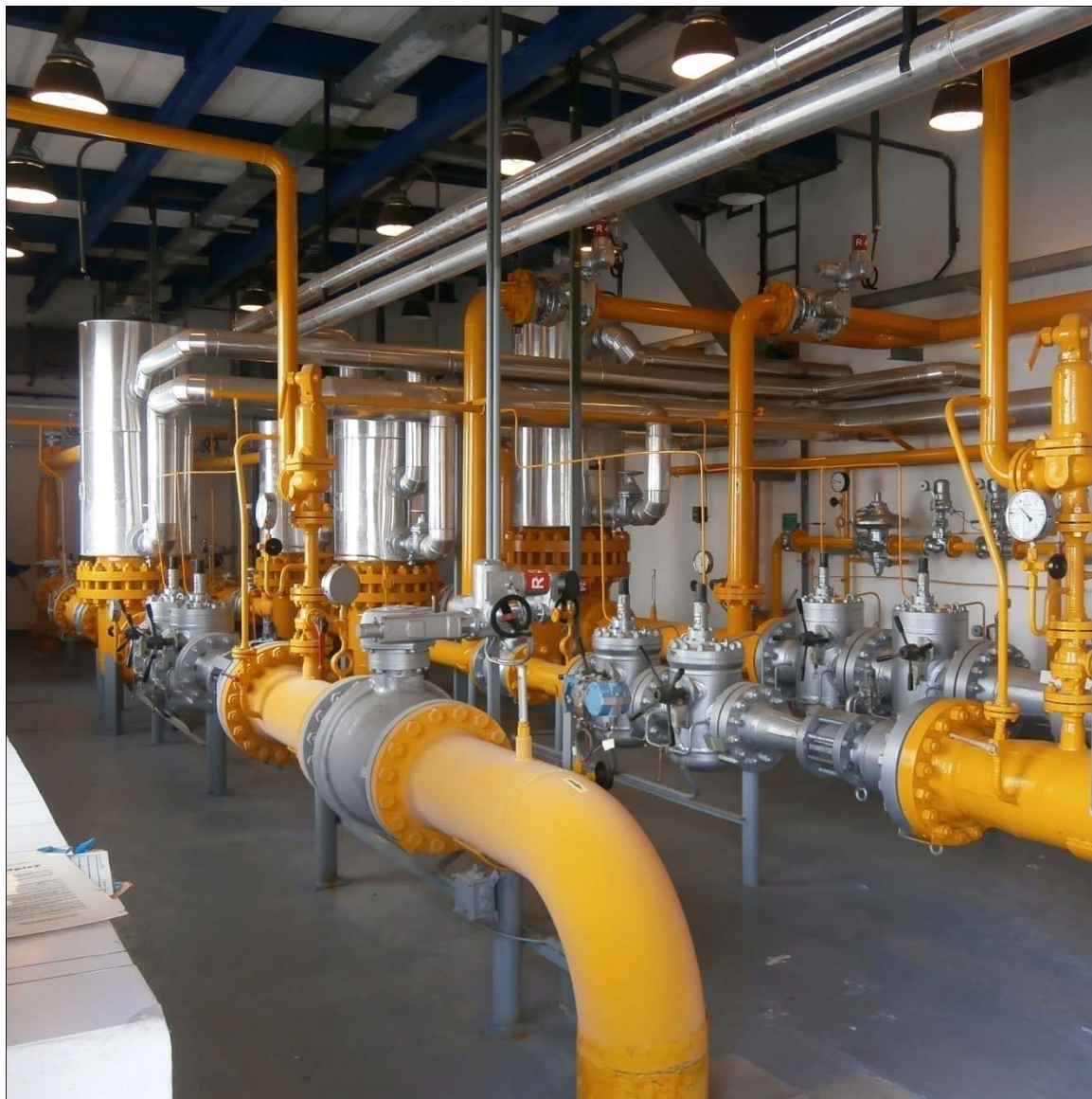


Obr. 8 Centrální měření: A – pohled na měřící zařízení instalované na potrubí; B – letní clona

3.3 Regulace

Jak již bylo zmíněno, účelem stanice Velké Němčice je redukce tlaku zemního plynu ze soustavy vvtl do vtl soustavy.

Od jiných zařízení v budově je samotná regulační stanice oddělena protipožární zdí a veškeré průchody přes tuto zeď jsou plynotěsné. Regulační stanice začíná hlavním vstupním



Obr. 9 Regulační stanice

uzávěrem P 04, který navazuje na centrální měření. Plyn je přiváděn do budovy potrubím DN 400 PN 63, které slouží jako kolektor pro všechny řady a ochoz. Minimální vstupní tlak je 4,5 MPa a maximální 6,3 MPa. Teplota vstupního plynu se pohybuje v rozmezí 2 – 12 °C.

3.3.1 Regulační řada Brodské – Brno I

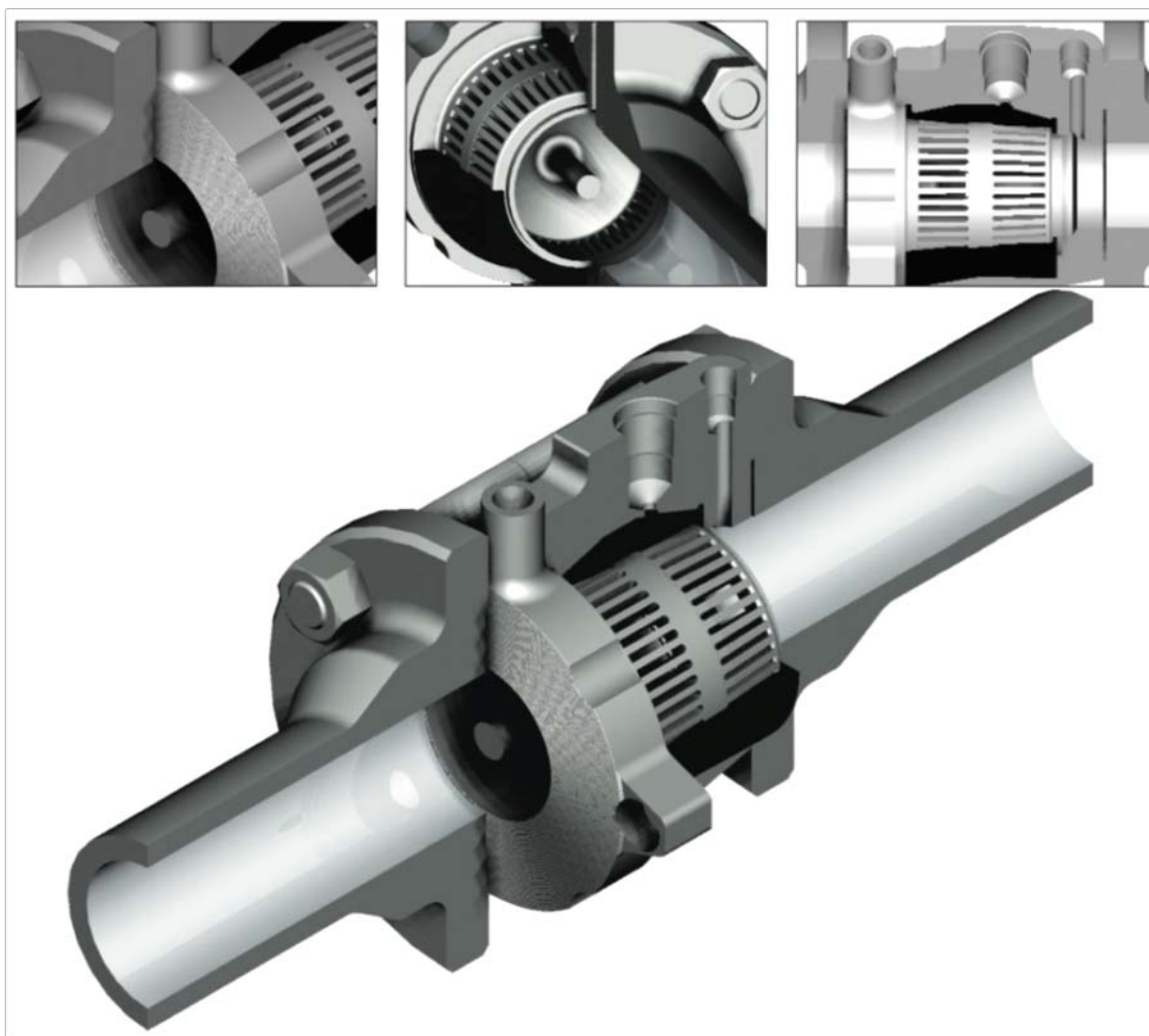
Tato regulační řada se skládá ze vstupního uzavěru R 21, kvantometru Q 1000 a výstupního uzavěru za měřením R 22. Měření je přemostěno obtokem s jednou uzavírací armaturou R 23. Dále pak následují dva výměníky pro předehřev plynu. První výměník slouží k přenosu tepla mezi olejem, který chladí expanzní turbínu, a plynem v této regulační řadě. Druhý výměník pak ohřívá plyn na potřebnou teplotu pomocí proudění teplé vody.

Za výměníky je řada rozdělena na dvě větve. První větev vede k expanzní turbíně potrubím, na kterém je umístěna uzavírací armatura R 42. Snížení tlaku pomocí expanzní

turbíny je blíže popsáno v kapitole 3.4. Druhá větev pokračuje armaturou R 24 do klasické regulační řady.

Tato řada se skládá ze dvou bezpečnostních rychlouzávěrů, jež jistí výstupní přetlak plynu na vzestup a pokles. Za nimi následuje axiální regulátor tlaku s tlumičem hluku. Dodavatelem tohoto regulátoru je americká firma GROVE. Je to kompaktní samočinný regulátor tlaku. Má ve vlastním tělese pružně roztaženou manžetu, která obklopuje válcové ocelové jádro obsahující mnoho stejných podélných otvorů oddělených přepážkou. Mezi gumovou manžetou a tělesem je uzavřený prstencový prostor. Právě s tímto prostorem je propojen pilotní řídicí regulátor. Změnou předpětí pružiny lze nastavit výstupní tlak. Je-li tlak v prstencovém prostoru roven vstupnímu tlaku, je manžeta pevně přimknuta k vnitřnímu jádru, drážky jsou tak překryty a plyn tedy nemůže proudit přes přepážky. Ve chvíli, kdy tlak v prstencovém prostoru klesne pod hodnotu vstupního tlaku, se manžeta nadzvedne a plyn proudí přes jádro ke straně výstupního tlaku, přičemž průtok je škrcen. Když je tlak v meziprostoru nízký, plyn proudí přes zcela otevřený regulátor. Velká výhoda takto konstruovaných regulátorů je, že lze vyjmout těleso uvolněním svorníků mezi přírubami, což zajišťuje rychlé čištění, revizi a údržbu.

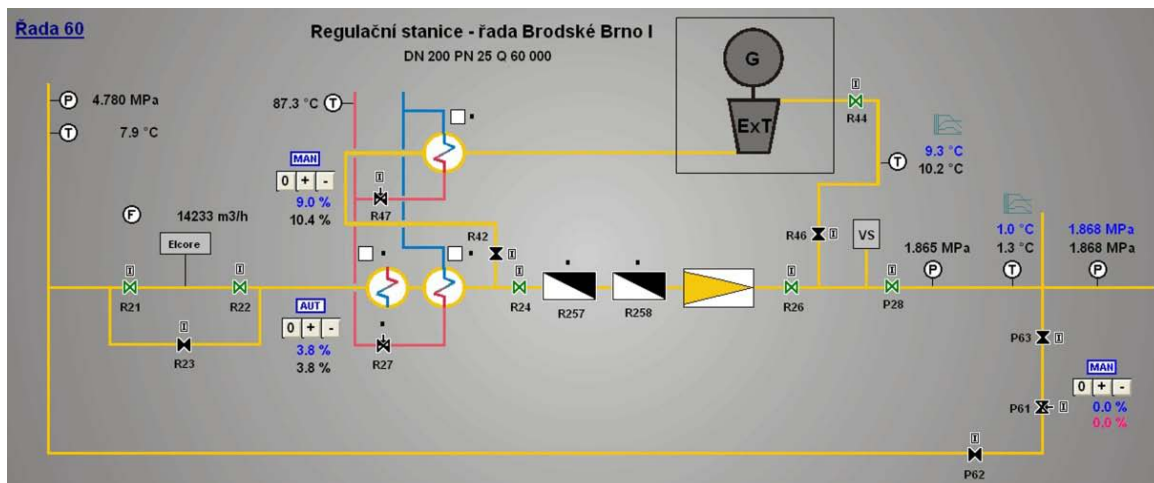
Za regulátorem je výstupní uzavírací armatura regulační řady R 26. Za touto armaturou se pak výstupní potrubí regulační řady spojuje s výstupním potrubím expanzní turbíny, které obsahuje ještě uzavírací armaturu R 46. Výstupní potrubí DN 300 PN 40 je svedeno



Obr. 10 Regulátor Flexflo model 83 [11]

do výstupního kanálu. Z potrubí je v kanálu vysazena odbočka DN 25 PN 40, která slouží jako přívod plynu pro regulační řadu vlastní spotřeby viz 3.3.5. V kanálu se také měří výstupní tlak, teplota a rosný bod. Výstupní potrubí DN 300 PN 40 je vyvedeno přes chráničku ven z budovy a následuje proces odorizace.

Regulační řada Brodské – Brno I má jmenovitý výkon $60\,000\text{ m}^3/\text{h}$, výstupní tlak se pohybuje v rozmezí 1,4 – 2,3 MPa a teplota mezi 273,15 – 285,15K. Příčinou nižšího výstupního tlaku této řady je to, že na výstupní systém jsou napojeny těžební plynovody např. MND (Moravské naftové doly), které do potrubí dodávají plyn ze svých sond. [6]

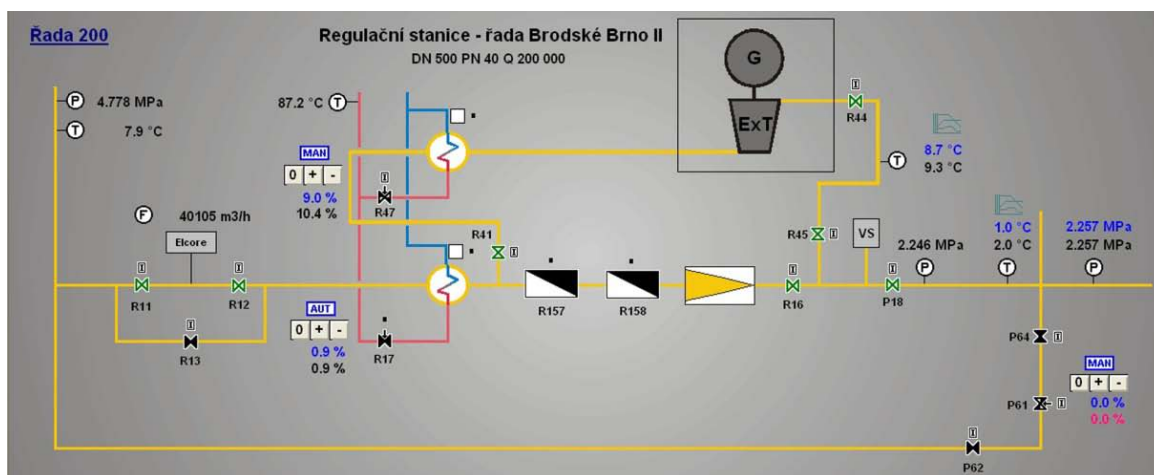


Obr. 11 Zobrazení regulační řady Brodské – Brno I v řídicím systému

3.3.2 Regulační řada Brodské – Brno II

Tato regulační řada je realizována velmi podobně jako řada Brodské – Brno I. Vstupní měření je konstruováno stejným způsobem, avšak po měření následuje pouze jeden výměník tepla. Plyn je zde přehříván pouze pomocí oběhu teplé vody. Pak následuje opět odbočka, která umožňuje regulovat tlak pomocí expanzní turbíny. Klasická regulační řada je zde stejná jako u předchozí. Následují pak zcela shodné prvky jako u řady Brodské – Brno I.

Tato regulační řada disponuje jmenovitým výkonem $200\,000\text{ m}^3/\text{h}$, výstupní tlak může být v rozmezí 2,0 – 3,8 MPa a teplota je v rozmezí 273,15 – 285,15K. [6]

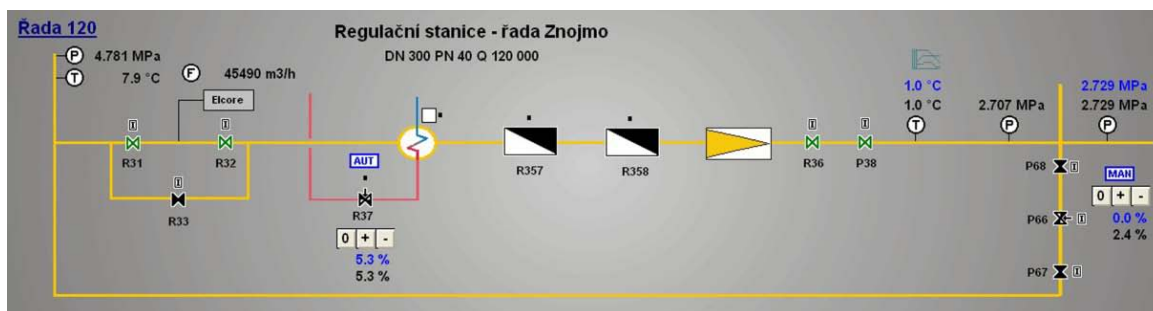


Obr. 12 Zobrazení regulační řady Brodské – Brno II v řídicím systému

3.3.3 Regulační řada Znojmo

Jak je zřejmé z Obr. 13, tato regulační řada je opět konstruována velmi podobně jako obě předchozí. Je zde použit, stejně jako u regulační řady Brodské – Brno II, jeden výměník tepla, který ohřívá plyn rovněž pomocí teplé vody. Hlavní rozdíl oproti předchozím spočívá v tom, že tato řada není propojena s expanzní turbínou, tudíž tlak se zde snižuje vždy pomocí klasické regulační řady. Zbytek regulační řady Znojmo je shodný s oběma řadami Brodské – Brno.

Jmenovitý výkon je 120 000 m³/h, teplota na výstupu opět 273,15 – 285,15K a tlak je v rozmezí 2,0 – 3,8 MPa. [6]



Obr. 13 Zobrazení regulační řady Znojmo v řídicím systému

3.3.4 Ochoz regulačních řad

Ochoz regulačních řad začíná ve vstupním kolektoru DN 400 PN 63, který je přes chráničku vyveden ven z budovy. Venku se toto potrubí redukuje na dimenzi DN 300. Centrální obtok se pak větví na dva ochozy, které jsou vybaveny ukazovacími armaturami a potřebnými impulsy pro řídicí systém a následné regulování pomocí regulační armatury.

První větev je pro plynovod ve směru na Znojmo. Jedná se zde o klasický ochoz, kde je mezi dvěma uzavíracími armaturami P 67, P 68 umístěna regulační armatura P 66. Druhá větev zásobuje v případě potřeby oba plynovody Brodské – Brno. Je podobná jako první větev, pouze s tím rozdílem, že mezi uzavíracími armaturami P 62, P 63, P64 obou větví je jedna regulační armatura P 61, která slouží pro oba výstupy z této větve ochozu. [6]



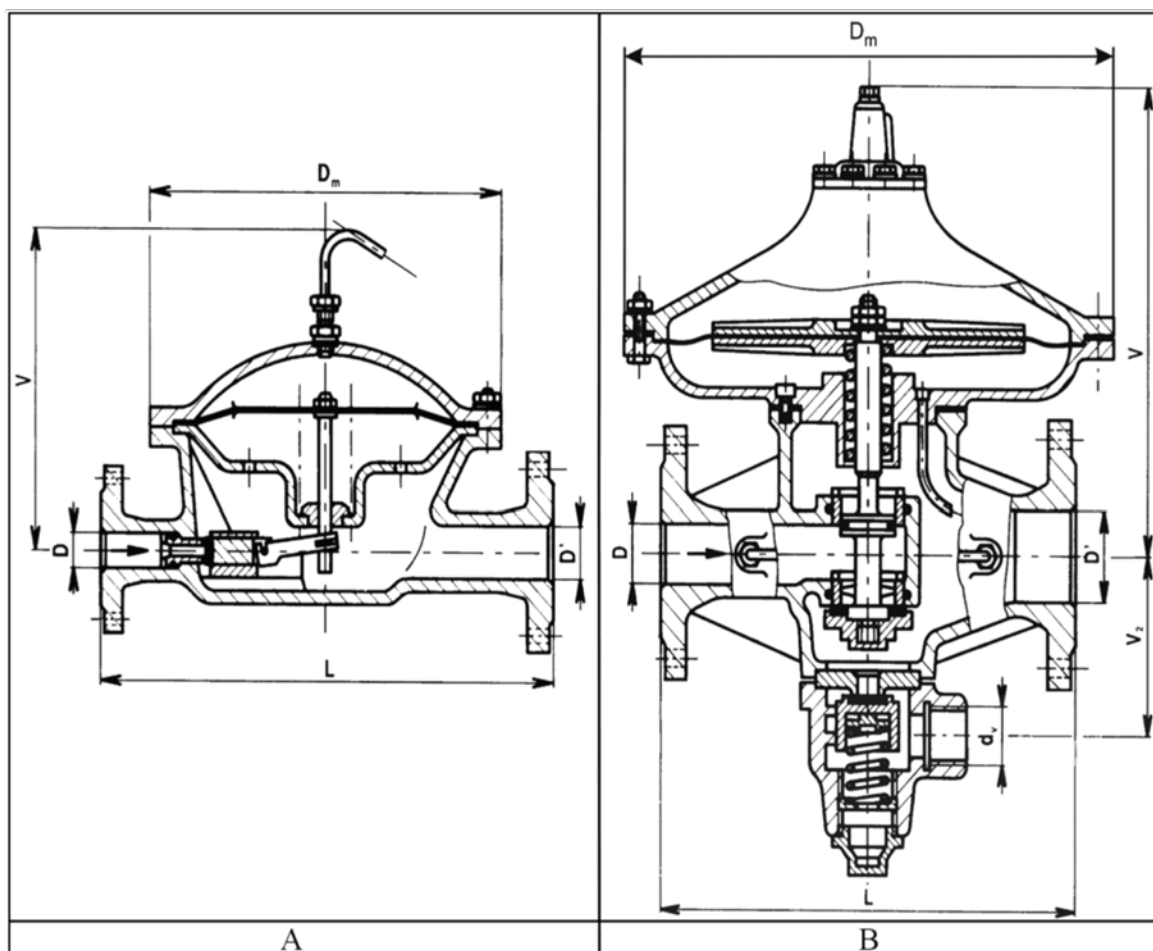
Obr. 14 Ochoz Brodské - Brno

3.3.5 Regulační řada vlastní spotřeby

Regulační řada vlastní spotřeby slouží k regulaci tlaku pro kogenerační jednotky a kotelnu. Všechny výstupy předchozích regulačních řad jsou opatřené výstupním potrubím pro vlastní spotřebu DN 25 PN 40 a na každém z nich je uzavírací vstupní armatura R 19, R 29, R 39. Napájení této řady tak lze realizovat odběrem z jakékoliv ze tří regulačních řad, avšak v činnosti může být v jednu chvíli pouze jedno přívodní potrubí.

Regulační řada je provedena jako regulace s mezistupněm. Nejdřív plyn v této řadě prochází bezpečnostním rychlouzávěrem, který je impulsován tlakem v potrubí topného media. Pak nastává predehřev plynu pomocí výměníku s teplou vodou. Za výměníkem se zařízení dělí na dvě řady. Každá se skládá ze vstupní uzavírací armatury R 61, R 71. Následují dva bezpečnostní rychlouzávěry, které jistí odběr za prvním stupněm na pokles a vzestup tlaku.

Použité zařízení je vysokotlaký nepřímý membránový regulátor tlaku s pohyblivou kuželkou a pákovým převodem s pružinou zesilující účinek výstupního přetlaku na membránu. Předpětím pružiny v řídicím regulátoru je možné nastavit výstupní tlak. Výstupní přetlak působí na membránu pomocí pružiny. Proti němu působí přetlak nad membránou. Při zvýšení výstupního tlaku se pomocí stabilizátoru sníží přetlak v meziprostoru a membrána se zvedá, dochází k uzavírání kuželky. Když výstupní tlak klesá, nastává opačný děj. [6]



Obr. 15 Regulační řady pro vlastní spotřebu: A – Vysokotlaký regulátor C26 544 540;
B – Středotlaký regulátor C26 535 516 [10]

Obě větve jsou zakončené výstupní uzavírací armaturou R 62, R 72. Potom se obě větve opět spojují. Toto rozbočení se používá kvůli zvýšení bezpečnosti. Dále se zde nachází vstupní uzavěr měření R 63, kvantometr Q 650 a výstupní armatura R 68. Pro potřeby údržby je měření přemostěno obtokem s uzavírací armaturou R 73.

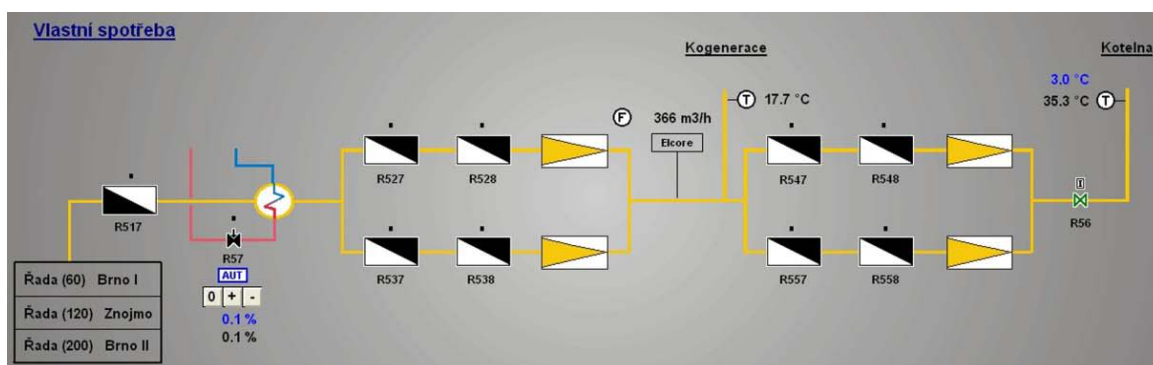
Výstupní potrubí DN 80 PN 16 je osazené odbočkou DN 80 PN 16 s uzavírací armaturou R 68. Toto potrubí je vyvedeno mimo budovu, redukcí se zvětšuje na dimenzi DN 300 a je přivedeno ke kogeneračním jednotkám.

Za odbočkou pro kogeneraci se vstupní potrubí DN 50 PN 16 opět rozděluje na dvě regulační řady. Důvod tohoto rozvětvení je stejný jako u předchozího. Tyto řady pak regulují středotlak na nízkotlaký přetlak. Obě řady obsahují stejné prvky jako předchozí dvě. Tedy uzavírací vstupní armatury R 51, R 53, dva bezpečnostní rychlouzávěry, regulátor tlaku a uzavírací výstupní armatury R 52, R 54. Jedinou změnou je typ použitého regulátoru. Zatímco u předchozích dvou řad je použit vysokotlaký regulátor C26 544 540, jehož dodavatelem je SČA Ústí nad Labem, zde je použit středotlaký regulátor od stejného dodavatele s označením C26 535 516.

Toto zařízení je opět nepřímochinný membránový regulátor tlaku plynu, ovšem s pohyblivou dvousedlovou kuželkou s přímým převodem a odlehčeným ventilem pomocí pružiny, která opět zesiluje působení výstupního tlaku na spodní část membrány. Výstupní tlak se nastavuje také pomocí pružiny. Výstupní tlak působí na membránu. Zvýší-li se výstupní tlak, nastane pohyb membrány, která pomocí pákového systému uzavře první ventil a otevře druhý. Ten slouží k přepouštění plynu z komory spodní do komory horní a do výstupního hrdla. Přetlak nad membránou se sníží, tím nastane zdvih membrány a kuželky dvousedlového ventilu nahoru – zavírá. Při poklesu tlaku se otevírá první ventil, druhý se zavírá a probíhá děj opačně.

Potom se obě dvě větve opět slučují do výstupního potrubí DN 80 PN 16 a následuje ještě uzavírací armatura R 56. Ta se uzavírá při zjištění výskytu plynu v kotelně nebo při vniknutí plynu do systému teplovodního předehřevu plynu. Potom se potrubí rozšiřuje na dimenzi DN 200 a pokračuje ke kotlům.

Charakteristickými parametry regulační řady pro vlastní spotřebu jsou vstupní tlak, který se pohybuje v rozsahu 1,4 – 4,0 MPa. Dále teplota plynu na vstupu (3 – 5 °C). Jmenovitý výkon kogenerace je 480 m³/h a kotelný 170 m³/h. Výstupní tlak kogenerace je 5 – 10 kPa a výstupní tlak kotelný je 1,8 - 2,0 kPa. Teplota plynu na výstupu je zhruba 5°C. [6]



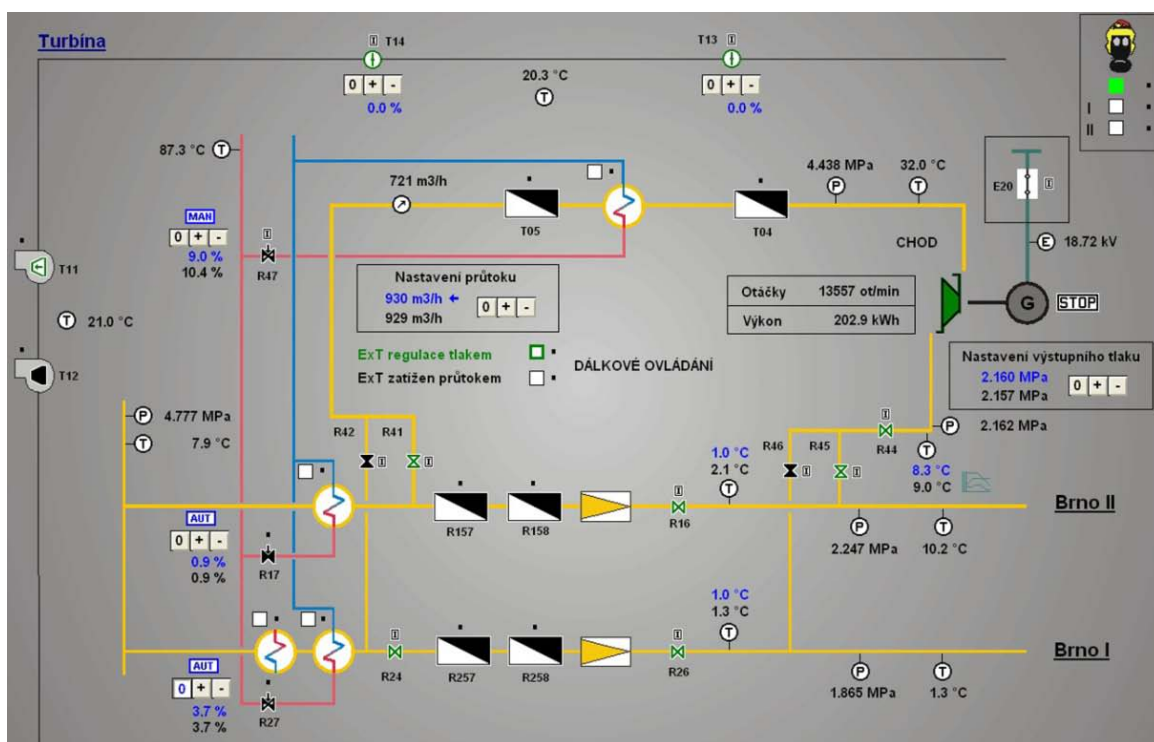
Obr. 16 Zobrazení regulační řady vlastní spotřeby v řídicím systému

3.4 Expanzní turbína

Účelem expanzní turbíny je redukovat tlak ze soustavy vvtl do vtl soustavy plynovodů. Expanzní turbína snižuje tlak na požadovanou hodnotu a navíc přeměňuje tlakovou energii plynu na energii mechanickou, která se následně pomocí generátoru přemění na elektrickou energii. Ta se po filtraci a usměrnění dostává do rozvodné sítě 22 kV.

Expanzní turbína se nachází v samostatné místnosti předávací stanice a od ostatních je oddělena protipožární zdi a veškeré průchody přes tyto zdi jsou plynotěsné.

Jak je již zmíněno v předchozí kapitole, expanzní turbína je napojena na regulační řady Brodské – Brno I a II. Obě větve se spojují a potrubím DN 150 PN 63 se přivádí plyn přes měření průtoku do místnosti s expanzní turbínou. Zde plyn postupně prochází prachovým filtrem, bezpečnostním uzávěrem SSV, výměníkem, bezpečnostním uzávěrem (GOTV), řídicím ventilem a expanzní turbínou. Za expanzní turbínou je plyn odváděn potrubím DN 300 PN 25, ve kterém je umístěn uzavírací ventil R 44. Následně je toto potrubí vyvedeno zpět, skrz dvě hlavní výstupní armatury expanzní turbíny R 45, R 46, do regulační řady Brodské – Brno I nebo Brodské – Brno II. [6]



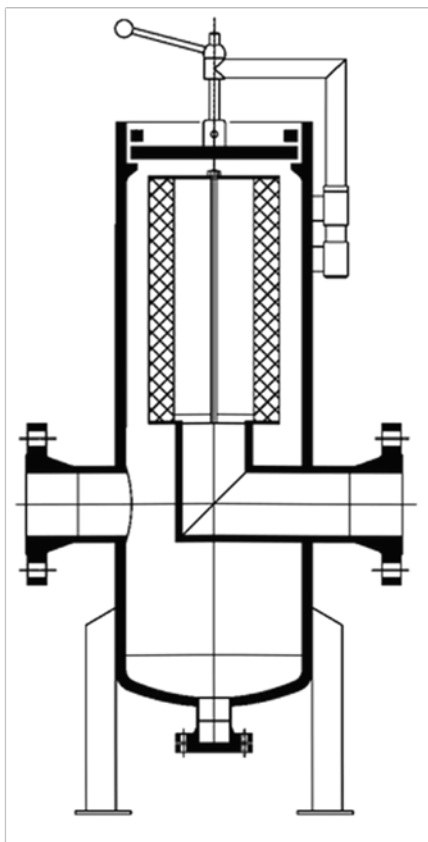
Obr. 17 Schéma turbíny v řídicím systému

3.4.1 Prachový filtr

Ten slouží k separaci mechanických nečistot. Skládá se z válcové nádoby a filtrační svíčky. Přes vstupní hrdlo se dostane plyn do válcové nádoby a na filtrační svíčke se odděluje od mechanických nečistot (až do velikosti 1 μ m). Následně se dostává výstupním hrdlem DN 150 PN 63 ven z filtru. Nečistoty se usazují na dně válcové nádoby. Ty lze pomocí ofukovacího hrdla s uzavírací armaturou odstranit z filtru. Použitý typ filtru je PF 400.20 PN 64 od rakouské firmy HEAT. [6]

3.4.2 Bezpečnostní uzávěr SSV

Bezpečnostní uzávěr SSV jistí výstupní přetlak plynu na pokles a vzestup nebo pomocí elektrického navázání na řídicí systém kontroluje správný chod technologie. Zařízení pro dálkové vypnutí se napojuje do impulzního potrubí k vybavovacímu mechanismu ventilu. V provozním stavu je toto zařízení v otevřené poloze, takže měřený tlak se přivádí k řídicímu mechanismu. Při dálkovém sepnutí je přívod tlakového impulzního potrubí uzavřen a otevře se odfukové vedení. Řídicí tlak ve vybavovacím mechanismu se tak odvádí do odfukového potrubí. Tím se bezpečnostní uzavírací ventil přestaví do uzavřené polohy. Při opětovném sepnutí se měřicí impulzní potrubí k měřicímu bodu znovu otevře. Před opětovným uvedením do provozu je nutné srovnat tlak před a za bezpečnostním uzávěrem. Dodavatelem je opět rakouská firma HEAT. [6]



Obr. 18 Schéma prachového
filtru PF 400.20 PN 64 [9]



Obr. 19 Bezpečnostní uzávěr SSV

3.4.3 Výměník

Protože pokles teploty při redukci tlaku pomocí expanzní turbíny je výrazně vyšší než při redukci pomocí regulátoru, je nutné plyn znovu přehřívat. To je zde realizováno opět pomocí výměníku s teplou vodou.

3.4.4 Bezpečnostní uzávěr (GOTV)

Je to pístový ventil s vlastním pohonným médiem. Silou pružiny je ventil v klidové poloze uzavřen. Při povelu na otevření se sepne ventil na provozní polohu a aktivuje hnací píst. Při poruše v bezpečnostním okruhu se vlivem energie pružiny ventil uzavře do 0,5 s.

Bezpečnostním uzávěrem je typ KVVH-E od německé firmy KÜHME. [6]



Obr. 20 Bezpečnostní uzávěr GOTV

3.4.5 Řídicí ventil

Navazuje řídicí ventil. Ten je součástí turbíny a je umístěn před vstupními lopatkami turbíny. Reguluje průtok plynu turbínou. Dodavatelem je belgická firma ABB a jedná se o typ FISHER.



Obr. 21 Řídicí ventil typ FISHER

3.4.6 Expanzní turbína

Expanzní turbína je integrované soustrojí uzavřené ve společném odlitku. První částí tohoto soustrojí je vlastní turbína. Na vstupu jsou vstupní rozváděcí lopatky, které regulují průtok plynu. Rotor turbíny je vyroben z lehké slitiny a je umístěn na hřídeli. Na stejném hřídeli, na němž je umístěno oběžné kolo turbíny, je namontován i rotor elektrického generátoru. Tudíž se otáčí stejnou rychlostí jako turbína. Chlazení generátoru je zajištěno expandovaným plynem. Ten má vyšší tlak než okolní atmosféra, takže nikdy nemůže vzniknout výbušná směs. Společný odlitek je nesen ocelovým rámem soustrojí. Tento rám obsahuje olejové hospodářství. Elektrický výkon je vyveden silovými kabely do elektročásti v místnosti řízení ABB. Elektrická energie je dodávána s různým kmitočtem a napětím, takže se nejprve musí přeměnit pomocí říditelného usměrňovače na stejnosměrný proud a potom pomocí měniče na střídavý proud s parametry vnější sítě.

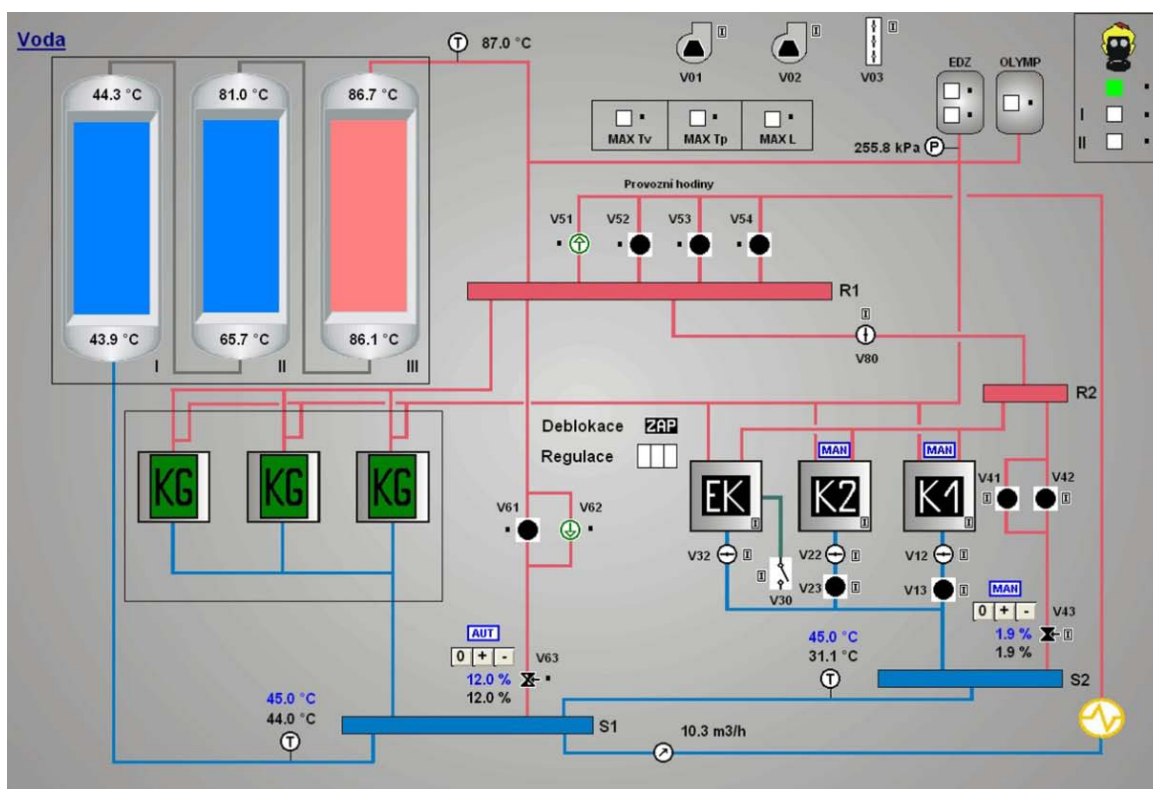
Vstupní tlak expanzní turbíny je 4,0 – 6,3 MPa. Teplota plynu na vstupu je 279,15 – 285,15 K. Průtok plynu turbínou je možný v rozsahu 9 000 – 71 300 Nm³/h. Výstupní tlak je 1,2 – 2,3 MPa a teplota je 273,15 – 285,15 K. Jmenovité množství je 62 500 Nm³/h a maximální jmenovitý elektrický výkon je 1184 kW. [6]



Obr. 22 Expanzní turbína

3.5 Teplá voda

Kvůli klesající teplotě během redukce tlaku je nutné plyn přehřívát. Jako teplosměnná látka se v Němčicích využívá voda. Voda se běžně ohřívá pomocí kogeneračních jednotek a následně je oběhovým systémem čerpadly vedena do výměníků tepla u regulačních řad nebo u turbíny. Ochlazená voda se pak vrací zpět ke kogeneračním jednotkám. Teplovodní okruh obsahuje také 3 akumulční nádrže (každá o objemu 100 m³), které umožňují ekonomický provoz kogeneračních jednotek. K ohřevu vody lze používat i kotelnu, ale ta slouží pouze jako záložní zdroj.



Obr. 23 Schéma oběhu vody.

3.6 Kogenerace

Kogenerace je umístěna uprostřed předávací stanice v samostatné místnosti. Jako kogenerační jednotky jsou použity celkem tři 16-ti válcové, zážehové, plynové motory výrobce Jenbacher Energiesysteme. Díky tomu, že je motor pevně spojen se synchronním generátorem, se vyrábí střídavý elektrický proud. Voda, využívaná k chlazení motoru, pak slouží jako zdroj tepla pro přehřev plynu respektive k vytápění areálu.

Nejhospodárnější způsob provozu kogenerace je ten, že určitou část dne jedou kogenerační jednotky na plný výkon a pak se zcela vypnou. Elektrický výkon kogenerační jednotky při plném zatížení je 544 kW a využitelný tepelný výkon z chladicího okruhu je 766 kW. Teplota výstupní topné vody je 90 °C a teplota vratné vody je 60 °C. [6]



Obr. 24 Kogenerační jednotka Jenbacher

3.7 Kotelna

Kotelna je komplex zařízení, jež může sloužit k výrobě tepla pro potřeby přehřevu plynu před regulací, případně k otopu stanice. Kotelna je využívána pouze jako záložní zařízení kogenerace. Je umístěná v samostatné místnosti vedle kogenerace. Hlavním zařízením kotelny jsou dva totožné plynové teplovodní kotle, které jsou osazeny ntl plynovými hořáky, jeden odporový elektrokotel a také beztlaké vyrovnávací nádrže.

3.7.1 Plynový teplovodní kotel

Jak již bylo řečeno, jsou zde dva plynové teplovodní kotle. Typ těchto kotlů je KDVE 65 a dodavatelem je ČKD Šariš.

Jedná se o žárotrubný kotel, kde plyn hoří v prostoru, jež navazuje na hořák. Vzniklé spaliny pak prochází trubkami k odtahu spalin a do komína. Zadní strana kotle je opatřena explozní klapkou. Výkon tohoto kotle je 660 kW.

3.7.2 Odporový elektrický kotel

Použit je zde elektrický odporový kotel EOK 400, který slouží pro kontinuální ohřev oběhové vody. S provozem elektrokotle je uvažováno hlavně při poruše venkovního elektrického vedení. V tom případě bude v provozu jedna kogenerační jednotka. Vyráběný proud pak bude spotřebováván v elektrokotli, který spolu s kogenerační jednotkou bude zdrojem tepla pro regulační stanici. Jmenovitý elektrický příkon kotle je 390 kW, jmenovité napětí je 3x400V/230 V, 50 Hz a jmenovitý proud je 593 A.



Obr. 25 Hlavní zařízení kotelny: A – Plynový teplovodní kotel; B – Odporový elektrický kotel

3.7.3 Beztlaké vyrovnávací nádrže

Beztlaké vyrovnávací nádrže slouží k udržování konstantního tlaku v topném systému. Stanice je vybavena třemi nerezovými beztlakými vyrovnávacími nádržemi (každá o objemu 5 m³). Solenoidový ventil slouží k přepouštění přebytečného objemu vody při ohřevu v topné soustavě do vyrovnávacích nádrží. Když se pak voda v topném systému ochlazuje, zmenšuje se její objem a čerpadlo přečerpává potřebné množství vody zpět z vyrovnávacích nádrží do potrubí topného systému.



Obr. 26 Beztlaké vyrovnávací nádrže

3.8 Odorizace

Kvůli nevýraznému zápachu zemního plynu je nutné ho odorizovat. Znamená to, že se s plynem mísí látka, která nám při jeho úniku zabezpečí jeho rozpoznatelnost. Odorizační látky se musí do plynu přidávat tolik, aby byl zápach zjistitelný, dokud není koncentrace ve vzduchu nebezpečná. Lze použít různé druhy odorantů. Odorant je těkavá látka nebo směs těkavých látek s mimořádně intenzivním a charakteristickým zápachem. Většinou se jedná o bezbarvé, ve vodě nerozpustné kapaliny, lehce zápalné a velmi reaktivní. Často se používají sirné látky (Tetrahydrothiofen, Dimetylsulfid, Metyletylsulfid).

K dopravení odorantu do plynu se používá odorizační stanice. Ve Velkých Němčicích jsou tři odorizační stanice, každá pro jednu regulační řadu, které jsou umístěny v samostatném objektu. Základem každé stanice je membránové čerpadlo poháněné elektromagnetem. Odorant je uskladněn v nerezové nádrži o objemu 850 l. Řízení odorizační stanice se stará, díky měření průtoku plynu, o stálou dávku odorantu, která je úměrná tomuto průtoku. Předepsaná dávka je 10 mg na 1 m³ plynu. [6]



Obr. 27 Odorizační stanice

4 Výpočet ideálního chodu stanice

4.1 Výpočty pro chod stanice v létě

Vstupní a výstupní hodnoty teploty a tlaku zemního plynu.

$$t_{L0} = 10,5^{\circ}\text{C} \quad P_{L1} = 4,75\text{MPa}$$

$$t_{L2} = 3^{\circ}\text{C} \quad P_{L2} = 1,9\text{MPa}$$

4.1.1 Potřebná teplota přehřevu

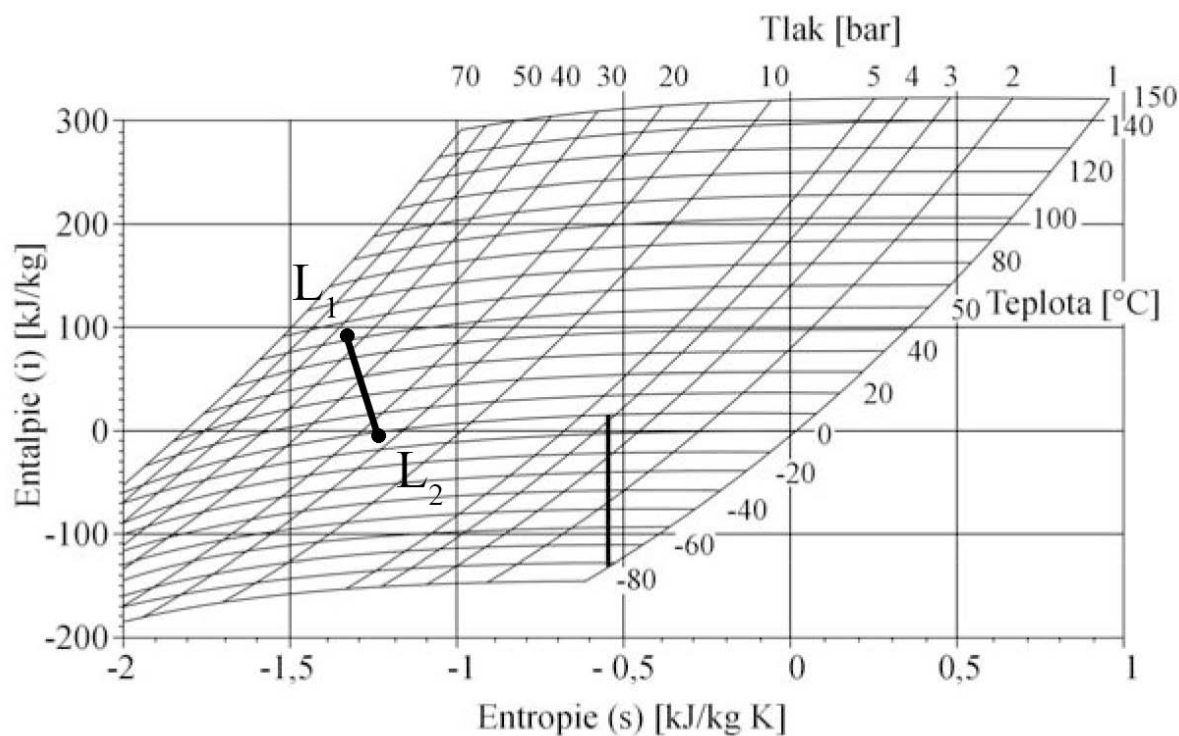
Teplota přehřevu před regulátorem.

$$t_{LR1} = 0,9 \cdot t_{L2} + 4 \cdot P_{L1} + 3 - \left(5 - \frac{P_{L1}}{10}\right) \cdot P_{L2}$$

$$t_{LR1} = 0,9 \cdot 3 + 4 \cdot 4,75 + 3 - \left(5 - \frac{4,75}{10}\right) \cdot 1,9$$

$$t_{LR1} = 16,1^{\circ}\text{C}$$

Teplota přehřevu před expanzní turbínou.



Obr. 28 Mollierův diagram s vyznačeným dějem probíhajícím v expanzní turbíně [1]

$$t_{LT1} = 52^{\circ}\text{C}$$

Teplota t_{LT1} je určena pomocí vyznačeného děje v Mollierově diagramu.

4.1.2 Výkon předeheřevu

Výpočet tepla, které je potřebné dodat 1kg plynu pro ohřev z teploty t_{L0} na potřebnou teplotu před regulací tlaku (ΔH_{LR} – regulace pomocí regulátoru, ΔH_{LT} – regulace pomocí expanzní turbíny).

$$\Delta H_{LR} = \left(\frac{P_{L1}}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (t_{LR1} - t_{L0})$$

$$\Delta H_{LT} = \left(\frac{P_{L1}}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (t_{LT1} - t_{L0})$$

$$\Delta H_{LR} = \left(\frac{4,75}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (16,1 - 3)$$

$$\Delta H_{LT} = \left(\frac{4,75}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (52 - 3)$$

$$\Delta H_{LR} = 14,43 \text{ kJ / kg}$$

$$\Delta H_{LT} = 106,93 \text{ kJ / kg}$$

Hustota 1 Nm^3 (15°C , $101\,325 \text{ MPa}$) zemního plynu.

$$\rho = 0,6934 \text{ kg/m}^3$$

Možnost 1 – veškerý průtok přes regulátory

Průtok přes regulátory respektive turbínu za den (Q_{VL1R} – průtok přes regulátory, Q_{VL1T} – průtok přes expanzní turbínu).

$$Q_{VL1R} = 2499487 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

$$Q_{VL1T} = 0 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

Hmotnostní průtok plynu přes regulátory respektive turbínu ($\dot{m}_{L1R}$ – průtok přes regulátory, $\dot{m}_{L1T}$ – průtok přes expanzní turbínu).

$$\dot{m}_{L1R} = \frac{Q_{VL1R}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{L1T} = \frac{Q_{VL1T}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{L1R} = \frac{2499487}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{L1T} = \frac{0}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{L1R} = 20,06 \text{ kg / s}$$

$$\dot{m}_{L1T} = 0 \text{ kg / s}$$

Výpočet potřebného výkonu předeheřevu pro možnost 1.

$$N_{L1} = \Delta H_{LR} \cdot \dot{m}_{L1R} + \Delta H_{LT} \cdot \dot{m}_{L1T}$$

$$N_{L1} = 14,43 \cdot 20,06 + 106,93 \cdot 0$$

$$N_{L1} = 289,47 \text{ kW}$$

Možnost 2 – turbína jede na maximální výkon 12 h (ve vysokém tarifu)

Průtok přes regulátory respektive turbínu za den (Q_{VL2R} – průtok přes regulátory, Q_{VL2T} – průtok přes expanzní turbínu).

$$Q_{VL2R} = 1749487 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

$$Q_{VL1T} = 750000 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

Hmotnostní průtok plynu přes regulátory respektive turbínu ($\dot{m}_{L2R}$ – průtok přes regulátory, $\dot{m}_{L2T}$ – průtok přes expanzní turbínu).

$$\dot{m}_{L2R} = \frac{Q_{VL2R}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{L2T} = \frac{Q_{VL2T}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{L2R} = \frac{1749487}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{L2T} = \frac{750000}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{L2R} = 14,04 \text{ kg} / \text{s}$$

$$\dot{m}_{L2T} = 6,02 \text{ kg} / \text{s}$$

Výpočet potřebného výkonu předehřevu pro možnost 2.

$$N_{L2} = \Delta H_{LR} \cdot \dot{m}_{L2R} + \Delta H_{LT} \cdot \dot{m}_{L2T}$$

$$N_{L2} = 14,43 \cdot 14,04 + 106,93 \cdot 6,02$$

$$N_{L2} = 846,32 \text{ kW}$$

Možnost 3 – turbína jede na maximální výkon 24 h

Průtok přes regulátory respektive turbínu za den (Q_{VL3R} – průtok přes regulátory, Q_{VL3T} – průtok přes expanzní turbínu).

$$Q_{VL3R} = 999487 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

$$Q_{VL3T} = 1500000 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

Hmotnostní průtok plynu přes regulátory respektive turbínu ($\dot{m}_{L3R}$ – průtok přes regulátory, $\dot{m}_{L3T}$ – průtok přes expanzní turbínu).

$$\dot{m}_{L3R} = \frac{Q_{VL3R}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{L3T} = \frac{Q_{VL3T}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{L3R} = \frac{999487}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{L3T} = \frac{1500000}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{L3R} = 8,02 \text{ kg} / \text{s}$$

$$\dot{m}_{L3T} = 12,04 \text{ kg} / \text{s}$$

Výpočet potřebného výkonu předehřevu pro možnost 3.

$$N_{L3} = \Delta H_{LR} \cdot \dot{m}_{L3R} + \Delta H_{LT} \cdot \dot{m}_{L3T}$$

$$N_{L3} = 14,43 \cdot 8,02 + 106,93 \cdot 12,04$$

$$N_{L3} = 1403,17 \text{ kW}$$

4.1.3 Provozní doba kogeneračních jednotek při plném výkonu

Tepelný výkon kogeneračních jednotek.

$$N_{KJ} = 2298 \text{ kW}$$

Výpočet potřebné provozní doby kogeneračních jednotek při plném výkonu (značení t_{KJL1} pro možnost 1, t_{KJL2} pro možnost 2, t_{KJL3} pro možnost 3).

$$t_{KJL1} = \frac{N_{L1}}{N_{KJ}} \cdot 24$$

$$t_{KJL1} = \frac{289,47}{2298} \cdot 24$$

$$t_{KJL1} = 3,02 \text{ h}$$

$$t_{KJL2} = \frac{N_{L2}}{N_{KJ}} \cdot 24$$

$$t_{KJL2} = \frac{846,32}{2298} \cdot 24$$

$$t_{KJL2} = 8,84 \text{ h}$$

$$t_{KJL3} = \frac{N_{L3}}{N_{KJ}} \cdot 24$$

$$t_{KJL3} = \frac{1403,17}{2298} \cdot 24$$

$$t_{KJL3} = 14,65 \text{ h}$$

4.1.4 Spotřeba kogeneračních jednotek

Spotřeba kogeneračních jednotek při plném výkonu.

$$s_{KJ} = 495 \text{ Nm}^3 / \text{h}$$

Výpočet spotřeby kogeneračních jednotek (označení s_{KJL1} pro možnost 1, s_{KJL2} pro možnost 2, s_{KJL3} pro možnost 3).

$$s_{KJL1} = t_{KJL1} \cdot s_{KJ}$$

$$s_{KJL1} = 3,02 \cdot 495$$

$$s_{KJL1} = 1494,9 \text{ Nm}^3$$

$$s_{KJL2} = t_{KJL2} \cdot s_{KJ}$$

$$s_{KJL2} = 8,84 \cdot 495$$

$$s_{KJL2} = 4375,8 \text{ Nm}^3$$

$$s_{KJL3} = t_{KJL3} \cdot s_{KJ}$$

$$s_{KJL3} = 14,65 \cdot 495$$

$$s_{KJL3} = 7251,75 \text{ Nm}^3$$

4.1.5 Výkon vyráběné elektrické energie

Pomocí kogeneračních jednotek

Elektrický výkon kogeneračních jednotek.

$$v_{KJ} = 1632 \text{ kW}$$

Vyrobená elektrická energie pomocí kogeneračních jednotek (označení v_{KJL1} pro možnost 1, v_{KJL2} pro možnost 2, v_{KJL3} pro možnost 3).

$$v_{KJL1} = t_{KJL1} \cdot v_{KJ}$$

$$v_{KJL1} = 3,02 \cdot 1632$$

$$v_{KJL1} = 4928,64 \text{ kWh}$$

$$v_{KJL2} = t_{KJL2} \cdot v_{KJ}$$

$$v_{KJL2} = 8,84 \cdot 1632$$

$$v_{KJL2} = 14426,88 \text{ kWh}$$

$$v_{KJL3} = t_{KJL3} \cdot v_{KJ}$$

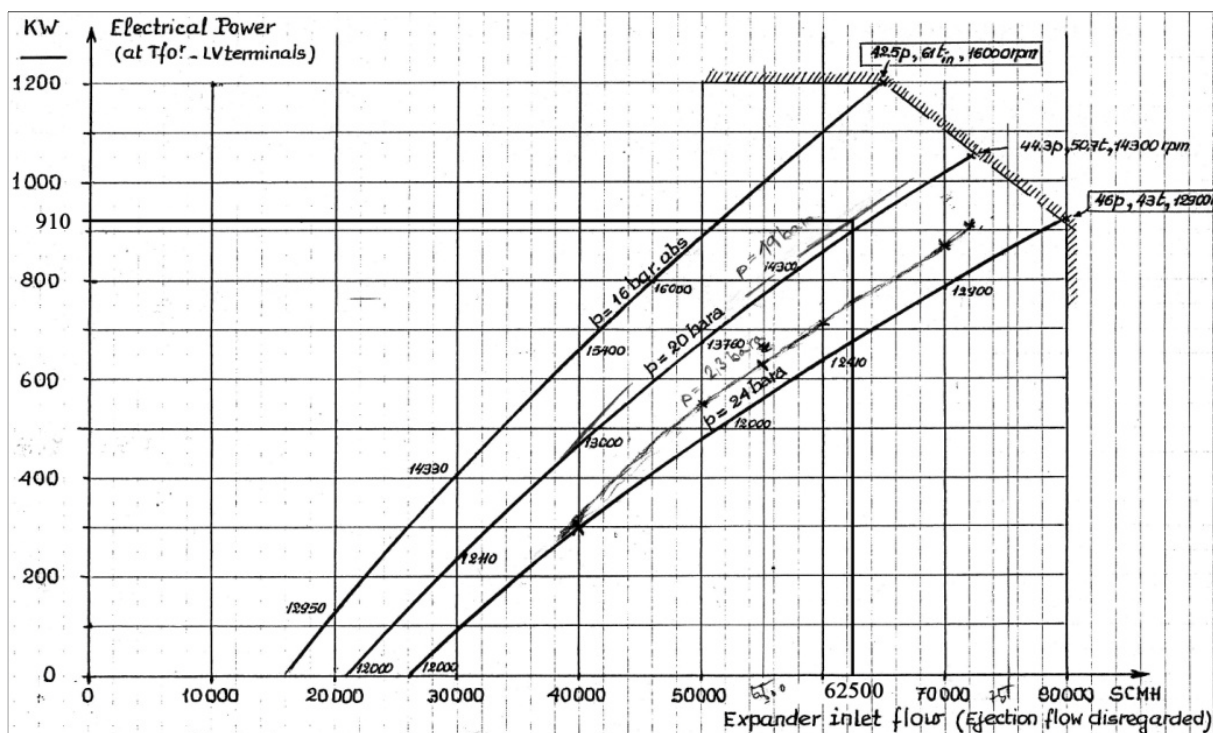
$$v_{KJL3} = 14,65 \cdot 1632$$

$$v_{KJL3} = 23908,8 \text{ kWh}$$

Pomocí turbíny

Elektrický výkon expanzní turbíny při maximálním průtoku.

$v_{TL} = 910 \text{ kW}$, hodnota elektrického výkonu byla zjištěna na základě Obr. 29.



Obr. 29 Diagram závislosti elektrického výkonu expanzní turbíny [6]

Vyrobená elektrická energie pomocí expanzní turbíny (označení v_{TL1} pro možnost 1, v_{TL2} pro možnost 2, v_{TL3} pro možnost 3).

$$\begin{aligned}v_{TL1} &= 0 \cdot v_{TL} & v_{TL2} &= 12 \cdot v_{TL} & v_{TL3} &= 24 \cdot v_{TL} \\v_{TL1} &= 0 \cdot 910 & v_{TL2} &= 12 \cdot 910 & v_{TL3} &= 24 \cdot 910 \\v_{TL1} &= 0 \text{ kWh} & v_{TL2} &= 10920 \text{ kWh} & v_{TL3} &= 21840 \text{ kWh}\end{aligned}$$

4.1.6 Finanční bilance s předeřevem realizovaným kogeneračními jednotkami

Výdaje

Nákupní cena plynu vztažena na 1 Nm^3 .

$$c_{P1} = 11,183 \text{ Kč} / \text{Nm}^3$$

Výpočet potřebných výdajů na expanzi zemního plynu s předeřevem realizovaným kogeneračními jednotkami (označení c_{VKJL1} pro možnost 1, c_{VKJL2} pro možnost 2, c_{VKJL3} pro možnost 3).

$$\begin{aligned}c_{VKJL1} &= s_{KJL1} \cdot c_{P1} & c_{VKJL2} &= s_{KJL2} \cdot c_{P1} & c_{VKJL3} &= s_{KJL3} \cdot c_{P1} \\c_{VKJL1} &= 1494,9 \cdot 11,183 & c_{VKJL2} &= 4375,8 \cdot 11,183 & c_{VKJL3} &= 7251,75 \cdot 11,183 \\c_{VKJL1} &= 16717,47 \text{ Kč} & c_{VKJL2} &= 48934,57 \text{ Kč} & c_{VKJL3} &= 81096,32 \text{ Kč}\end{aligned}$$

Příjmy

Smluvní cena prodeje elektrické energie (c_{KV} – cena ve vysokém tarifu, c_{KN} – cena v nízkém tarifu) a zelený bonus za vyrobenou elektrickou energii (c_{KOG} – bonus za elektrickou energii vyrobenou pomocí kogeneračních jednotek, c_{TUR} – bonus za elektrickou energii vyrobenou pomocí expanzní turbíny, c_{DV} – bonus za elektrickou energii vyrobenou decentrální výrobou).

$$\begin{aligned}c_{KV} &= 1,25 \text{ Kč} / \text{kWh} & c_{KN} &= 0,895 \text{ Kč} / \text{kWh} \\c_{KOG} &= 0,89 \text{ Kč} / \text{kWh} & c_{TUR} &= 0,045 \text{ Kč} / \text{kWh} \\c_{DV} &= 0,014 \text{ Kč} / \text{kWh}\end{aligned}$$

Výpočet příjmů získaných při expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami (označení c_{PKJL1} pro možnost 1, c_{PKJL2} pro možnost 2, c_{PKJL3} pro možnost 3).

$$\begin{aligned} c_{PKJL1} &= v_{KJL1} \cdot c_{KV} + v_{TL1} \cdot c_{KV} + v_{KJL1} \cdot (c_{KOG} + c_{DV}) + v_{TL1} \cdot (c_{TUR} + c_{DV}) \\ c_{PKJL1} &= 4928,64 \cdot 1,25 + 0 \cdot 1,25 + 4928,64 \cdot (0,89 + 0,014) + 0 \cdot (0,045 + 0,014) \\ c_{PKJL1} &= 10616,29 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{PKJL2} &= v_{KJL2} \cdot c_{KV} + v_{TL2} \cdot c_{KV} + v_{KJL2} \cdot (c_{KOG} + c_{DV}) + v_{TL2} \cdot (c_{TUR} + c_{DV}) \\ c_{PKJL2} &= 14426,88 \cdot 1,25 + 10920 \cdot 1,25 + 14426,88 \cdot (0,89 + 0,014) + 10920 \cdot (0,045 + 0,014) \\ c_{PKJL2} &= 45369,78 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{PKJL3} &= \frac{12}{t_{KJL3}} \cdot v_{KJL3} \cdot c_{KV} + \frac{t_{KJL3} - 12}{t_{KJL3}} \cdot v_{KJL3} \cdot c_{KN} + \frac{12}{24} \cdot v_{TL3} \cdot c_{KV} + \frac{12}{24} \cdot v_{TL3} \cdot c_{KN} + \\ &+ \frac{12}{t_{KJL3}} \cdot v_{KJL3} \cdot (c_{KOG} + c_{DV}) + \frac{12}{24} \cdot v_{TL3} \cdot (c_{TUR} + c_{DV}) \\ c_{PKJL3} &= \frac{12}{14,65} \cdot 23908,8 \cdot 1,25 + \frac{14,65 - 12}{14,65} \cdot 23908,8 \cdot 0,895 + \frac{12}{24} \cdot 21840 \cdot 1,25 + \frac{12}{24} \cdot 21840 \cdot 0,895 + \\ &+ \frac{12}{14,65} \cdot 23908,8 \cdot (0,89 + 0,014) + \frac{12}{24} \cdot 21840 \cdot (0,045 + 0,014) \\ c_{PKJL3} &= 70122,31 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Ztráta

Výpočet vydaných financí při expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami (označení c_{RKJL1} pro možnost 1, c_{RKJL2} pro možnost 2, c_{RKJL3} pro možnost 3).

$$\begin{aligned} c_{RKJL1} &= -c_{VKJL1} + c_{PKJL1} & c_{RKJL2} &= -c_{VKJL2} + c_{PKJL2} \\ c_{RKJL1} &= -16717,47 + 10616,29 & c_{RKJL2} &= -48934,57 + 45369,78 \\ c_{RKJL1} &= -6101,18 \text{ Kč} & c_{RKJL2} &= -3564,79 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{RKJL3} &= -c_{VKJL3} + c_{PKJL3} \\ c_{RKJL3} &= -81096,32 + 70122,31 \\ c_{RKJL3} &= -10974,01 \text{ Kč} \end{aligned}$$

4.1.7 Finanční bilance s předeřevem realizovaným kotly

Výdaje

Nákupní cena plynu vztažena na 1 kWh.

$$c_{p2} = 1,06 \text{ Kč} / \text{kWh}$$

Výpočet potřebných výdajů na expanzi zemního plynu s předeřevem realizovaným kotly (označení c_{VKL1} pro možnost 1, c_{VKL2} pro možnost 2, c_{VKL3} pro možnost 3).

$$c_{VKL1} = N_{L1} \cdot c_{p2} \cdot 24$$

$$c_{VKL1} = 289,47 \cdot 1,06 \cdot 24$$

$$c_{VKL1} = 7364,12 \text{ Kč}$$

$$c_{VKL2} = N_{L2} \cdot c_{p2} \cdot 24$$

$$c_{VKL2} = 846,32 \cdot 1,06 \cdot 24$$

$$c_{VKL2} = 21530,38 \text{ Kč}$$

$$c_{VKL3} = N_{L3} \cdot c_{p2} \cdot 24$$

$$c_{VKL3} = 1403,17 \cdot 1,06 \cdot 24$$

$$c_{VKL3} = 35696,64 \text{ Kč}$$

Příjmy

Výpočet příjmů získaných při expanzi zemního plynu s předeřevem realizovaným kotly (označení c_{PKL1} pro možnost 1, c_{PKL2} pro možnost 2, c_{PKL3} pro možnost 3).

$$c_{PKL1} = v_{TL1} \cdot (c_{KV} + c_{TUR} + c_{DV})$$

$$c_{PKL1} = 0 \cdot (1,25 + 0,045 + 0,014)$$

$$c_{PKL1} = 0 \text{ Kč}$$

$$c_{PKL2} = v_{TL2} \cdot (c_{KV} + c_{TUR} + c_{DV})$$

$$c_{PKL2} = 10920 \cdot (1,25 + 0,045 + 0,014)$$

$$c_{PKL2} = 14294,28 \text{ Kč}$$

$$c_{PKL3} = \frac{12}{24} \cdot v_{TL3} \cdot (c_{KV} + c_{TUR} + c_{DV}) + \frac{12}{24} \cdot v_{TL3} \cdot c_{KN}$$

$$c_{PKL3} = \frac{12}{24} \cdot 21840 \cdot (1,25 + 0,045 + 0,014) + \frac{12}{24} \cdot 21840 \cdot 0,895$$

$$c_{PKL3} = 24067,68 \text{ Kč}$$

Ztráta

Výpočet vydaných financí při expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kotly (označení c_{RKL1} pro možnost 1, c_{RKL2} pro možnost 2, c_{RKL3} pro možnost 3).

$$c_{RKL1} = -c_{VKL1} + c_{PKL1}$$

$$c_{RKL1} = -7364,12 + 0$$

$$c_{RKL1} = -7364,12 \text{ Kč}$$

$$c_{RKL2} = -c_{VKL2} + c_{PKL2}$$

$$c_{RKL2} = -21530,38 + 14294,28$$

$$c_{RKL2} = -7236,1 \text{ Kč}$$

$$c_{RKL3} = -c_{VKL3} + c_{PKL3}$$

$$c_{RKL3} = -35696,64 + 24067,68$$

$$c_{RKL3} = -11628,96 \text{ Kč}$$

Z předešlých výpočtů je zřejmé, že kogenerační jednotky ve spolupráci s expanzní turbínou ušetří mnoho tisíc korun denně. Je vidět, že provozní doba těchto strojů má velký vliv na úspory. Ze tří zkoumaných provozních dob vyšla nejvýhodněji dvanácti hodinová provozní doba expanzní turbíny. Finanční ztráta je při této provozní době a provozu kogeneračních jednotek a expanzní turbíny 3564,79 Kč. Tato částka však nemusí být nejnižší možná. Obsáhlejší analýzou se práce zabývá v kapitole 4.3 Rozšíření výpočtů pro získání optimálního chodu stanice.

4.2 Výpočty pro chod stanice v zimě

Vstupní a výstupní hodnoty teploty a tlaku zemního plynu.

$$t_{z0} = 2,6^\circ\text{C}$$

$$P_{z1} = 4,5 \text{ MPa}$$

$$t_{z2} = 3^\circ\text{C}$$

$$P_{z2} = 2,3 \text{ MPa}$$

4.2.1 Potřebná teplota předehřevu

Teplota předehřevu před regulátorem.

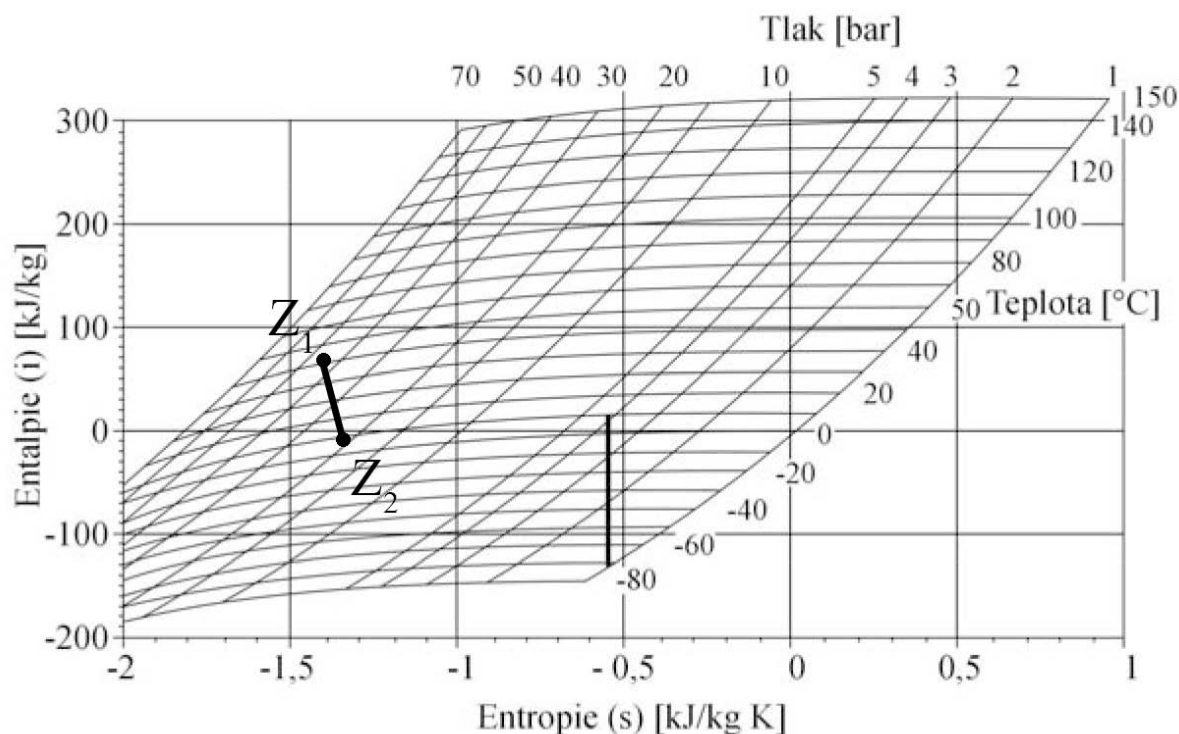
$$t_{ZR1} = 0,9 \cdot t_{z2} + 4 \cdot P_{z1} + 3 - \left(5 - \frac{P_{z1}}{10}\right) \cdot P_{z2}$$

$$t_{ZR1} = 0,9 \cdot 3 + 4 \cdot 4,5 + 3 - \left(5 - \frac{4,5}{10}\right) \cdot 2,3$$

$$t_{ZR1} = 13,24^\circ\text{C}$$

Elektrický výkon expanzní turbíny při maximálním průtoku.

$t_{ZT1} = 45^\circ\text{C}$ Teplota t_{ZT1} je určena pomocí vyznačeného děje v Mollierově diagramu.



Obr. 30 Mollierův diagram s vyznačeným dějem probíhajícím v expanzní turbíně [1]

4.2.2 Výkon přehřevu

Výpočet tepla, které je potřebné dodat 1kg plynu pro ohřev z teploty t_{L0} na potřebnou teplotu před regulací tlaku (ΔH_{ZR} – regulace pomocí regulátoru, ΔH_{ZT} – regulace pomocí expanzní turbíny)

$$\Delta H_{ZR} = \left(\frac{P_{Z1}}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (t_{ZR1} - t_{Z0})$$

$$\Delta H_{ZR} = \left(\frac{4,5}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (13,24 - 3)$$

$$\Delta H_{ZR} = 27,18 \text{ kJ / kg}$$

$$\Delta H_{ZT} = \left(\frac{P_{Z1}}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (t_{ZT1} - t_{Z0})$$

$$\Delta H_{ZT} = \left(\frac{4,5}{11,4} + 2,16 \right) \cdot (45 - 3)$$

$$\Delta H_{ZT} = 108,32 \text{ kJ / kg}$$

Hustota 1Nm^3 (15°C , $101\,325\text{ MPa}$) zemního plynu.

$$\rho = 0,6934 \text{ kg/m}^3$$

Možnost 1 – veškerý průtok přes regulátory

Průtok přes regulátory respektive turbínu za den (Q_{VZ1R} – průtok přes regulátory, Q_{VZ1T} – průtok přes expanzní turbínu).

$$Q_{VZ1R} = 3450990 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

$$Q_{VZ1T} = 0 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

Hmotnostní průtok plynu přes regulátory respektive turbínu ($\dot{m}_{Z1R}$ – průtok přes regulátory, $\dot{m}_{Z1T}$ – průtok přes expanzní turbínu).

$$\dot{m}_{Z1R} = \frac{Q_{VZ1R}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{Z1T} = \frac{Q_{VZ1T}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{Z1R} = \frac{3450990}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{Z1T} = \frac{0}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{Z1R} = 27,7 \text{ kg} / \text{s}$$

$$\dot{m}_{Z1T} = 0 \text{ kg} / \text{s}$$

Výpočet potřebného výkonu předehřevu pro možnost 1.

$$N_{Z1} = \Delta H_{ZR} \cdot \dot{m}_{Z1R} + \Delta H_{ZT} \cdot \dot{m}_{Z1T}$$

$$N_{Z1} = 27,18 \cdot 27,7 + 108,32 \cdot 0$$

$$N_{Z1} = 752,89 \text{ kW}$$

Možnost 2 – turbína jede na maximální výkon 12 h (ve vysokém tarifu)

Průtok přes regulátory respektive turbínu za den (Q_{VZ2R} – průtok přes regulátory, Q_{VZ2T} – průtok přes expanzní turbínu).

$$Q_{VZ2R} = 2700990 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

$$Q_{VZ2T} = 750000 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

Hmotnostní průtok plynu přes regulátory respektive turbínu ($\dot{m}_{Z2R}$ – průtok přes regulátory, $\dot{m}_{Z2T}$ – průtok přes expanzní turbínu).

$$\dot{m}_{Z2R} = \frac{Q_{VZ2R}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{Z2T} = \frac{Q_{VZ2T}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{Z2R} = \frac{2700990}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{Z2T} = \frac{750000}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{Z2R} = 21,68 \text{ kg} / \text{s}$$

$$\dot{m}_{Z2T} = 6,02 \text{ kg} / \text{s}$$

Výpočet potřebného výkonu předehřevu pro možnost 2.

$$N_{Z2} = \Delta H_{ZR} \cdot \dot{m}_{Z2R} + \Delta H_{ZT} \cdot \dot{m}_{Z2T}$$

$$N_{Z2} = 27,18 \cdot 21,68 + 108,32 \cdot 6,02$$

$$N_{Z2} = 1241,35 \text{ kW}$$

Možnost 3 – turbína jede na maximální výkon 24 h

Průtok přes regulátory respektive turbínu za den (Q_{VZ3R} – průtok přes regulátory, Q_{VZ3T} – průtok přes expanzní turbínu).

$$Q_{VZ3R} = 1950990 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

$$Q_{VZ3T} = 1500000 \text{ Nm}^3 / \text{d}$$

Hmotnostní průtok plynu přes regulátory respektive turbínu ($\dot{m}_{Z3R}$ – průtok přes regulátory, $\dot{m}_{Z3T}$ – průtok přes expanzní turbínu).

$$\dot{m}_{Z3R} = \frac{Q_{VZ3R}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{Z3T} = \frac{Q_{VZ3T}}{86400} \cdot \rho$$

$$\dot{m}_{Z3R} = \frac{1950990}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{Z3T} = \frac{1500000}{86400} \cdot 0,6934$$

$$\dot{m}_{Z3R} = 15,66 \text{ kg} / \text{s}$$

$$\dot{m}_{Z3T} = 12,04 \text{ kg} / \text{s}$$

Výpočet potřebného výkonu předehřevu pro možnost 3.

$$N_{Z3} = \Delta H_{ZR} \cdot \dot{m}_{Z3R} + \Delta H_{ZT} \cdot \dot{m}_{Z3T}$$

$$N_{Z3} = 27,18 \cdot 15,66 + 108,32 \cdot 12,04$$

$$N_{Z3} = 1729,81 \text{ kW}$$

4.2.3 Provozní doba kogeneračních jednotek při plném výkonu

Tepelný výkon kogeneračních jednotek.

$$N_{KJ} = 2298 \text{ kW}$$

Výpočet potřebné provozní doby kogeneračních jednotek při plném výkonu (značení t_{KJZ1} pro možnost 1, t_{KJZ2} pro možnost 2, t_{KJZ3} pro možnost 3).

$$t_{KJZ1} = \frac{N_{Z1}}{N_{KJ}} \cdot 24$$

$$t_{KJZ2} = \frac{N_{Z2}}{N_{KJ}} \cdot 24$$

$$t_{KJZ3} = \frac{N_{Z3}}{N_{KJ}} \cdot 24$$

$$t_{KJZ1} = \frac{752,89}{2298} \cdot 24$$

$$t_{KJZ2} = \frac{1241,35}{2298} \cdot 24$$

$$t_{KJZ3} = \frac{1729,81}{2298} \cdot 24$$

$$t_{KJZ1} = 7,86 \text{ h}$$

$$t_{KJZ2} = 12,96 \text{ h}$$

$$t_{KJZ3} = 18,07 \text{ h}$$

4.2.4 Spotřeba kogeneračních jednotek

Spotřeba kogeneračních jednotek při plném výkonu.

$$s_{KJ} = 495 \text{ Nm}^3 / h$$

Výpočet spotřeby kogeneračních jednotek (označení s_{KJZ1} pro možnost 1, s_{KJZ2} pro možnost 2, s_{KJZ3} pro možnost 3).

$$s_{KJZ1} = t_{KJZ1} \cdot s_{KJ}$$

$$s_{KJZ1} = 7,86 \cdot 495$$

$$s_{KJZ1} = 3890,7 \text{ Nm}^3$$

$$s_{KJZ2} = t_{KJZ2} \cdot s_{KJ}$$

$$s_{KJZ2} = 12,96 \cdot 495$$

$$s_{KJZ2} = 6415,2 \text{ Nm}^3$$

$$s_{KJZ3} = t_{KJZ3} \cdot s_{KJ}$$

$$s_{KJZ3} = 18,07 \cdot 495$$

$$s_{KJZ3} = 8944,65 \text{ Nm}^3$$

4.2.5 Výkon vyráběné elektrické energie

Pomocí kogeneračních jednotek

Elektrický výkon kogeneračních jednotek.

$$v_{KJ} = 1632 \text{ kW}$$

Vyrobená elektrická energie pomocí kogeneračních jednotek (označení v_{KJZ1} pro možnost 1, v_{KJZ2} pro možnost 2, v_{KJZ3} pro možnost 3).

$$v_{KJZ1} = t_{KJZ1} \cdot v_{KJ}$$

$$v_{KJZ1} = 7,86 \cdot 1632$$

$$v_{KJZ1} = 12827,52 \text{ kWh}$$

$$v_{KJZ2} = t_{KJZ2} \cdot v_{KJ}$$

$$v_{KJZ2} = 12,96 \cdot 1632$$

$$v_{KJZ2} = 21150,72 \text{ kWh}$$

$$v_{KJZ3} = t_{KJZ3} \cdot v_{KJ}$$

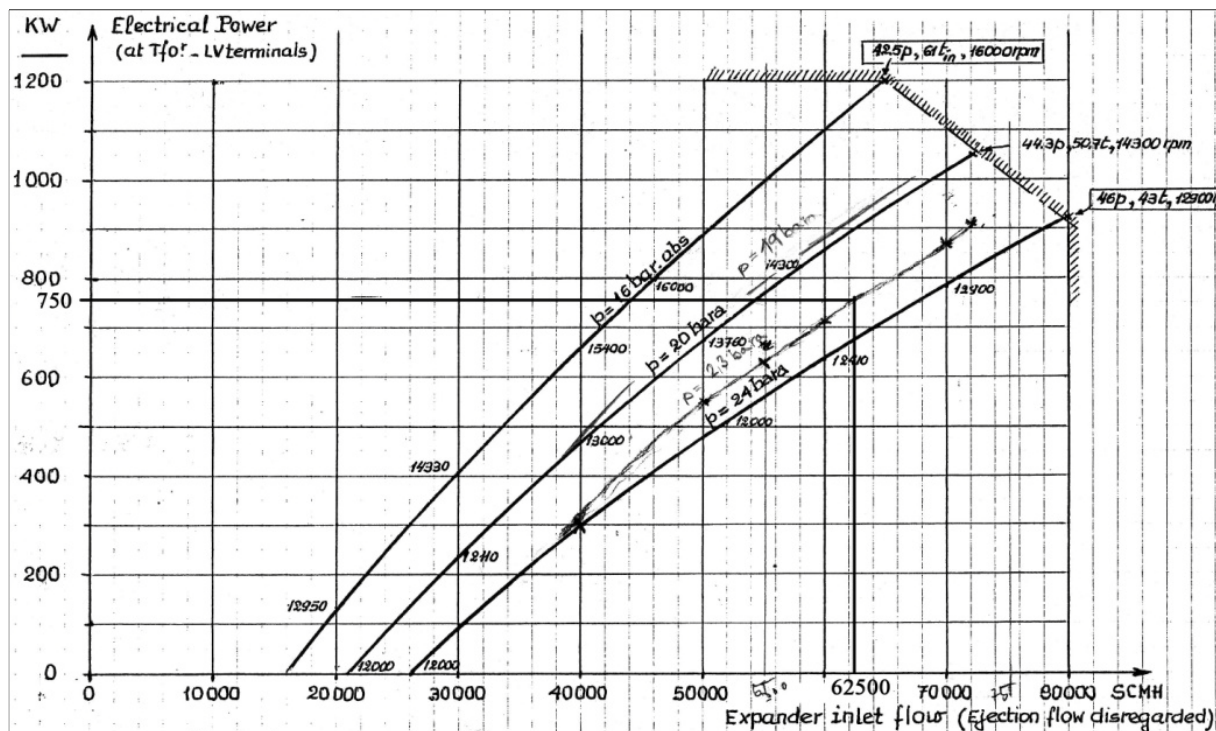
$$v_{KJZ3} = 18,07 \cdot 1632$$

$$v_{KJZ3} = 29490,24 \text{ kWh}$$

Pomocí turbíny

Elektrický výkon expanzní turbíny při maximálním průtoku.

$v_{TZ} = 750 \text{ kW}$, hodnota výkonu turbíny byla zjištěna na základě Obr. 31.



Obr. 31 Diagram závislosti elektrického výkonu expanzní turbíny [6]

Vyrobená elektrická energie pomocí expanzní turbíny (označení v_{TZ1} pro možnost 1, v_{TZ2} pro možnost 2, v_{TZ3} pro možnost 3).

$$\begin{aligned} v_{TZ1} &= 0 \cdot v_{TZ} & v_{TZ2} &= 12 \cdot v_{TZ} & v_{TZ3} &= 24 \cdot v_{TZ} \\ v_{TZ1} &= 0 \cdot 750 & v_{TZ2} &= 12 \cdot 750 & v_{TZ3} &= 24 \cdot 750 \\ v_{TZ1} &= 0 \text{ kWh} & v_{TZ2} &= 9000 \text{ kWh} & v_{TZ3} &= 18000 \text{ kWh} \end{aligned}$$

4.2.6 Finanční bilance s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami

Výdaje

Nákupní cena plynu vztažena na 1 Nm^3 .

$$c_{p1} = 11,183 \text{ Kč} / \text{Nm}^3$$

Výpočet potřebných výdajů na expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami (označení c_{VKJZ1} pro možnost 1, c_{VKJZ2} pro možnost 2, c_{VKJZ3} pro možnost 3).

$$\begin{aligned} c_{VKJZ1} &= s_{KJZ1} \cdot c_{P1} & c_{VKJZ2} &= s_{KJZ2} \cdot c_{P1} & c_{VKJZ3} &= s_{KJZ3} \cdot c_{P1} \\ c_{VKJZ1} &= 3890,7 \cdot 11,183 & c_{VKJZ2} &= 6415,2 \cdot 11,183 & c_{VKJZ3} &= 8944,65 \cdot 11,183 \\ c_{VKJZ1} &= 43509,7 \text{ Kč} & c_{VKJZ2} &= 71741,18 \text{ Kč} & c_{VKJZ3} &= 100028,02 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Příjmy

Výpočet příjmů získaných při expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami (označení c_{PKJZ1} pro možnost 1, c_{PKJZ2} pro možnost 2, c_{PKJZ3} pro možnost 3).

$$\begin{aligned} c_{PKJZ1} &= v_{KJZ1} \cdot c_{KV} + v_{TZ1} \cdot c_{KV} + v_{KJZ1} \cdot (c_{KOG} + c_{DV}) + v_{TZ1} \cdot (c_{TUR} + c_{DV}) \\ c_{PKJZ1} &= 12827,52 \cdot 1,25 + 0 \cdot 1,25 + 12827,52 \cdot (0,89 + 0,014) + 0 \cdot (0,045 + 0,014) \\ c_{PKJZ1} &= 27630,48 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{PKJZ2} &= \frac{12}{t_{KJZ2}} \cdot v_{KJZ2} \cdot c_{KV} + \frac{t_{KJZ2} - 12}{t_{KJZ2}} \cdot v_{KJZ2} \cdot c_{KN} + \frac{12}{24} \cdot v_{TZ2} \cdot c_{KV} + \frac{12}{24} \cdot v_{TZ2} \cdot c_{KN} + \\ &+ \frac{12}{t_{KJZ2}} \cdot v_{KJZ2} \cdot (c_{KOG} + c_{DV}) + \frac{12}{24} \cdot v_{TZ2} \cdot (c_{TUR} + c_{DV}) \\ c_{PKJZ2} &= \frac{12}{12,96} \cdot 21150,72 \cdot 1,25 + \frac{12,96 - 12}{12,96} \cdot 21150,72 \cdot 0,895 + 9000 \cdot 1,25 + \frac{12}{12,96} \cdot 21150,72 \cdot (0,89 + 0,014) + \\ &+ 9000 \cdot (0,045 + 0,014) \\ c_{PKJZ2} &= 55367,15 \text{ Kč} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{PKJZ3} &= \frac{12}{t_{KJZ3}} \cdot v_{KJZ3} \cdot c_{KV} + \frac{t_{KJZ3} - 12}{t_{KJZ3}} \cdot v_{KJZ3} \cdot c_{KN} + \frac{12}{24} \cdot v_{TZ3} \cdot c_{KV} + \frac{12}{24} \cdot v_{TZ3} \cdot c_{KN} + \\ &+ \frac{12}{t_{KJZ3}} \cdot v_{KJZ3} \cdot (c_{KOG} + c_{DV}) + \frac{12}{24} \cdot v_{TZ3} \cdot (c_{TUR} + c_{DV}) \\ c_{PKJZ3} &= \frac{12}{18,07} \cdot 29490,24 \cdot 1,25 + \frac{18,07 - 12}{18,07} \cdot 29490,24 \cdot 0,895 + \frac{12}{24} \cdot 18000 \cdot 1,25 + \frac{12}{24} \cdot 18000 \cdot 0,895 + \\ &+ \frac{12}{18,07} \cdot 29490,24 \cdot (0,89 + 0,014) + \frac{12}{24} \cdot 18000 \cdot (0,045 + 0,014) \\ c_{PKJZ3} &= 70886,02 \text{ Kč} \end{aligned}$$

Ztráta

Výpočet vydaných financí při expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami (označení c_{RKJZ1} pro možnost 1, c_{RKJZ2} pro možnost 2, c_{RKJZ3} pro možnost 3).

$$c_{RKJZ1} = -c_{VKJZ1} + c_{PKJZ1}$$

$$c_{RKJZ1} = -43509,7 + 27630,48$$

$$c_{RKJZ1} = -15879,22 \text{ Kč}$$

$$c_{RKJZ2} = -c_{VKJZ2} + c_{PKJZ2}$$

$$c_{RKJZ2} = -71741,18 + 55367,15$$

$$c_{RKJZ2} = -16374,03 \text{ Kč}$$

$$c_{RKJZ3} = -c_{VKJZ3} + c_{PKJZ3}$$

$$c_{RKJZ3} = -100028,02 + 70886,02$$

$$c_{RKJZ3} = -29142 \text{ Kč}$$

4.2.7 Finanční bilance s předehřevem realizovaným kotly

Výdaje

Nákupní cena plynu vztažena na 1 kWh.

$$c_{P2} = 1,06 \text{ Kč / kWh}$$

Výpočet potřebných výdajů na expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kotly (označení c_{VKZ1} pro možnost 1, c_{VKZ2} pro možnost 2, c_{VKZ3} pro možnost 3).

$$c_{VKZ1} = N_{Z1} \cdot c_{P2} \cdot 24$$

$$c_{VKZ1} = 752,89 \cdot 1,06 \cdot 24$$

$$c_{VKZ1} = 19153,52 \text{ Kč}$$

$$c_{VKZ2} = N_{Z2} \cdot c_{P2} \cdot 24$$

$$c_{VKZ2} = 1241,35 \cdot 1,06 \cdot 24$$

$$c_{VKZ2} = 31579,94 \text{ Kč}$$

$$c_{VKZ3} = N_{Z3} \cdot c_{P2} \cdot 24$$

$$c_{VKZ3} = 1729,81 \cdot 1,06 \cdot 24$$

$$c_{VKZ3} = 44006,37 \text{ Kč}$$

Příjmy

Výpočet příjmů získaných při expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kotly (označení c_{PKZ1} pro možnost 1, c_{PKZ2} pro možnost 2, c_{PKZ3} pro možnost 3).

$$c_{PKZ1} = v_{TZ1} \cdot (c_{KV} + c_{TUR} + c_{DV})$$

$$c_{PKZ1} = 0 \cdot (1,25 + 0,045 + 0,014)$$

$$c_{PKZ1} = 0Kč$$

$$c_{PKZ2} = v_{TZ2} \cdot (c_{KV} + c_{TUR} + c_{DV})$$

$$c_{PKZ2} = 9000 \cdot (1,25 + 0,045 + 0,014)$$

$$c_{PKZ2} = 11781Kč$$

$$c_{PKZ3} = \frac{12}{24} \cdot v_{TZ3} \cdot (c_{KV} + c_{TUR} + c_{DV}) + \frac{12}{24} \cdot v_{TZ3} \cdot c_{KN}$$

$$c_{PKZ3} = \frac{12}{24} \cdot 18000 \cdot (1,25 + 0,045 + 0,014) + \frac{12}{24} \cdot 18000 \cdot 0,895$$

$$c_{PKZ3} = 19836Kč$$

Ztráta

Výpočet vydaných financí při expanzi zemního plynu s předehřevem realizovaným kotly (označení c_{RKZ1} pro možnost 1, c_{RKZ2} pro možnost 2, c_{RKZ3} pro možnost 3).

$$c_{RKZ1} = -c_{VKZ1} + c_{PKZ1}$$

$$c_{RKZ1} = -19153,52 + 0$$

$$c_{RKZ1} = -19153,52Kč$$

$$c_{RKZ2} = -c_{VKZ2} + c_{PKZ2}$$

$$c_{RKZ2} = -34579,94 + 11781$$

$$c_{RKZ2} = -19798,94Kč$$

$$c_{RKZ3} = -c_{VKZ3} + c_{PKZ3}$$

$$c_{RKZ3} = -44006,37 + 19836$$

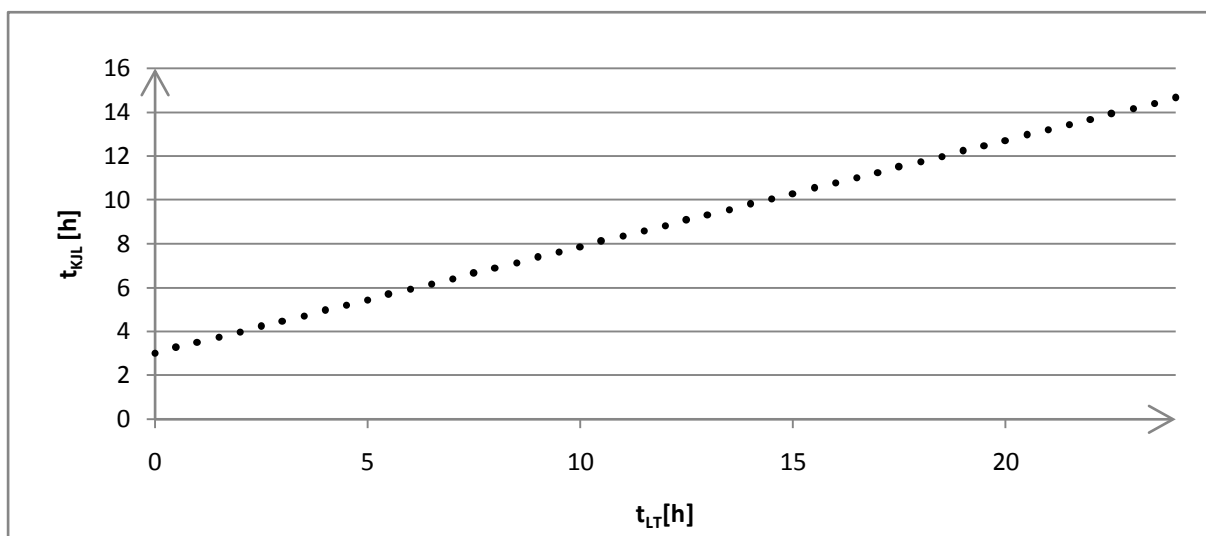
$$c_{RKZ3} = -24170,37Kč$$

Výpočet jasně ukazuje, že provoz stanice v zimním období je mnohem dražší než provoz stanice v létě. Tento fakt je zcela logický vzhledem k vstupní teplotě plynu do předregulační stanice. Z výpočtů vychází, že nejvýhodnější chod stanice vzhledem k třem zkoumaným možnostem vychází pro provozní čas turbíny 0 hodin. Cena za expanzi zemního plynu při této provozní době expanzní turbíny a předehřevu pomocí kogeneračních jednotek je 15 879,22 Kč. Toto však není celkově nejvýhodnější chod stanice. Nejvýhodnější nastavení chodu stanice je zjištěno v kapitole 4.3 Rozšíření výpočtů pro získání optimálního chodu stanice.

4.3 Rozšíření výpočtů pro získání optimálního chodu stanice

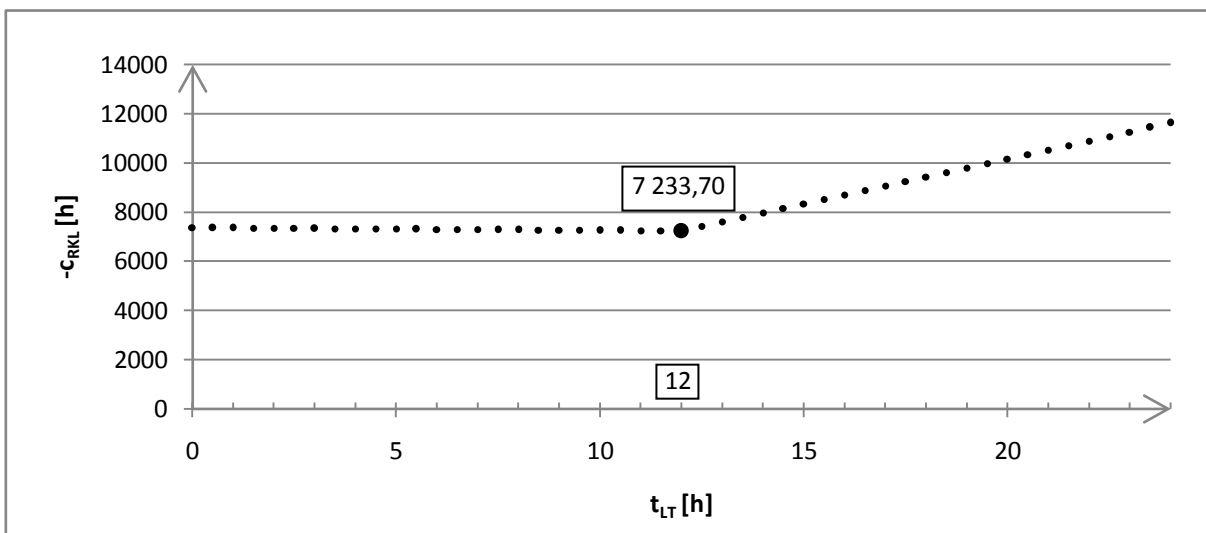
Stejným způsobem, jako byly spočteny hodnoty pro tři provozní časy z kapitol 4.1 a 4.2, jsem následně provedl výpočty pro dalších 46 provozních časů. Tyto výpočty už zde nejsou detailně popsány, ale výsledky jsou vyneseny v následujících grafech. Tímto krokem dostáváme celkově 49 hodnot, které již jsou dostatečné pro získání skutečných nejlepších provozních parametrů předregulační stanice Velké Němčice.

Letní chod stanice



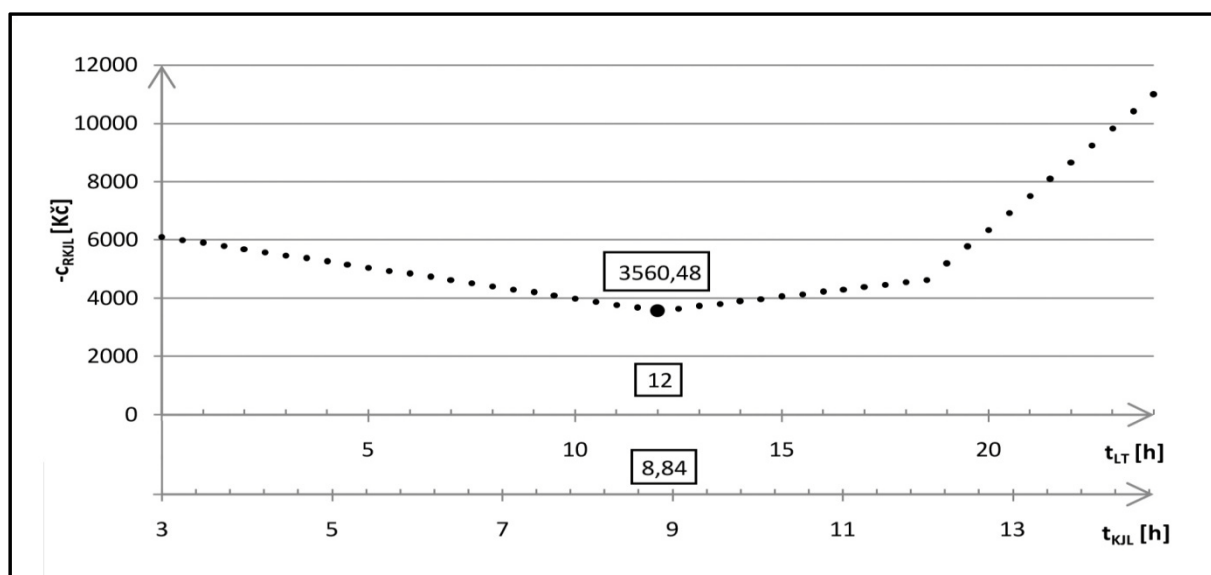
Obr. 32 Závislost provozní doby kogeneračních jednotek na provozní době turbíny v létě

Z Obr. 32 je zcela patrné, že závislost mezi provozní dobou expanzní turbíny a provozní dobou kogeneračních jednotek je lineární. Tato závislost vyplývá ze vztahu pro výpočet provozní doby kogeneračních jednotek.



Obr. 33 Závislost ceny za expanzi zemního plynu na provozní době turbíny s předehřevem realizovaným kotly v létě

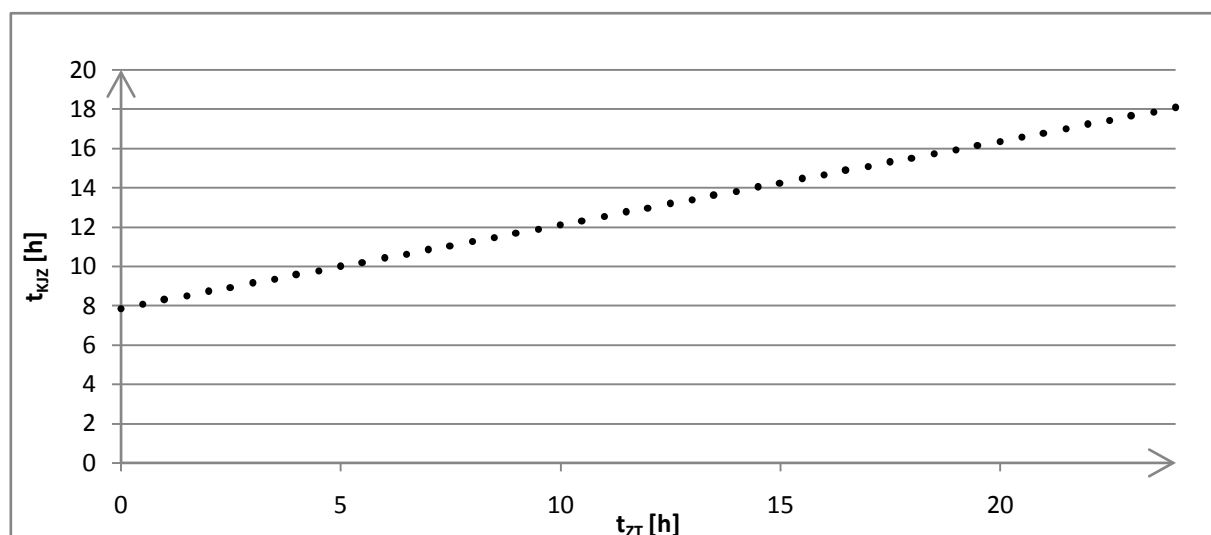
Na Obr. 32 je vidět, že ideální chod expanzní turbíny s předehřevem realizovaným kotly je dvanáct hodin.



Obr. 34 Závislost ceny za expanzi zemního plynu na provozní době turbíny a kogeneračních jednotek s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami v létě

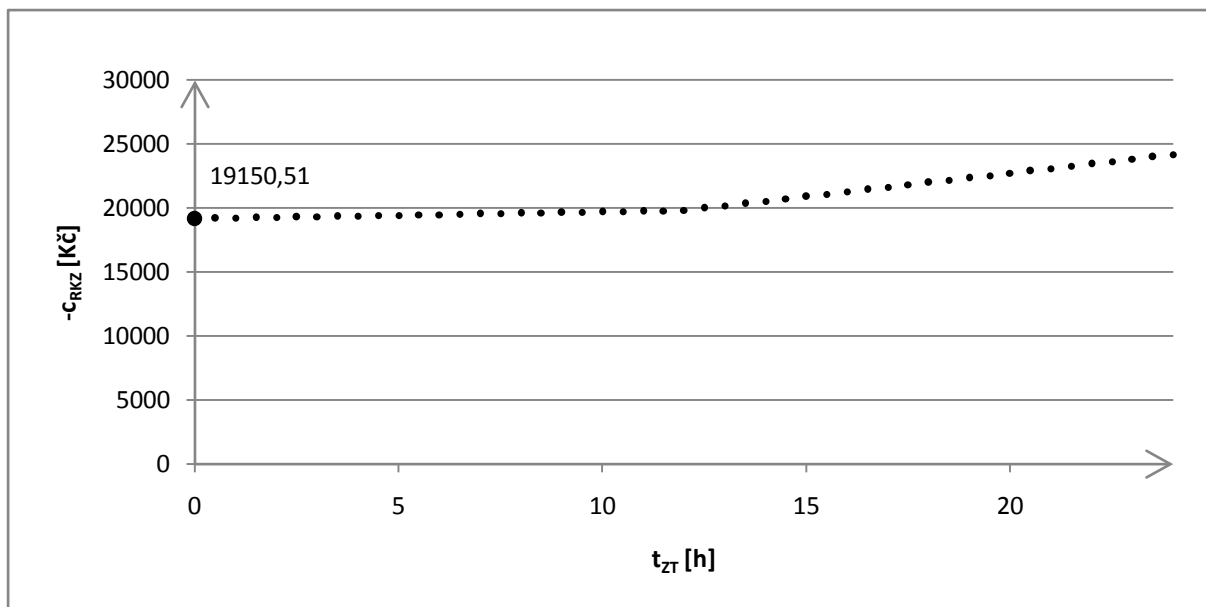
Nejdůležitější graf pro letní chod stanice je znázorněn na Obr. 34. Je zde vidět, že nejlepší možné nastavení letního chodu stanice je provozní dobu expanzní turbíny 12 hodin, čemuž odpovídá 8,84 hodiny provozu kogeneračních jednotek. Takto nastavenými parametry ušetří kogenerační jednotky 50,78% financí v porovnání s provozem expanzní turbíny společně s kotly. A dvanácti hodinový chod expanzní turbíny ušetří 41,7% financí v porovnání s nastavením bez provozu expanzní turbíny.

Zimní chod stanice



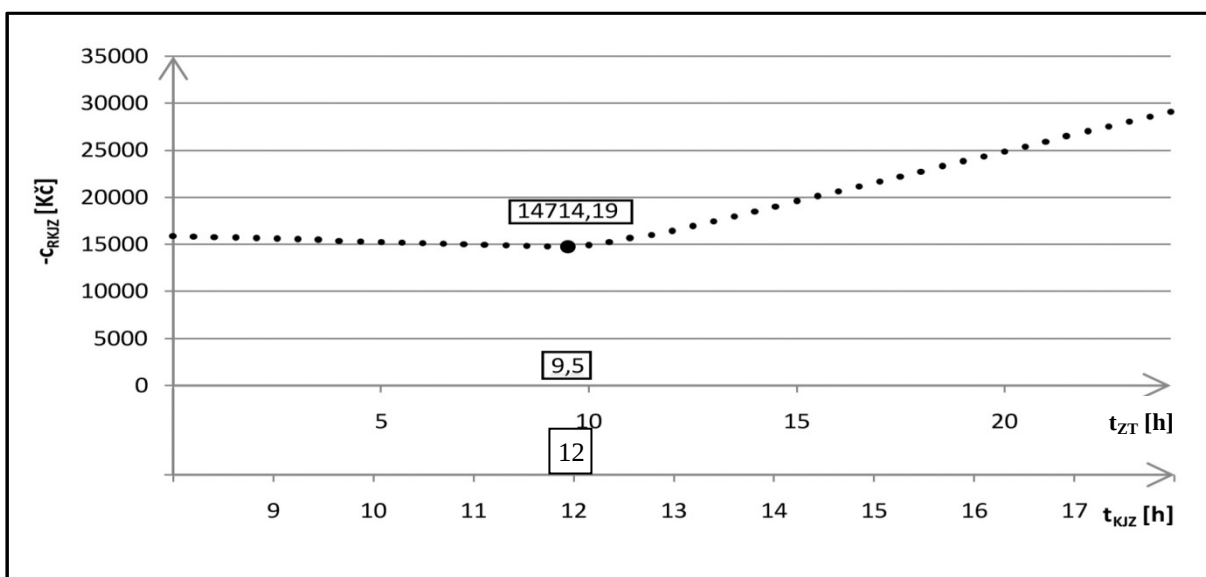
Obr. 35 Závislost provozní doby kogeneračních jednotek na provozní době turbíny v zimě

Obr. 35 ukazuje závislost mezi provozní dobou kogeneračních jednotek a provozní dobou expanzní turbíny, která je v zimním chodu lineární. Ovšem tato závislost má jiné parametry než obdobná závislost pro letní období.



Obr. 37 Závislost ceny za expanzi zemního plynu na provozní době turbíny s předehřevem realizovaným kotly v zimě

Obr. 37 ukazuje, že provoz expanzní turbíny v kombinaci s kotly se nevyplácí. K tomuto nastavení předregulační stanice také nedochází a vždy se preferuje předehřev pomocí kogeneračních jednotek.



Obr. 36 Závislost ceny za expanzi zemního plynu na provozní době turbíny a kogeneračních jednotek s předehřevem realizovaným kogeneračními jednotkami v zimě

Nejlépe je vyjádřen ideální zimní provoz předregulační stanice Velké Němčice na Obr. 36. V grafu je možné vyčíst, že v zimním období bude optimální provozní doba expanzní turbíny 9,5 hodin a kogeneračních jednotek 12 hodin. Tento chod kogeneračních jednotek ušetří 23,17% výdajů v porovnání s chodem s kotly. Chod expanzní turbíny pak ušetří 7,36% financí oproti chodu, kdy by se veškerý tlak redukoval pomocí regulátorů.

5 Závěr

Snížení tlaku zemního plynu je možné dosáhnout dvěma způsoby. Prvním způsobem je expanze pomocí regulátoru. Proces probíhající uvnitř regulátoru se nazývá škrcení. Při tomto procesu dochází k poklesu tlaku za konstantní entalpie. Tento děj také provází snížení teploty, což popisuje Joule-Thomsonův efekt. Druhým způsobem je snížení tlaku pomocí expanzní turbíny. Děj, který zde probíhá, se blíží izoentropické expanzi. Výhoda tohoto způsobu je v přeměně tlakové energie plynu na elektrickou energii. Nevýhodou je nutný přehřev, který musí být mnohem vyšší než u předešlého způsobu. Pro názornost uvažujme redukci tlaku plynu ze 4,5MPa na 2MPa a výstupní teplotu 3°C. Pro takovou expanzi zemního plynu pomocí regulátoru je nutný přehřev přibližně na 15°C. Pro stejný případ je teplota přehřevu před expanzní turbínou okolo 50°C.

Pro výpočet ideálního provozu předregulační stanice Velké Němčice byly uvažovány dvě roční období, kdy se výrazně liší parametry této expanze. Kvůli zjednodušení výpočtu nejsou zahrnuty ztráty systému přehřevu a přehřev pomocí chladicího oleje z turbíny. Tyto faktory však mají velmi malý vliv na výsledky, takže je lze zanedbat. Z grafů pak je patrné, jak je očekáváno, že doba chodu kogeneračních jednotek a doba chodu expanzní turbíny jsou lineárně závislé. Pro letní provoz stanice bylo zjištěno, že při ideální provozní době ušetří kogenerační jednotky 50,78% financí oproti ideálnímu provozu bez nich. A optimální nastavení chodu expanzní turbíny ušetří 41,7% financí oproti chodu, kde by se snižoval tlak zemního plynu pouze pomocí regulátorů. V zimním období pak tyto rozdíly nejsou tak velké. Chod kogeneračních jednotek ušetří 23,17% a chod expanzní turbíny 7,36%. Zimní provoz stojí 4,13 krát víc než letní provoz stanice. Nižší úspory v zimním období jsou dány vyšším rozdílem teploty na vstupu do předregulační stanice a teploty po přehřevu a nižším tlakovým spádem, který zásadně ovlivňuje výkon expanzní turbíny. Ve výpočtu se také projevuje vysoký a nízký tarif elektrické energie a fakt, že elektrická energie vyrobená expanzí zemního plynu je dotována pouze velmi malou hodnotou zeleného bonusu (hodnota zeleného bonusu pro elektrickou energii vyráběnou pomocí kogeneračních jednotek je 19,78 krát vyšší).

Nakonec lze tedy konstatovat, že v letním období by měla být optimální doba chodu kogeneračních jednotek 8,84 hodiny a doba chodu turbíny 12 hodin. V zimním období by měl být chod kogeneračních jednotek nastaven na 12 hodin, čemuž odpovídá 9,5 hodiny chodu expanzní turbíny.

6 Seznam použitých zdrojů

- [1] SVOBODA, Alexandr a autorský kolektiv. Plynárenská příručka: 150 let plynárenství v Čechách na Moravě. 1. vyd. Praha: GAS s.r.o., 1997. 1192 s. ISBN 80-902339-6-1.
- [2] SOLAŘÍKOVÁ, Olga; LOMECKÝ, Antonín; PETRŽILKA, Oldřich; PŘIBYLA, Zdeněk; BRANDEJSOVÁ, Eliška; JOCHOVÁ, Eva. Plynárenství v kostce. 1. vyd. Praha: GAS s.r.o., 2011. 158 s. ISBN 978-80-7328-240-0.
- [3] PETRLÍK, Jiří. Instalace zařízení pro rozvod a použití plynu. 1. vyd. Říčany u Prahy: GAS s.r.o., 2003. 263 s. ISBN 80-86176-84-3.
- [4] FÍK, Josef. Zemní plyn. 1.vyd. Praha: Agentura ČSTZ, s.r.o., 2006. 355s. ISBN 80-86028-22-4.
- [5] TPG: G702 04: 2007. Plynovody a přípojky. GAS s.r.o., 2007. 53s. ISBN 978-80-7328-081-9
- [6] Místní provozní řád pro předregulační stanici VELKÉ NĚMČICE. Brno: Jihomoravská plynárenská, a.s., 2009.
- [7] POŽIVIL, Jaroslav. Využití tlaku zemního plynu k výrobě elektrické energie. Slovgas [online]. 2005, [cit. 25.4.2013] Dostupné na WWW: <http://www.szn.sk/Slovgas/Casopis/2005/1/2005_1_09.pdf>
- [8] KOZA, Václav. Zemní plyn [online]. 2004. [cit. 19.4.2013]. Dostupné z <<http://zemniplyn.wz.cz/>>
- [9] Gas pressure regulators [online]. [cit. 12.4.2013]. Dostupné z < <http://www.heat.at/>>
- [10] Plynové armatury [online]. [cit. 12.4.2013]. Dostupné z < <http://www.sca.cz/plynovky.htm>>
- [11] Natural Gas Regulators [online]. [cit. 17.4.2013]. Dostupné z <<http://www.norgascontrols.com/natural-gas-regulator.asp>>

7 Seznam použitých zkratk a symbolů

symbol	popis	jednotka
ΔH_{AB}	teplo, které je potřebné dodat 1 kg plynu pro ohřev z teploty t_{A0} na teplotu t_{AB1}	kJ/kg
C_{DV}	cena zeleného bonusu za necentrální výrobu elektrické energie (pouze ve vysokém tarifu)	Kč/kWh
C_{KN}	cena komodity v nízkém tarifu	Kč/kWh
C_{KOG}	cena zeleného bonusu za výrobu elektrické energie pomocí kogeneračních jednotek (pouze ve vysokém tarifu)	Kč/kWh
C_{KV}	cena komodity ve vysokém tarifu	Kč/kWh
C_{P1}	nákupní cena plynu vztažena na 1Nm^3	Kč/Nm ³
C_{P2}	nákupní cena plynu vztažena na 1 kWh	Kč/kWh
C_{PKAC}	příjmy při přehřevu realizovaném kotly	Kč
C_{PKJAC}	příjmy při přehřevu realizovaném kogeneračními jednotkami	Kč
C_{RKAC}	obrat při přehřevu realizovaném kotly	Kč
C_{RKJAC}	obrat při přehřevu realizovaném kogeneračními jednotkami	Kč
C_{TUR}	cena zeleného bonusu za výrobu elektrické energie pomocí turbíny (pouze ve vysokém tarifu)	Kč/kWh
C_{VKAC}	výdaje při přehřevu realizovaném kotly	Kč
C_{VKJAC}	výdaje při přehřevu realizovaném kogeneračními jednotkami	Kč
$\dot{m}_{ACB}$	hmotnostní průtok plynu	kg/s
N_{AC}	potřebný výkon přehřevu	kW
N_{KJ}	tepelný výkon kogeneračních jednotek při plném výkonu	kW
P_{A1}	vstupní tlak plynu do předávací stanice	MPa
P_{A2}	výstupní tlak plynu z předávací stanice	MPa
Q_{VACB}	objemový průtok plynu	Nm ³ /d
S_{KJ}	spotřeba kogeneračních jednotek při plném výkonu	Nm ³ /h
S_{KJAC}	spotřeba kogeneračních jednotek	Nm ³
t_{A0}	vstupní teplota plynu do předávací stanice	°C
t_{A2}	výstupní teplota plynu z předávací stanice	°C
t_{AB1}	teplota plynu po přehřevu	°C
t_{KJAC}	provozní doba kogeneračních jednotek při plném výkonu	h
t_{TAC}	provozní doba turbíny	h

V_{KJ}	elektrický výkon kogeneračních jednotek při plném výkonu	kW
V_{KJAC}	vyrobená elektrická energie pomocí kogeneračních jednotek	kWh
V_{TA}	výkon turbíny při plném výkonu	kW
V_{TAC}	vyrobená elektrická energie pomocí turbíny	kWh
ρ	hustota 1Nm ³ (15°C, 101 325MPa) zemního plynu	kg/m ³

index A – označení pro výpočet v létě nebo v zimě (L, Z)

index B – označení pro výpočet regulátoru nebo turbíny (R, T)

index C – označení pro možnost výpočtu (1, 2, 3)