

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
ENERGY INSTITUTE

# ANALÝZA HLTNOSTI POJISTNÉHO VENTILU NA NAPÁJECÍ VODĚ

THE FEEDWATER SAFETY VALVE FLOW CAPACITY ANALYSIS

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. MICHAELA FIALOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. HUGO ŠEN

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2010/2011

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Michaela Fialová

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Energetické inženýrství (2301T035)**

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

### **Analýza hlnosti pojistného ventilu na napájecí vodě**

v anglickém jazyce:

### **The feedwater safety valve flow capacity analysis**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Na jaderné elektrárně s reaktorem VVER 440 jsou parní generátory napájeny vodou o teplotě cca 220 °C. Ohřev vody z napájecí nádrže na tuto teplotu zajišťují vysokotlaké ohříváky (VTO). Při přechodu výkonu bloku JE z nominální hodnoty na výkon rovný vlastní spotřebě bloku může při následném současném uzavření všech napájecích hlav dojít ke zvýšení přetlaku uzavřené vody v napájecím potrubí. To je způsobeno ohřátím vody zbytkovým výkonem VTO a zpětným přestupem tepla do vody z nahřátého potrubí; tento proces je označován jako termické natlakování potrubí napájecí vody. Úkolem je výpočtově ověřit možný nárůst tlaku a schopnost stávajících pojistných ventilů plnit svoji funkci.

Cíle diplomové práce:

- 1) Vyhodnotit příspěvek zvýšení tlaku v napájecím potrubí od zpětného přestupu tepla z nahřátého potrubí a zbytkového výkonu VTO.
- 2) Výpočtově ověřit schopnost stávajících pojistných ventilů zabránit překročení tlaku v napájecím potrubí nad stanovenou mez při předpokládaných scénářích přechodových procesů, případně navržení nových pojistných ventilů o větší hlnosti.

Seznam odborné literatury:

- Poruchová událost "Ostrovni režim" na 3.bloku EDU dne 3.8.2006 (hlášenka o poruše obsluhy 3. reaktorového bloku)
- Analýza ostrovního provozu EDU ze dne 3.8.2006 (TES s.r.o)
- Design basis dokument pojistného ventilu na potrubí napájecí vody JE Dukovany (ÚJV ŘEŽ)
- Analýza dostatečnosti PV (TPo 5708)
- skripta Sekundární část JE VVER440, část 2, Ing. Karel Škranc

Vedoucí diplomové práce: Ing. Hugo Šen

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

V Brně, dne 17.11.2010

L.S.

---

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.  
Děkan fakulty



## ABSTRAKT

V diplomové práci posuzuji dostatečnou hltnost pojistného ventilu vysokotlakého ohřívačku na JE Dukovany pro případ termického tlakování napájecí vody ve vysokotlakém ohřívačku. Uvádím základní možné případy termického tlakování jak samotného uzlu vysokotlakého ohřívačku, tak i rozšířeného tlakovaného celku v případě uzavření všech napájecích hlav do PG.

## ABSTRACT

In this thesis I review the sufficient flow capacity of the safety valve against high-pressure heater thermal pressurization in high-pressure feedwater heater on nuclear power Dukovany. I present basic possible cases of thermal pressurization both a high node heater, and the extended pressure unit in case of closure all power heads to steam generators.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Parogenerátor, napájecí čerpadlo, napájecí nádrž, výtláčný kolektor, vysokotlaký ohřívaček, pojistný ventil, napájecí kolektor, napájecí hlava.

## KEYWORDS

Steam generator, feed pump, feed-water tank, discharge collector, high-pressure heater, safety valve, power collector, the power head.



## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

FIALOVÁ, M. *Analýza hltnosti pojistného ventilu na napájecí vodě*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 58 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Hugo Šen.



## ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Analýza hltnosti pojistného ventilu na napájecí vodě vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

V Brně dne 27. května 2011

.....  
Bc. Michaela Fialová



## PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Hugo Šenovi, vedoucímu diplomové práce, za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

Rovněž děkuji panu Ing. Slavíkovi za pomoc při získávání potřebných podkladů a za čas věnovaný konzultacím.

## OBSAH

|                                                                                                                      |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. ÚVOD .....</b>                                                                                                 | <b>10</b> |
| <b>2. JADERNÁ ELEKTRÁRNA DUKOVANY .....</b>                                                                          | <b>11</b> |
| <b>3. POPIS FUNKCE SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU .....</b>                                                                     | <b>12</b> |
| 2.1. ZÁKLADNÍ ZAŘÍZENÍ SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU .....                                                                     | 14        |
| 2.2. STRUČNÝ POPIS NAPÁJENÍ PAROGENERÁTORŮ NA<br>ELEKTRÁRNĚ DUKOVANY .....                                           | 16        |
| 2.3. VYSOKOTLAKÁ REGENERACE .....                                                                                    | 17        |
| 2.3.1. Popis funkce systému vysokotlaké regenerace .....                                                             | 17        |
| 2.3.2. Popis a umístění zařízení vysokotlaké regenerace .....                                                        | 18        |
| 2.3.3. Vysokotlaký ohřívač s integrálním podchlazovačem .....                                                        | 18        |
| 2.3.4. Pojistný ventil a jeho umístění .....                                                                         | 19        |
| <b>4. ANALÝZA OSTROVNÍHO PROVOZU DNE 3. 8. 2006 .....</b>                                                            | <b>20</b> |
| <b>5. VSTUPNÍ HODNOTY PRO ANALÝZU .....</b>                                                                          | <b>22</b> |
| 5.1. VÝPOČET OBJEMŮ VODY VE VYSOKOTLAKÉM OHŘÍVÁKU .....                                                              | 23        |
| 5.2. OBJEM VODY V POTRUBÍ MEZI VTO A PŘED A ZA VTO<br>(PO ELEKTRICKÉ ARMATURY 131.1,2 A 133.1,2) .....               | 24        |
| 5.3. CELKOVÝ OBJEM VODY A OBJEM OHŘÍVANÉ VODY<br>V Odstaveném VTO1,2 PRO JEDEN TG .....                              | 24        |
| 5.4. OBJEM VODY V POTRUBÍ ZA VTO2 PO NAPÁJECÍ HLAVY .....                                                            | 25        |
| 5.5. DÉLKY POTRUBÍ OD ARMATURY 133.1,2 PO NAPÁJECÍ<br>KOLEKTOR (OHŘÍVANÁ VODA) - ODHAD .....                         | 25        |
| 5.6. OBJEM VODY V POTRUBÍ A HMOTNOST POTRUBÍ ZA VTO .....                                                            | 25        |
| 5.7. OBJEM VODY V POTRUBÍ A HMOTNOST POTRUBÍ PŘED<br>VTO + OCHOZ VTO .....                                           | 26        |
| 5.8. OBJEM VODY V TLAKOVÉM CELKU OD ZPĚTNÉ KLAPKY<br>ELEKTRONAPAJEČKY PO NAPÁJECÍ HLAVY (S06) VČETNĚ<br>VTO1,2 ..... | 26        |
| 5.9. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ UZAVŘENÉHO OBJEMU VODY .....                                                                 | 26        |
| <b>6. MOŽNOSTI TERMICKÉHO TLAKOVÁNÍ VTO A POTRUBÍ<br/>NAPÁJECÍ VODY .....</b>                                        | <b>28</b> |
| 6.1. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ PŘI UZAVŘENÍ VODY VE VTO<br>A NEUZAVŘENÍ PÁRY .....                                          | 28        |
| 6.1.1. Uzavření vody o nominální teplotě ve VTO1,2 a neuzavření<br>páry (nebo otevření páry do uzavřené vody) .....  | 28        |
| 6.1.2. Bez funkčního pojistného ventilu .....                                                                        | 28        |
| 6.1.3. Při funkčním pojistném ventilu .....                                                                          | 29        |
| 6.2. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ ZBYTKOVÝM TEPLEM PO Odstavení<br>NAHŘÁTÉHO VYSOKOTLAKÉHO OHŘÍVÁKU .....                      | 30        |

|                                                                                                                    |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 6.2.1. Ohřev napájecí vody kondenzátem topné páry .....                                                            | 30        |
| 6.2.2. Ohřev napájecí vody od nahřátého konstrukčního materiálu .....                                              | 31        |
| 6.2.3. Ohřev napájecí vody z parního prostoru.....                                                                 | 31        |
| 6.3. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ NAPÁJECÍHO POTRUBÍ PŘI VÝPADKU TOPENÍ<br>VE VTO A NÁSLEDNÉM UZAVŘENÍ NAPÁJECÍCH HLAV ..... | 32        |
| 6.3.1. Uzavření napájecích hlav při nominálním výkonu bloku a plném<br>výkonu VTO1, 2.....                         | 33        |
| 6.3.2. Uzavření napájecích hlav po předchozím výpadku VTO .....                                                    | 34        |
| 6.4. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ VTO NEBO NAPÁJECÍHO POTRUBÍ PŘI<br>ZVÝŠENÉ FREKVENCI SÍTĚ .....                            | 37        |
| 6.4.1. Termické tlakování vto při uzavření napájecí vody o vyšším než<br>nominálním tlaku .....                    | 38        |
| 6.4.2. Termické tlakování vto a napájecího potrubí při zvýšené<br>frekvenci sítě.....                              | 38        |
| 6.5. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ PŘI OSTROVNÍM REŽIMU 3.8.2006 .....                                                        | 41        |
| 6.5.1. Termické tlakování zbytkovým teplem z VTO.....                                                              | 44        |
| 6.5.2. Termické tlakování od nahřátého potrubí za VTO .....                                                        | 45        |
| 6.5.3. Vyhodnocení průběhu termického tlakování ze dne 3.8.2006 .....                                              | 46        |
| <b>7. ZÁVĚR.....</b>                                                                                               | <b>49</b> |

## 1. ÚVOD

Při ostrovním provozu, který nastal na jaderné elektrárně Dukovany dne 3. 8. 2006, došlo na 3. reaktorovém bloku k uzavření tlakového celku napájecí vody. Hranice systému tvořily na jedné straně uzavřené napájecí hlavy do parogenerátorů a na druhé straně zpětné klapky na výtlaku napájecích a havarijních čerpadel. Napájecí čerpadla tak pracovala do uzavřeného tlakového celku. Vlivem zvýšené frekvence sítě došlo i ke zvýšení tlaku na výtlaku napájecích čerpadel z důvodu zvýšení jejich otáček. Tlak napájecího potrubí byl zvýšen nad projektovou hodnotu 9,2 MPa až na hodnotu 9,85 MPa.

I když v tlakovém celku jsou dva pojistné ventily, které chrání vysokotlaké ohříváky, s otevíracími tlaky 8,2 MPa a plným otevření 9,2 MPa, nestačily tyto pojistné ventily k tomu, aby zabránily nárůstu tlaku nad maximální dovolenou hodnotu.

Na 1., 2. a 4. reaktorovém bloku nedošlo k uzavření napájecí vody do parogenerátorů, nedošlo ke vzniku uzavření tlakového celku napájecí vody a tím ani ke zvýšení tlaku nad maximální hodnotu.

V této práci budu vyhodnocovat příspěvek zvýšení tlaku v napájecím potrubí od zpětného přestupu tepla z nahřátého potrubí a zbytkového výkonu vysokotlakých ohříváků (termické tlakování). Výpočtově ověřím schopnost stávajících pojistných ventilů zabránit překročení tlaku v napájecím potrubí.

## 2. JADERNÁ ELEKTRÁRNA DUKOVANY

Jaderná elektrárna Dukovany je první provozovanou jadernou elektrárnou v České republice a patří mezi největší, vysoce spolehlivé a ekonomicky výhodné energetické zdroje ČEZ, a. s. Roční výroba elektrické energie se pohybuje okolo 13,5 TWh, což představuje asi 20% z celkové spotřeby elektřiny v České republice. V porovnání s ostatními významnými výrobci vyrábí elektrárna Dukovany elektřinu s nejnižšími měrnými náklady.

V Jaderné elektrárně Dukovany jsou instalovány čtyři tlakovodní reaktory. Projektové označení těchto reaktorů je VVER 440/213. VVER znamená Vodou chlazený, Vodou moderovaný Energetický Reaktor. Každý ze čtyř reaktorů má tepelný výkon 1375 MW. Dvojice bloků má v současnosti elektrický výkon 460 MW a druhá dvojice disponuje výkonem 500 MW.

Elektrárna je uspořádána do dvou hlavních výrobních bloků. V každém z nich jsou dva reaktory se všemi přímo souvisejícími zařízeními včetně strojovny s turbínami a generátory. [6]



Obrázek 1: Jaderná elektrárna Dukovany [6]

### 3. POPIS FUNKCE SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU

Tepelné schéma sekundárního okruhu je projektováno takovým způsobem, že vytváří možnost provozovat jadernou elektrárnu o velikém výkonu v relativně značném rozsahu výkonových hladin. Elektrárna ovšem může pracovat pouze jako zdroj elektrické energie, vyvedení části tepelné energie je v rozsahu nutném pro technologickou potřebu a pro potřeby vytápění objektů elektrárny, maximální odběr tepla pro ohřev topné vody z jednoho reaktorového bloku 14,5 MWt.

Každý jaderněenergetický blok VVER 440 MW je vybudován jako duoblok, to znamená, že tepelnou energii uvolněnou v jednom jaderném reaktoru zpracovávají v sekundární části dvě turbosoustroje. Na primární okruh navazují dva paralelní sekundární okruhy, které mají některé systémy buď společné anebo sice samostatné, ale v některých režimech pracují separátně, v jiných společně.

Při provozu bloku na 100% se do sekundárního okruhu předává 1375 MW tepelné energie. Toto množství umožňuje vyrobit v každém ze šesti parogenerátorů 452 tun syté páry za hodinu o teplotě 256°C při tlaku 4,7 MPa.

Ke každému turbosoustroji se potom dopravuje tato, tzv. ostrá pára, pomocí dvojice parovodů 1356 t/hod. s tím, že na vstupu do turbíny má tlak 4,32 MPa.

Parní turbína je třítělesová, složená z jednoho vysokotlakého dílu a dvou nízkotlakých dílů.

Protože pára proudící vysokotlakým dílem parní turbíny předá část tepelné energie turbíně, která ji přemění na energii mechanickou – část páry zkondenzuje. Tato vlhkost dosahuje cca 10% a musí být z páry ještě před vstupem do nízkotlakých dílů parní turbíny odstraněna. Pára vystupující z vysokotlakého dílu, o tlaku 0,5 MPa, teplotě asi 150°C a vlhkosti 13%, je proto zavedena do dvojice separátorů – přehříváčů, kde dochází k odloučení vlhkosti a k jejímu dvoustupňovému přehřátí nad mez sytosti. Výstupní teplota této páry dosahuje 216 – 218°C. K přehřátí páry se využívá odběrová pára ze VII. a VIII. odběru.

Ze separátorů – přehříváčů se 870 t/hod přehřáté pracovní páry zavádí do nízkotlakých dílů parní turbíny pod tlakem 0,45 MPa. Zde dochází k další přeměně tepelné energie na mechanickou.

Z nízkotlakých dílů parní turbíny pára proudí difuzorovými hrdly do dvoutělesového kondenzátoru, který je součástí systému kondenzace. Pod každým nízkotlakým dílem parní turbíny je umístěn jeden jeho díl. Z nízkotlakých dílů parní turbíny proudí do kondenzátoru 2 x 376 tun páry za hodinu o vlhkosti 10%.

Cirkulační chladicí voda, která odvádí ze sekundárního okruhu zbytkovou (nevyužitelnou) nízkopotenciální tepelnou energii (kondenzační teplo), je přiváděna dvojicí potrubí nejprve do tělesa kondenzátoru umístěného pod druhým nízkotlakým dílem parní turbíny a následně, pomocí propojovacích potrubí, do jeho druhé části. Kondenzátorem za hodinu protéká 35000 m<sup>3</sup>/hod. Cirkulační chladicí voda může mít teplotu, na vstupu do kondenzátoru, v rozsahu 14,5 – 32°C, nominální teplota je 20°C.

Odváděním kondenzačního tepla z této páry dochází k její kondenzaci, při tlaku 5 kPa v prvním, resp. 7 kPa ve druhém stupni kondenzátoru.

Kondenzát stéká do sběračů kondenzátu (do dolní části obou dílů kondenzátoru), odkud je odváděn do sání kondenzátních čerpadel. První stupeň kondenzátních čerpadel – trojice čerpadel, která pracují v režimu 2 + 1, má za úkol protlačit kondenzát přes iontové filtry blokové úpravy kondenzátu. Druhý stupeň kondenzátních čerpadel – opět trojice čerpadel, pracují v režimu 2 + 1, potom dopravuje přečištěný kondenzát přes nízkotlakou regeneraci do tepelné úpravy vody.

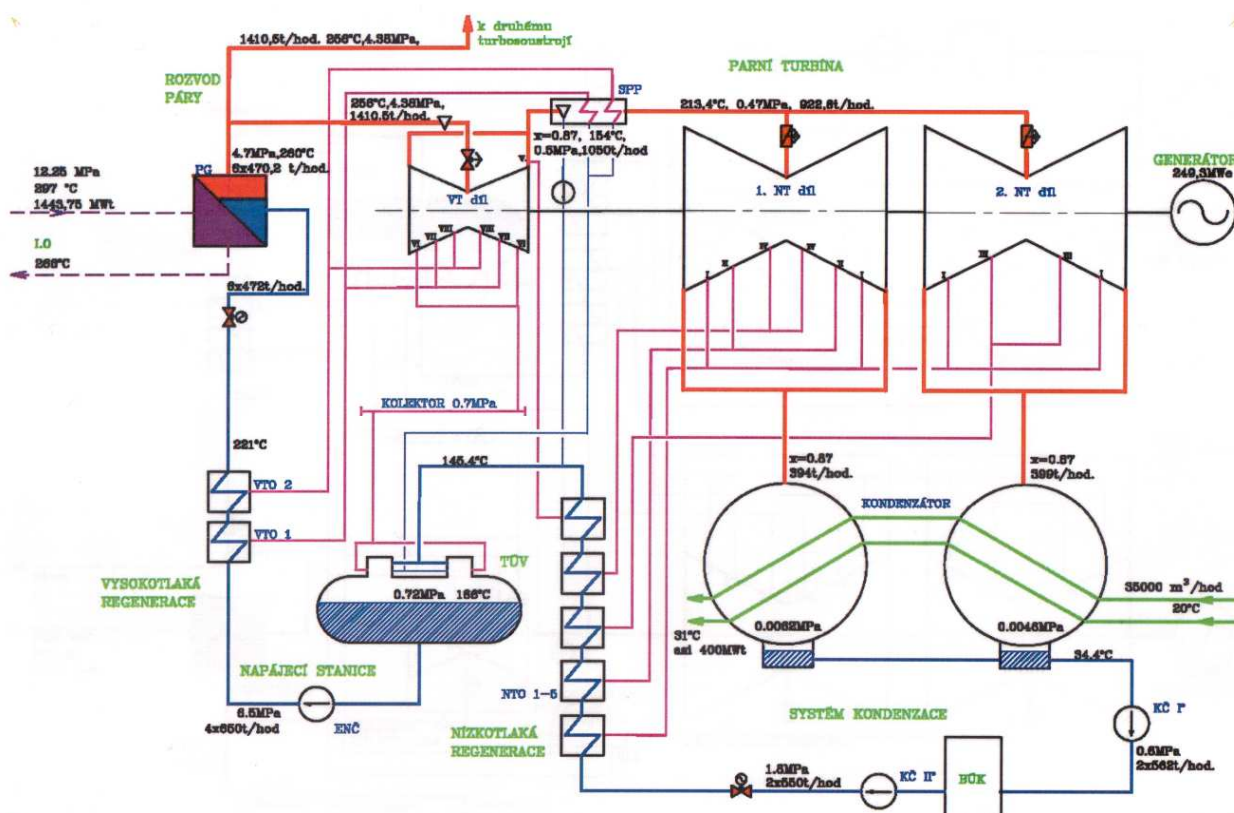
Kondenzát protékající nízkotlakou regenerací, která je tvořena zjednodušeně pěti sériově zapojenými ohříváky, se postupně ohřívá, parou přicházející z neregulovaných odběrů parní turbíny I.- V., na teplotu 143°C.

Z nízkotlaké regenerace přitéká kondenzát do tepelné úpravy vody, kde se v současné době pouze dohřívá (neodplyňuje) ve dvou termických odplyňovačích, vyhříváných parou z kolektoru 0,7 MPa a potom stéká do napájecí nádrže. V napájecí nádrži je napájecí voda udržována na teplotě 165°C, při tlaku 0,7 MPa. Objem napájecí nádrže je dimenzován na cca 5 minut provozu bloku při jmenovitém výkonu.

Systém napájení parogenerátorů, je složen z několika systémů, jedna z jeho hlavních částí je napájecí stanice. V napájecí stanici je pro zajištění normálního provozu pět napájecích čerpadel. Čerpadla pracují v režimu 4 + 1, každé má výkon 650 t/hod, při tlaku na výtlaku 6,5 MPa. Napájecí stanice dopravuje napájecí vodu z napájecí nádrže, přes vysokotlakou regeneraci, hlavní napájecí kolektor a napájecí hlavy, do parogenerátorů.

Ve vysokotlaké regeneraci se napájecí voda přehřívá na teplotu 222°C, pomocí páry ze VII. a VIII. odběru parní turbíny. Tento ohřev umožňuje provozovat reaktorový blok ve vyšších výkonových hladinách bez zbytečného tepelného namáhání teplosměnných ploch parogenerátorů a hlavně s vyšší tepelnou účinností.

Z vysokotlakých regenerací obou větví sekundárního okruhu je ohřátá napájecí voda zaváděna do hlavního napájecího kolektoru v množství 2700 t/hod. Dále je napájecí voda vedena přes napájecí hlavy, kde dochází ke zregulování jejího průtoku, podle aktuální potřeby. V ustáleném režimu proudí do každého z parogenerátorů cca 460 tun napájecí vody za hodinu. [2]



Obrázek 1: Tepelné schéma sekundárního okruhu [2]

## 2.1. ZÁKLADNÍ ZAŘÍZENÍ SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU

Sekundárním okruhem v jaderné elektrárně je nazýván systém zařízení, který umožňuje přeměnit tepelnou energii páry v mechanickou energii rotoru parní turbíny.

Základními zařízeními tohoto okruhu jsou:

- turbína a generátor
- kondenzátor
- kondenzátní a napájecí čerpadla
- nízkotlaké a vysokotlaké regenerační ohříváky
- odplyňovače a napájecí nádrže (odplyňovací nádrže)

### Turbína a generátor

Rotační tepelný motor, v němž se vnitřní energie páry přeměňuje na rotační mechanickou energii rotoru turbíny. U rovnotlakých turbín se tlakový spád páry mění v rozváděcích lopatkách statoru na kinetickou energii páry, která je předávána prostřednictvím oběžných lopatek rotoru. Rotor turbíny je spojen s rotorem generátoru, kde se transformuje kinetická energie rotoru na energii elektrickou. [6]



Obrázek 2: Turbína a generátor [6]

### Kondenzátor

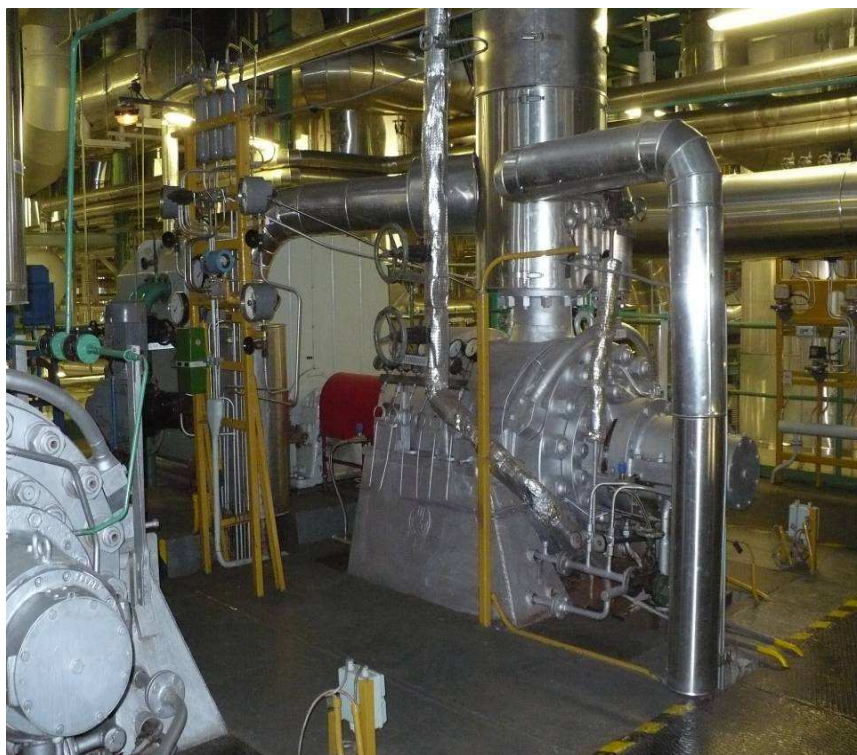
Tepelný výměník, v němž pára po expanzi v turbíně a po ochlazení chladicí vodou kondenzuje. Přiléhá těsně ke spodní části nízkotlakého dílu turbíny. Pára opouštějící turbínu prochází mezi trubkami, jimiž protéká chladicí voda, a na jejich povrchu kondenzuje. Zkondenzovaná pára (kondenzát) je kondenzátními čerpadly přes úpravu kondenzátu, regenerační výměníky a odplynění dopravována do parogenerátoru. [6]



Obrázek 3: Kondenzátor [6]

### Kondenzátní a napájecí čerpadla

Kondenzátní čerpadla slouží k čerpání kondenzátu z kondenzátorů turbín přes nízkotlaké regenerační ohříváky do odplynovací nádrže. Napájecí čerpadla dopravují napájecí odplyněnou vodu z odplynovací nádrže přes vysokotlaké regenerační ohříváky do parogenerátoru a současně zvyšují tlak napájecí odplyněné vody na tlak generované páry. [6]



Obrázek 4: Napájecí čerpadla

**Nízkotlaké a vysokotlaké regenerační ohříváky**

Tepelné výměníky, ve kterých pára z neregulovaných regeneračních odběrů turbíny předává své kondenzační teplo kondenzátu nebo napájecí vodě parogenerátoru a tím se zvyšuje ekonomie provozu.[6]

**Odplyňovače a napájecí nádrže (odplyňovací nádrže)**

Odplyňovače s napájecí nádrží tvoří samostatnou soustavu tlakových nádob. V odplyňovačích dojde k ohřátí kondenzátu z nízkotlaké regenerace na bod varu a k odplynění a odvedení nezkondenzovatelných plynů pomocí brýd. V napájecí nádrži se shromažďuje odplyněný kondenzát z nízkotlaké regenerace, kondenzát topné páry ze sběrače kondenzátu prvního stupně, odseparovaný kondenzát ze separátoru - přehříváče. Napájecí nádrž slouží jako zdroj napájecí vody pro PG. Okamžitá zásoba odplyněné napájecí vody stačí na cca 5 minut provozu turbosoustrojí na nominálním výkonu.

**2.2. STRUČNÝ POPIS NAPÁJENÍ PAROGENERÁTORŮ NA JADERNÉ ELEKTRÁRNĚ DUKOVANY**

Za normálního provozu jednoho bloku je šest parogenerátorů, jsou napájeny napájecí vodou o teplotě 222°C a tlaku 6,5 MPa o celkovém množství 2700 t/h.

Pomocí pěti napájecích čerpadel (jedno je rezervní) je dodávána voda ze dvou napájecích nádrží o teplotě 165°C do výtlačného kolektoru. Dále se voda rozděluje na dvě paralelní větve, ve kterých se voda ohřívá ve dvou vysokotlakých ohřívácích až na teplotu 222°C. Obě větve se potom spojují do napájecího kolektoru. Jednotlivé parogenerátory přes napájecí hlavy jsou samostatně zásobovány z napájecího kolektoru. Pro každý parogenerátor jsou vždy dvě napájecí hlavy (malá a velká), které se skládají z regulačního ventilu a uzavírací armatury. Za regulačním ventilem se potrubí z malé a velké napájecí hlavy spojuje a přes další uzavírací armaturu vstupuje do parogenerátoru. Velká napájecí hlava se využívá za nominálního stavu bloku a malá napájecí hlava se používá pouze pro nižší výkony a při náběhu a odstavování bloku.

Při odpojení od vnější sítě dochází ke zregulování výkonu bloku až na vlastní spotřebu. Vysokotlaké ohříváky jsou vytápěny parou z odběrů turbogenerátorů. Vlivem snížení výkonu turbín dochází ke ztrátě topení těchto vysokotlakých ohříváků a k poklesu napájecí vody pro napájení parních generátorů až na teplotu napájecí nádrže (165°C), protože vysokotlaké ohříváče už netopí.

Při ostrovním provozu (rozpadu vnější sítě) dochází pomocí automatik ostrovního provozu ke zregulování výkonu bloku podle frekvence v daném ostrově. Frekvence odpovídá disproporci mezi výrobou a spotřebou, kterou se snaží automatiky bloku zregulovat na nominální (50 Hz). [2]

## 2.3. VYSOKOTLAKÁ REGENERACE

### 2.3.1. POPIS FUNKCE SYSTÉMU VYSOKOTLAKÉ REGENERACE

Napájecí voda, z výtlačku napájecích čerpadel, vstupuje do vysokotlakého ohřívače číslo 1 (VTO1), kde je ohřívána topnou parou ze VII. neregulovaného odběru parní turbíny. Nejprve vstupuje do podchlazovače, který tvoří část teplosměnné plochy ohřívače zapojené ke vstupní části vodní komory. Zde se napájecí voda předehtívá odebráním zbytkového tepla z kondenzátu z topné páry, který tuto plochu omývá do určité regulované výšky hladiny. Nad touto hladinou je do napájecí vody předáváno kondenzační teplo z páry výše uvedeného odběru. Průchodem přes VTO1 se napájecí voda ohřívá, při jmenovitém výkonu parní turbíny, asi na 189°C.

Voda je dále vedena do vysokotlakého ohřívače číslo 2 (VTO2), který je konstrukčně shodný s VTO1. Do VTO2 je přiváděna topná pára z VIII. neregulovaného odběru parní turbíny. Teplota napájecí vody na výstupu z VTO2 je při nominálním výkonu parní turbíny asi 222°C.

V případě, že je vysokotlaká regenerace odstavena z provozu, proudí napájecí voda obtokem.

Kondenzát z topné páry z podchlazovače VTO2 natéká do expandéru, kde se expanzí vyrovnává tlak na úroveň VII. odběru. Kondenzát z topné páry je kaskádován do VTO1, pára z expandéru je zaváděna do odběrového potrubí před VTO1.

Z výstupu VTO1 je kondenzát z topné páry odváděn do napájecí nádrže. Při nízkém výkonu parní turbíny, kdy tlak páry ve VTO1 nezajistí transport kondenzátu do napájecí nádrže, je kondenzát z topné páry přepouštěn do expandéru provozních kondenzátů (EPK). [2]



Obrázek 5: Vysokotlaké ohřívačky

### 2.3.2. POPIS A UMÍSTĚNÍ ZAŘÍZENÍ VYSOKOTLAKÉ REGENERACE

Napájecí voda z výtlaku hlavních napájecích čerpadel bloku vstupuje elektroarmaturou 3.04.7.131.1(2) a dvěma paralelními potrubími s ručními armaturami 3.04.7.481.1(3) a 2(4) do VTO1 s podchlazovačem zařazeným v sérii ke kondenzační teplosměnné ploše VTO1. Voda ve VTO1 je ohřívána topnou parou ze VII. neregulovaného odběru turbosoustrojí. Ohřátá napájecí voda na cca 189°C při jmenovitém tepelném zatížení turbosoustrojí vstupuje do VTO2, který je vyhříván topnou parou z VIII. neregulovaného odběru turbosoustrojí. Do série ke kondenzační teplosměnné ploše VTO2 je zařazen podchlazovač kondenzátu topné páry.

Ohřátá napájecí voda na cca 222°C při jmenovitém tepelném zatížení turbosoustrojí vstupuje z VTO2 dvěma paralelními potrubími a je přiváděna přes clonu pro měření množství k napájecímu kolektoru PG.

Kondenzát topné páry z VTO1 je společně s kondenzátem topné páry VTO2 odváděn do napájecí nádrže. Při nižším zatížení turbosoustrojí, kdy tlak páry ve VTO1 nezajistí transport kondenzátu do napájecí nádrže přepouštěn do expandéru provozních kondenzátů turbosoustrojí. Odvzdušnění VTO1 a VTO2 je zavedeno přes elektroventil do expandéru provozních kondenzátů. Kondenzát topné páry z VTO2 do uvolňovače u VTO1 je regulován regulačním elektroventilem. Uvolněná pára po expanzi kondenzátu v uvolňovači je zavedena do přívodního potrubí odběrové páry pro VTO1, kondenzát je zaveden do parního prostoru VTO1 nad hladinovou regulací. Při dosažení poruchové hladiny ve VTO1 nebo VTO2 je VT regenerace odstavena uzavřením elektroarmatur v přívodních potrubích topné páry u VTO1 a VTO2. [2]

### 2.3.3. VYSOKOTLAKÝ OHŘÍVAČ S INTEGRÁLNÍM PODCHLAZOVAČEM

Ohříváč zajišťuje ohřev napájecí vody pomocí kondenzačního tepla předávaného z odběrové páry s využitím předeřevu pomocí zabudovaného podchlazovače.

Vertikální, svařovaná, válcová nádoba, na spodní straně uzavřená kulovým dnem s průlezem. Teplosměnnou plochu tvoří svazek trubek zaválcovaných a zavařených do trubkovnice umístěné nad kulovým dnem. Nad trubkovnicí v parním prostoru je umístěný podchlazovač.

Vstup páry je jedním hrdlem shora, odvod kondenzátu z topné páry je z boku. Vstup a výstup napájecí vody je proveden hrdly umístěnými ve dne ohříváče.

Vysokotlaký ohřívák je regenerační, vertikální ohřívák celosvařované konstrukce. Je tvořen parním prostorem válcového tvaru zakončeným klenutým vysokotlakým dnem, trubkovým svazkem s trubkovnicí a vodní komorou, sestávající z válcové části a půlkulového dna. Do horní části parního prostoru je v ose navařené hrdlo pro vstup topné odběrové páry, ve spodní části je hrdlo pro napojení potrubí pro odvod vychlazeného kondenzátu topné páry z podchlazovače. VTO1 je proveden s hrdlem pro přívod kondenzátu topné páry z uvolňovače, kam je zaveden kondenzát topné páry z výstupu podchlazovače VTO2. Spodní část pláště je přivařena ke kruhové trubkovnici. Trubky trubkového svazku jsou zaválcovány a zavařeny těsníci svary v trubkovnici. Trubky teplosměnné plochy jsou tvaru U. Rozteč trubek je udržována příčnými horizontálními mezistěnami z nerezového plechu. Kondenzát je odváděn dvěma obdélníkovými sběrnými kolektory na spodní část parního prostoru.

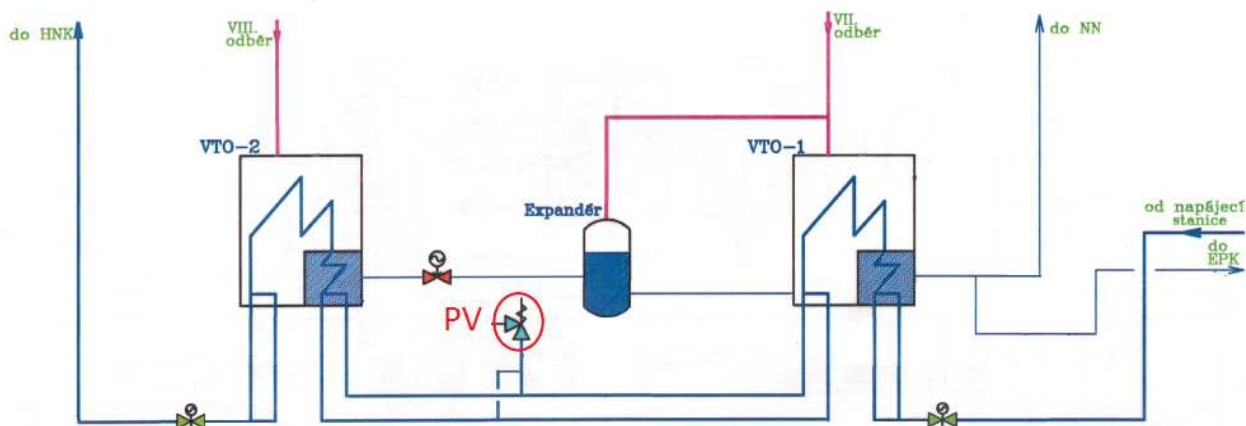
Trubkový svazek je vyztužený osmi nosnými trubkami a dvěma zesílenými příčnými mezistěnami. Polovinu spodní části parního prostoru vytváří zabudovaný podchlazovač kondenzátu topné páry, kde je teplem získaným podchlazením kondenzátu topné páry přehřívána napájecí voda před vstupem do kondenzační plochy VTO.

Vodní komora je vytvořena válcovou částí a půlkulovou vodní komorou se čtyřmi trubkovými oblouky pro vstup a výstup napájecí vody. Vodní komora je rozdělena přepážkou na dvě poloviny s osovým průřezem.

Pro odvod inertních plynů z parního prostoru ohříváku je ve vertikální ose trubkového svazku zabudována trubka s otvory a dvěma přípojkami nad hladinou kondenzátu v ohříváku. Odvzdušnění parního prostoru VTO1 a 2 je napojeno na expandér provozních kondenzátů, odvzdušnění vodní komory a vypouštění parního prostoru VTO1 je provedeno otvory v trubkovnici s napojením na sběrné potrubí do vypouštěcí nádrže. Pro vizuální kontrolu trubek teplosměnné plochy jsou na plášti dvě zaslepená hrdla. Trubkový svazek je v ose pláště ustaven pomocí dvanácti ustavujících šroubů. [2]

#### 2.3.4. POJISTNÝ VENTIL A JEHO UMÍSTĚNÍ

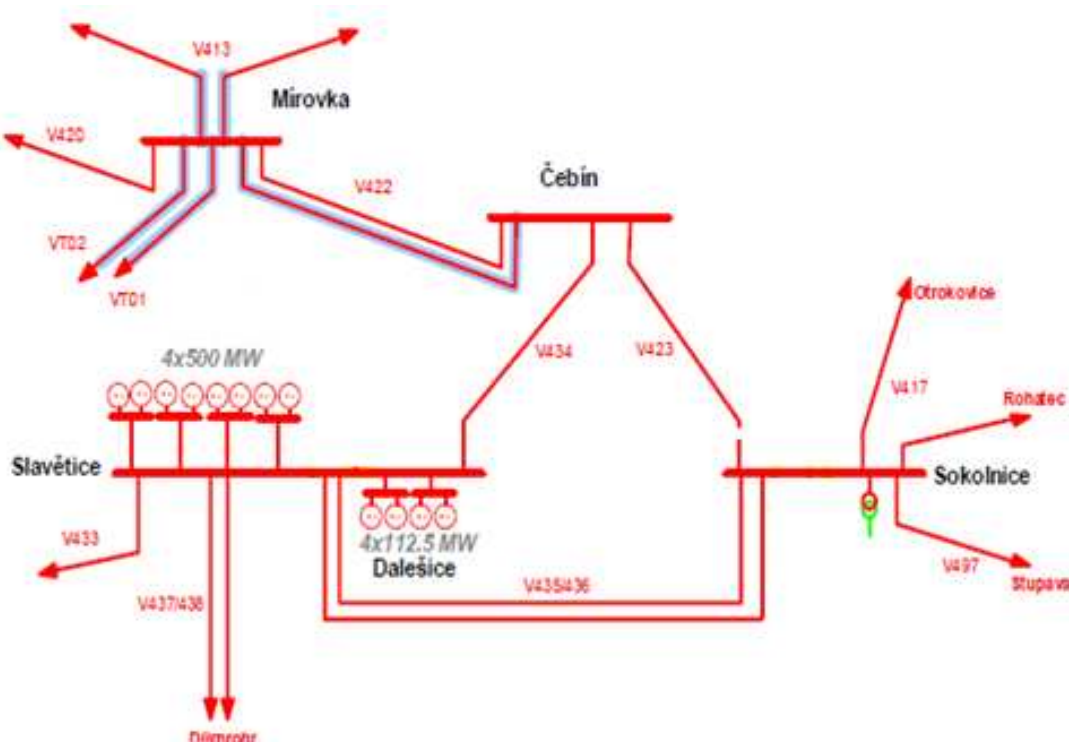
Vodní trubkový prostor každého VTO je proti přetlakování chráněn jedním pružinovým pojistným ventilem s otevíracím přetlakem 8,2 MPa, který je vyvedený na -5,5 m propojovacího potrubí napájecí vody mezi VTO1 a VTO2. Výrobce těchto pojistných ventilů je Severočeská armaturka Ústí nad Labem. Odřuk z pojistného ventilu je zaveden do vypouštěcí nádrže kondenzátu. Hltnost pojistného ventilu při otevíracím tlaku 8,2 MPa a teplotě 20°C je 2 kg/s.



Obrázek 6: Umístění pojistného ventilu [2]

## 4. ANALÝZA OSTROVNÍHO PROVOZU DNE 3. 8. 2006

Dne 3. 8. 2006 došlo v rozvodně Sokolnice ke zkratu na vývodu V417. Vzhledem k probíhající rekonstrukci rozvodny 400 kV byla vyřazena ochrana přípojníc a zkrat tedy nebyl vypnut v základním čase. Zkrat byl (v čase do +0,56 s) odpojen od zdrojů ochranami příslušných linek vedoucích do rozvodny Sokolnice. Následně (v čase +0,610 s) došlo k vypnutí linek V422 a V433, čímž vzniknul ostrov zahrnující rozvodny Slavětice a Čebín. Zátěž ostrova tvořily odběry zapojené do uvedených rozveden. Zdrojem ostrova bylo všech 8 turbogenerátorů JE Dukovany, které přešly do ostrovního provozu. Šlo o přebytečný ostrov, výkon zdroje byl větší než spotřeba daného ostrova, tudíž frekvence v daném ostrově byla zpočátku vyšší než nominální. V průběhu ostrovního provozu proběhlo postupné snižování frekvence pomocí automatik ostrovního provozu (snižováním výkonu zdroje). Ostrovní provoz byl ukončen v čase 15:24 sepnutím do přenosu linky V433. [3]



Obrázek 7: Elektrizční soustava[8]

Při ostrovním provozu EDU dne 3. 8. 2006 na 3. reaktorovém bloku došlo mimo jiné k elektrickému výpadku všech armatur RLxxS02 a následnému uzavření armatur RLxxS01 a RLxxS06 od hladiny +100mm v PG. Systém NV se choval jako uzavřený systém, kdy hranice systému tvořily na jedné straně uzavřené RLxxS06 a na druhé straně zpětné klapky na výtaku ENČ a HNČ. Napájecí čerpadla tak pracovala do uzavřeného tlakového celku. Vlivem zvýšené frekvence sítě došlo i ke zvýšení tlaku na výtaku z důvodu zvýšení otáček ENČ. [3]



Obrázek 8: RLxxSO2 a RLxxSO6

Naměřené hodnoty tlaků napájecí vody po uzavření napájecích hlav však neodpovídaly charakteristice ENČ, proto bylo vysloveno podezření, že kromě zvýšení tlaků z důvodu vyšší frekvence došlo pravděpodobně i ke zvýšení tlaku z důvodu termického natlakování vody v uzavřeném tlakovém celku. Maximální tlak v tlakovém celku dosáhl hodnoty až 9,85 MPa.

V tlakovém celku tedy zřejmě došlo i k termickému natlakování v důsledku zbytkového výkonu VTO nebo v důsledku zpětného přestupu tepla z nahřátého potrubí (cca 222 °C) do uzavřené chladnější vody po výpadku VTO (vychlazení vody až na 165 °C). K ochlazení vody dojde rychleji než k ochlazení potrubí.

I když v tlakovém celku jsou dva pojistné ventily (chránící VTO) s otevíracími tlaky 8,2 MPa (plné otevření 9,2 MPa) a průtokem každého 2 l/s při plném otevření, nestačily pravděpodobně tyto pojistné ventily k tomu, aby zabránily nárůstu tlaku nad maximální dovolenou hodnotu.



Obrázek 9: Pojistný ventil [3]

## 5. VSTUPNÍ HODNOTY PRO ANALÝZU

### Parametry VTO1/VTO2 (dle výkresu VTO):

#### **Vodní strana (trubkový prostor):**

VTO1 - objem 5,5 m<sup>3</sup>, max. tlak 8,2 MPa, max. teplota 203°C

VTO2 - objem 5,5 m<sup>3</sup>, max. tlak 8,2 MPa, max. teplota 237°C

#### **Pojistný ventil po vodní straně:**

otevírací tlak 8,2 MPa, plné otevření při cca 9,2 MPa

propustnost při plném otevření 7000 kg/hod (cca 2 kg/sec)

#### **Parní strana (mezitrubkový prostor):**

VTO1 – objem 19,2 m<sup>3</sup>, max. tlak 1,96 MPa, max. teplota 215 °C

VTO2 – objem 18,9 m<sup>3</sup>, max. tlak 3,43 MPa, max. teplota 245 °C

#### **Hmotnost:**

VTO1 – 36200 kg

VTO2 – 40052 kg

#### **Vnější rozměry:**

VTO1 - ø 1800 mm, výška 11500 mm

VTO2 - ø 1822 mm, výška 11500 mm

#### **Počet tahů na straně napájecí vody:**

2

#### **Trubky:**

ø 16 x 1,5 mm, počet 1470 ks

#### **Teplosměnná plocha:**

celková 1300 m<sup>2</sup> (kondenzační 1200 m<sup>2</sup>, podchlazovače 100 m<sup>2</sup>)

#### **Tlaková ztráta po straně vody:**

0,11 MPa (při průtoku 1423 t/hod a střední teplotě vody 178°C)

### Parametry vody a páry ve VTO1,2 (dáno projektem):

Voda před VTO1 .... 6,5 MPa, 164,0°C (688,5 kJ/kg) ... měrný objem 1,10 l/kg

Voda za VTO1 .... 6,5 MPa, 187,6°C (796,7 kJ/kg) ... měrný objem 1,13 l/kg

Voda za VTO2 .... 6,5 MPa, 219,1°C (944,8 kJ/kg) ... měrný objem 1,18 l/kg

Pára do VTO1 .... 1,345 MPa, 193°C (2622 kJ/kg) ... 18,83 kg/s, měrný objem 147 l/kg

Pára do VTO2 .... 2,753 MPa, 229°C (2733 kJ/kg) ... 29,10 kg/s, měrný objem 73 l/kg

### Parametry ve VTO1 a VTO2 při nominálním a sníženém výkonu bloku

| Parametry médií |                 | Výkon bloku          |                      |                      |
|-----------------|-----------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|                 |                 | 100%                 | cca 75%              | cca 50%              |
| Napájecí voda   | Množství        | 2750 t/hod           | 2000 t/hod           | 1350 t/hod           |
|                 | Tlak            | 6,5 MPa<br>(4 x ENČ) | 6,7 MPa<br>(3 x ENČ) | 6,6 MPa<br>(2 x ENČ) |
|                 | Teplota za VTO1 | 189°C                | 165°C                | 165°C                |
|                 | Teplota za VTO2 | 220°C                | 199°C                | 179°C                |
| Pára do VTO1    | Množství        | 18,8 kg/s            | -                    | -                    |
|                 | Tlak            | 1,34 MPa             | 0,99 MPa             | 0,65 MPa             |
|                 | Teplota         | 193°C                | 179°C                | 162°C                |
| Pára do VTO2    | Množství        | 29,1 kg/s            | 21 kg/s              | 5,1 kg/s             |
|                 | Tlak            | 2,7 MPa              | 1,75 MPa             | 1,1 MPa              |
|                 | Teplota         | 229°C                | 205°C                | 184°C                |

Tabulka 1: Parametry VTO1 a VTO2 [4]

## 5.1. VÝPOČET OBJEMŮ VODY VE VYSOKOTLAKÉM OHŘÍVÁKU

**Trubka ø 16 x 1,5 mm:**

vnitřní průměr 13 mm

**Průřez trubky:**

$$\pi r^2 = \pi \cdot 0,0065^2 = 132,73 \text{ mm}^2 \dots \dots \text{objem vody na 1 m délky} = 0,13273 \text{ litrů vody}$$

**Obvod trubky (vnější):**

$$2\pi r = 50,2655 \text{ mm} \dots \dots \text{teplosměnná plocha - 1 m délky} = 50265,5 \text{ mm}^2 = 0,0502655 \text{ m}^2$$

Z teplosměnné plochy a počtu trubek lze spočítat:

**Celková délka trubek:**

$$1300 / 0,0502655 = 25862 \text{ m (hmotnost trubek 9568 kg)}$$

**Průměrná délka trubky svazku (U):**

$$25862 / 1470 = 17,593 \text{ m (ø výška svazku } 17,593 / 2 = 8,80 \text{ m)}$$

**Celkový objem vody v trubkách VTO:**

$$25862 \cdot 0,13273 = 3432,66 = 3,43 \text{ m}^3 \text{ (ohříváný objem)}$$

**Objem vody ve VTO mimo trubky:**

$$5,50 - 3,43 = 2,07 \text{ m}^3 \text{ (neohříváný objem - vodní komory)}$$

## 5.2. OBJEM VODY V POTRUBÍ MEZI VTO A PŘED A ZA VTO (PO ELEKTRICKÉ ARMATURY 131.1,2 A 133.1,2)

### Použité potrubí:

Ø 457 x 20.... vnitřní Ø 417 mm ..... průřez  $13,6572 \text{ dm}^2$ .... 1 m délky = 136,57 litrů

Ø 324 x 20 .... vnitřní Ø 284 mm ..... průřez  $6,3347 \text{ dm}^2$ .... 1 m délky = 63,35 litrů

### Odhad délky potrubí a objem vody v potrubí pro jeden TG

#### Kolektor (rozvaděč / sběrač) u elektrické armatury 7.131.1,2 a před 7.133.1,2:

(Ø 457 x 20).....2 x 3 m = 6 m ..... cca 820 litrů

#### Dvojitá trasa přívodu / odvodu z VTO do sběrače/rozvaděče:

(Ø 324 x 20).....2 x 2 x 5 m = 20 m .... cca 1270 litrů

#### Dvojitá trasa propoje mezi VTO1,2:

(Ø 324 x 20).....2 x 19 m = 38 m ..... cca 2415 litrů

### Celkový objem vody v potrubí mimo VTO

cca 4500 litrů =  $4,5 \text{ m}^3$

## 5.3. CELKOVÝ OBJEM VODY A OBJEM OHŘÍVANÉ VODY V ODSTAVENÉM VTO1,2 PRO JEDEN TG

### Objem vody v jednom VTO:

$5,5 \text{ m}^3$  (z toho ohřívána v trubkách..... $3,43 \text{ m}^3$ , zbytek neohříváný ...  $2,07 \text{ m}^3$ )

### Objem vody ohřívané ve VTO1,2 (trubky):

$2 \cdot 3,43 = 6,86 \text{ m}^3$

### Objem neohřívané vody:

VTO1,2 (vodní komora)..... $2 \cdot 2,07 = 4,14 \text{ m}^3$ , potrubí mimo VTO1,2 .....cca  $4,50 \text{ m}^3$

### Celkový objem neohřívané vody ve VTO1,2 a potrubí:

$4,14 + 4,50 = 8,64 \text{ m}^3$

### Celkový uzavřený objem vody:

$4,14 + 4,50 + 6,86 = 15,5 \text{ m}^3$

### Poměr ohřívané vody k celkovému objemu:

$6,86 / 15,5 = 0,44 = 44\%$

## 5.4. ROZMĚRY POUŽITÉHO POTRUBÍ VODY ZA VTO2 PO NAPÁJECÍ HLAVY

Použité potrubí

(měrná hmotnost potrubí 7,85 g/cm<sup>3</sup>)

| Potrubí  | Průměr potrubí |         | Obvod potrubí |         |         | Průřez potrubí  |                 |                 | Průřez<br>mezikruží | Objem<br>potrubí | Hmotn.<br>potrubí | Objem<br>vody |
|----------|----------------|---------|---------------|---------|---------|-----------------|-----------------|-----------------|---------------------|------------------|-------------------|---------------|
|          | vnitřní        | střední | vnější        | vnitřní | střední | vnější          | vnitřní         | střední         |                     |                  |                   |               |
|          | mm             | mm      | mm            | mm      | mm      | mm <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup> | mm <sup>2</sup> |                     |                  |                   |               |
| Ø 457x20 | 417            | 437     | 1436          | 1310    | 1373    | 164030          | 136572          | 149987          | 27458               | 27,46            | 215,54            | 136,57        |
| Ø 324x20 | 284            | 304     | 1018          | 892     | 955     | 82448           | 63347           | 72583           | 19101               | 19,10            | 149,94            | 63,35         |
| Ø 273x16 | 241            | 257     | 858           | 757     | 807     | 58535           | 45617           | 51875           | 12918               | 12,92            | 101,41            | 45,62         |
| Ø 108x7  | 94             | 101     | 339           | 295     | 317     | 9161            | 6940            | 8012            | 2221                | 2,22             | 17,44             | 6,94          |
| Ø 16x1,5 | 14             | 15      | 50            | 44      | 47      | 201             | 154             | 177             | 47                  | 0,047            | 0,370             | 0,154         |

Tabulka 2: Rozměry použitého potrubí vody za VTO2 po napájecí hlavě

## 5.5. DÉLKY POTRUBÍ OD ARMATURY 133.1,2 PO NAPÁJECÍ KOLEKTOR (OHŘÍVANÁ VODA) - ODHAD

| Úsek                               | Ø potrubí | TG31  | TG32  |
|------------------------------------|-----------|-------|-------|
| od armatury 133 po podlaží ± 0m    | Ø 457x20  | 7-8 m | 7-8 m |
| od ± 0m po +14,7 m                 | Ø 457x20  | 30 m  | 35 m  |
| podlaží +14,7 po napájecí kolektor | Ø 457x20  | 15 m  | 15 m  |

Tabulka 3: Délky potrubí od armatury 133.1,2 po napájecí kolektor

## 5.6. OBJEM VODY V POTRUBÍ A HMOTNOST POTRUBÍ ZA VTO

(voda cca 180°C, 6,6 MPa ... cca 1,12 dm<sup>3</sup>/kg)

| Úsek                                                                | Potrubí  | Délka<br>[m] | Voda      |           | Potrubí (7,85 kg/l) |       |
|---------------------------------------------------------------------|----------|--------------|-----------|-----------|---------------------|-------|
|                                                                     |          |              | objem [l] | [kg]      | objem [l]           | [kg]  |
| Celkem od armatury 133.1,2 po napájecí kolektor                     | Ø 457x20 | 110          | 15023     | 13413     | 3021                | 23715 |
| Napájecí kolektor                                                   | Ø 457x20 | 57           | 7784      | 6950      | 1565                | 12285 |
| Od hlavního napájecího kolektoru po armaturu teplý proplach (2x4 m) | Ø 273x16 | 8            | 365       | 326       | 103                 | 809   |
| Od hlavního napájecího kolektoru po S06 (6x8÷9 m)                   | Ø 273x16 | 51           | 2327      | 2078      | 659                 | 5173  |
| Od havarijního napájecího čerpadla po hlavního napájecí kolektor    | Ø 108x7  | 100          | 694       | 620       | 222                 | 1743  |
| Celkem                                                              |          | 326          | cca 26193 | cca 23387 | 5570                | 43725 |

Tabulka 4: Objem vody v potrubí a hmotnost potrubí za VTO

Z toho ohřívána voda je  $15023 + 7784 + 2327 = 25134$  l (22441 kg) a stojící neohřívána voda  $365 + 694 = 1059$  l (946 kg). Celkový objem potrubí je cca 5570 l (43725 kg).

## 5.7. OBJEM VODY V POTRUBÍ A HMOTNOST POTRUBÍ PŘED VTO + OCHOZ VTO

(voda 164°C, 6,6 MPa ...1,10 dm<sup>3</sup>/kg)

| Úsek                                          | Potrubí  | Délka [m] | Voda      |       | Potrubí   |       |
|-----------------------------------------------|----------|-----------|-----------|-------|-----------|-------|
|                                               |          |           | objem [l] | [kg]  | objem [l] | [kg]  |
| Od výtlačného kolektoru ENČ po armaturu 131.1 | Ø 457x20 | 25        | 3414      | 3104  | 686       | 5389  |
| Od výtlačného kolektoru ENČ po armaturu 131.2 | Ø 457x20 | 50        | 6828      | 6207  | 1373      | 10777 |
| Výtlačný kolektor ENČ                         | Ø 457x20 | 15        | 2049      | 1863  | 412       | 3233  |
| Od zpětné klapky ENČ po výtlačný kolektor     | Ø 324x20 | 5x20      | 6335      | 5759  | 1910      | 14994 |
| Celkem                                        |          | 190       | 18626     | 16933 | 4381      | 34391 |

|           |          |    |     |     |  |
|-----------|----------|----|-----|-----|--|
| Ochoz VTO | Ø 324x20 | 15 | 950 | 864 |  |
|-----------|----------|----|-----|-----|--|

Tabulka 5: Objem vody v potrubí a hmotnost potrubí před VTO + ochoz

## 5.8. OBJEM VODY V TLAKOVÉM CELKU OD ZPĚTNÉ KLAPKY ELEKTRONAPAJEČKY PO NAPÁJECÍ HLAVY (S06) VČETNĚ VTO1,2

Od zpětné klapky hlavního napájecího čerpadla po napájecí hlavy (+potrubí k havarijnímu napájecímu čerpadlu, teplý proplach) bez VTO1,2:  
 $19,58 + 26,19 = 45,8$  m<sup>3</sup>

Tlakový celek VTO1,2 + příslušející potrubí (obě TG):  
 $2 \cdot 15,5$  m<sup>3</sup> = 31,0 m<sup>3</sup>

Celkový tlakový celek (včetně VTO1,2 obou TG):  
**76,8 m<sup>3</sup>**

Znázornění termicky tlakovaného celku je v příloze č.3.

## 5.9. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ UZAVŘENÉHO OBJEMU VODY

Ze závislosti měrného objemu vody na teplotě a tlaku lze zjistit přírůstky objemu resp. odpovídající nárůsty tlaku při termickém tlakování uzavřené vody. Podrobný přehled této závislosti je uveden v příloze č.2.

Pro oblasti teplot 160-220 °C a tlak 6-22 MPa je proveden výběr hlavních hodnot v následující tabulce.

| Teplota vody | Přírůstek<br>objemu vody<br>ohřevem<br>[litrů /m <sup>3</sup> , °C] | Zmenšení objemu tlakem<br>[litrů/m <sup>3</sup> , MPa] v oblasti |           | Tlakování při termickém<br>ohřevu a při poměrném<br>stlačení |                          |
|--------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------|--------------------------------------------------------------|--------------------------|
|              |                                                                     | 6-12 MPa                                                         | 12-22 MPa | MPa/°C                                                       | x = MPa/0,1%<br>stlačení |
| 160°C-180°C  | cca 1,00 -1,18                                                      | 0,61-0,73                                                        | 0,61-0,71 | 1,46-1,58                                                    | 1,40-1,60                |
| 180°C-200°C  | cca 1,18-1,33                                                       | 0,71-0,85                                                        | 0,71-0,82 | 1,46-1,55                                                    | 1,21-1,45                |
| 200°C-220°C  | cca 1,33-1,51                                                       | 0,82-1,01                                                        | 0,79-0,97 | 1,39-1,51                                                    | 0,99-1,27                |

Tabulka 6: Výběr hlavních hodnot pro oblasti teplot 160-220°C a tlak 6-22 MPa

#### V uvedené oblasti teplot a tlaku platí tedy následující závislost:

- ohřevem vody v otevřeném prostoru o 1°C se zvětší objem o cca 1,0-1,5 litrů/m<sup>3</sup>.
- stlačením o 1 MPa se zmenší objem vody o cca 0,6 - 1,0 litrů/m<sup>3</sup> (stlačení o 1,0 litr/m<sup>3</sup> zvýší tlak o 1,0-1,6 MPa).

Porovnáním těchto dvou závislostí, pak vychází i závislost přírůstku tlaku při ohřevu vody v uzavřeném objemu (termické tlakování):

-ohřevem uzavřeného množství vody o 1°C dojde ke stoupnutí tlaku (termickému natlakování) o cca 1,5 MPa.

#### Závěr:

Při ohřevu uzavřeného množství vody v oblasti teplot 160°C-220°C při tlacích 6-12 MPa dojde ohřevem k stoupnutí tlaku (termickému natlakování) o cca 1,5 MPa/°C. Z uvedeného výpočtu je vidět, že k poměrně vysokému nárůstu tlaku stačí v uzavřeném prostoru plném vody, jen malý nárůst teploty.

## 6. MOŽNOSTI TERMICKÉHO TLAKOVÁNÍ VTO A POTRUBÍ NAPÁJECÍ VODY

### 6.1. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ PŘI UZAVŘENÍ VODY VE VTO A NEUZAVŘENÍ PÁRY

K termickému tlakování uzavřeného potrubí vody topnou párou ve VTO může dojít buď při nežádoucím otevření páry do uzavřeného potrubí vody, nebo po uzavření vody a neuzavření páry. Tyto stavy mohou nastat chybnou manipulací, selháním automatiky nebo poruchou v ovládání armatur.

#### 6.1.1. UZAVŘENÍ VODY O NOMINÁLNÍ TEPLITĚ VE VTO1,2 A NEUZAVŘENÍ PÁRY (NEBO OTEVŘENÍ PÁRY DO UZAVŘENÉ VODY)

Předané teplo

Průměrný rozdíl teploty páry a vody je:  
ve VTO1:

$$193 - \left( \frac{187,6 + 164}{2} \right) = 17,2^{\circ}\text{C}$$

ve VTO2:

$$229 - \left( \frac{219,1 + 187,6}{2} \right) = 25,6^{\circ}\text{C}$$

Pro ohřátí  $3,43 \text{ m}^3$  vody ve VTO1 z průměrné teploty  $\left( \frac{187,6 + 164}{2} \right) = 175,8^{\circ}\text{C}$  (747,674 kJ/kg a 1,12 l/kg) o  $17,2^{\circ}\text{C}$  na  $193^{\circ}\text{C}$  (823,326 kJ/kg, 1,14 l/kg) by bylo třeba 75,652 kJ/kg tepla ....celkem cca 229634 kJ

Pro ohřátí  $3,43 \text{ m}^3$  vody ve VTO2 z průměrné teploty  $\left( \frac{219,1 + 187,6}{2} \right) = 203,3^{\circ}\text{C}$  (869,231 kJ/kg a 1,16 l/kg) o  $25,6^{\circ}\text{C}$  na  $229^{\circ}\text{C}$  (986,323 kJ/kg, 1,20 l/kg) by bylo třeba 117,092 kJ/kg tepla ....celkem cca 340360 kJ

#### 6.1.2. BEZ FUNKČNÍHO POJISTNÉHO VENTILU

Předpokládáme ohřev uzavřené napájecí vody ve VTO z nominálních hodnot na teplotu páry pouze v trubkách VTO1,2 bez následného přestupu tepla do zbývajících neohříváné vody ve vodní komoře a potrubí (zanedbatelný vliv). Tlakování však proběhne v celém objemu uzavřeného potrubí napájecí vody.

**Ohřátí vody ve VTO1:**

(z průměrné teploty  $175,8^{\circ}\text{C}$  na max.  $193^{\circ}\text{C}$ ) o  $17,2^{\circ}\text{C}$  ( $3,43 \text{ m}^3$ )  
 $\Delta V_1 = 17,2 \cdot 1,18 \cdot 3,43 = \underline{+ 69 \text{ litrů}}$

### Ohřátí vody ve VTO2:

(z průměrné teploty 203,3 °C na max. 229 °C) o 25,6 °C (3,43 m<sup>3</sup>)

$$\Delta V_2 = 25,6 \cdot 1,4 \cdot 3,43 = +123 \text{ litrů}$$

### Celkový nárůst objemu při konstantním tlaku (6,6 MPa) by byl:

$$\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = 69 + 123 = \text{cca } 192 \text{ litrů}$$

Pokud nebude možnost zvětšení objemu, dojde v důsledku zvýšení teploty ke zvýšení tlaku (v celém uzavřeném objemu  $V = 15,5 \text{ m}^3$ ) o tlak, odpovídající stlačení objemu  $15,500 + 0,192 = 15,692 \text{ m}^3$  na objem  $15,500 \text{ m}^3$  (stlačení o  $\left(\frac{\Delta V[\text{m}^3]}{V[\text{m}^3]}\right) \cdot 100 = \left(\frac{0,192}{15,5}\right) \cdot 100 = \text{cca } 1,2 \%$ ). Nárůst tlaku by byl tedy o cca 15,5÷16,5 MPa na konečný tlak **cca 22-23 MPa**.

$$\begin{aligned} \text{Při neuzavření páry pouze u VTO1 (nárůst objemu o } & \left(1 - \frac{V[\text{m}^3]}{V[\text{m}^3] + \Delta V_1[\text{m}^3]}\right) \cdot 100 = \\ \left(1 - \frac{15,5}{15,569}\right) \cdot 100 = 0,443\%, \text{ zvýšení tlaku o cca } & 5,7 \text{ MPa)...tlak cca } 12-13 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Při nezavření páry pouze u VTO2 (nárůst objemu o } & \left(1 - \frac{V[\text{m}^3]}{V[\text{m}^3] + \Delta V_2[\text{m}^3]}\right) \cdot 100 = \\ \left(1 - \frac{15,5}{15,623}\right) \cdot 100 = 0,79\%, \text{ zvýšení tlaku o cca } & 10,5 \text{ MPa)...tlak cca } 17 \text{ MPa.} \end{aligned}$$

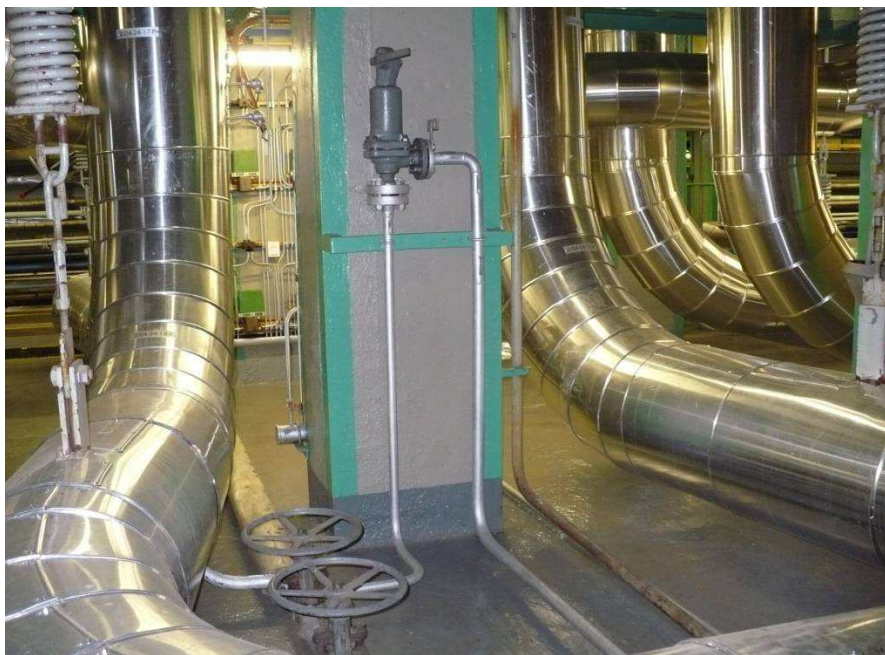
### Závěr:

Při uzavření napájecí vody ve VTO a neuzavření páry ani do jednoho VTO by bez funkčního PV VTO nastoupal tlak napájecí vody v důsledku termického tlakování až na **cca 22-23 MPa**.

### 6.1.3. PŘI FUNKČNÍM POJISTNÉM VENTILU

V případě funkčního PV (hltnost 2 kg/s) a otevření pouze jedné armatury na páře bude termické tlakování zvládnuto bez přechodného převýšení maximálního dovoleného tlaku. Toto je potvrzeno u analýzy ÚJV ŘEŽ. I v případě, kdy je uvažováno s teoretickým (nereálným) okamžitým přestupem tepla zde vychází, že by i stávající PV zvládl termické tlakování vody po otevření páry do VTO2 bez převýšení maximálního přípustného tlaku. V případě otevření obou armatur páry současně by pravděpodobně došlo již k přechodnému mírnému převýšení maximálního dovoleného tlaku.

Pro přesnější propočty reálného vývoje termického tlakování by však bylo nutno použít složitější matematické modely a bylo by nutno znát konkrétnější vstupní podmínky pro každý případ (charakteristiky armatur, přestupní koeficienty, setrvačnost děje a další vlivy).



Obrázek 10: Pojistný ventil [3]

## 6.2. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ ZBYTKOVÝM TEPEM PO Odstavení NAHŘÁTÉHO VYSOKOTLAKÉHO OHŘÍVÁKU

V případě odstavení VTO dojde k uzavření topné páry do obou VTO a přejetí napájecí vody na ochoz. I po uzavření topné páry však dojde k mírnému dohřevu vody od naakumulovaného tepla v konstrukčních materiálech a z parního kondenzátu. Tím může dojít k přechodnému termickému tlakování a nárůstu tlaku uzavřené vody ve VTO.

### 6.2.1. OHŘEV NAPÁJECÍ VODY KONDENZÁTEM TOPNÉ PÁRY

Předpokládám objem cca  $0,25 \text{ m}^3$  parního kondenzátu v každém VTO a teplotu parního kondenzátu rovnající se střední teplotě vody ve VTO (cca  $175,8^\circ\text{C}$  ve VTO1 a  $203,5^\circ\text{C}$  ve VTO2). Při nominálních vstupních teplotách vody do VTO ( $164^\circ\text{C}$  vstup do VTO1,  $188^\circ\text{C}$  vstup do VTO2) by došlo v důsledku vyrovnání teplot k nárůstu objemu napájecí vody o  $\Delta V_1 = 1,1[\text{MPa}/0,1\%] \cdot 0,25[\text{m}^3] \cdot (193[^\circ\text{C}] - 175,8[^\circ\text{C}]) = 4,7 \text{ l}$  ve VTO1 a  $\Delta V_2 = 1,13[\text{MPa}/0,1\%] \cdot 0,25[\text{m}^3] \cdot (229[^\circ\text{C}] - 203,5[^\circ\text{C}]) = 7,2 \text{ l}$  ve VTO2. Celkový nárůst objemu vody o  $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = 10 \text{ l}$  v celém objemu  $V = 15,5 \text{ m}^3$  by přispěl k nárůstu tlaku o  $\Delta p = \left( \frac{\Delta V[\text{m}^3]}{V[\text{m}^3]} \right) \cdot 100 \cdot x[\text{MPa}/0,1\%] \cdot 10 = \left( \frac{0,01}{15,5} \right) \cdot 100 \cdot 1,4 \cdot 10 = 0,9 \text{ MPa}$ .

Pozn. Stlačení  $x [\text{MPa}/0,1\%]$  ....z tabulky 6

## 6.2.2. OHŘEV NAPÁJECÍ VODY OD NAHŘÁTÉHO KONSTRUKČNÍHO MATERIÁLU

Přestupem tepla z nahřátého konstrukčního materiálu dojde k částečnému dohřevu vody i po odstavení topné páry. Při výchozích teplotách konstrukčního materiálu 193°C ve VTO1 a 229°C ve VTO2 a průměrné (střední) teplotě uzavřené napájecí vody 175,8°C ve VTO1 a 203,5 °C ve VTO2 je rozdíl teplot mezi vodou a zahřátým konstrukčním materiálem cca 17°C ve VTO1 a 25,5°C ve VTO2. Předpokládáme dokonalý přestup tepla a rovnoměrný ohřev (vyrovnání teplot) vody jak v trubkách VTO, tak i ve vodní komoře.

**Uvolněné teplo z konstrukčního materiálu VTO (při měrném teple železa  $c_{\text{ž}} = 0,46 \text{ kJ/kgK}$ ) bude:**

ve VTO1 při hmotnosti  $m_{1m} = 36200 \text{ kg}$  (z toho trubky 9,6 kg) a teplotě 193°C:

$$Q_{1m} = m_{1m} \cdot c_{\text{ž}} = 36200 \cdot 0,46 = 16652 \text{ kJ/K}$$

ve VTO2 při hmotnosti  $m_{2m} = 40052 \text{ kg}$  (z toho trubky 9,6 kg) a teplotě 229°C:

$$Q_{2m} = m_{2m} \cdot c_{\text{ž}} = 40052 \cdot 0,46 = 18424 \text{ kJ/K}$$

**Ohřívání voda ve VTO 5,5 m<sup>3</sup> (v trubkách cca 3,43 m<sup>3</sup>, vodní komora 2,07 m<sup>3</sup>) nakumuluje teplo:**

ve VTO1 ( $m_{1v} = 4933 \text{ kg}$ ) při průměrné entalpii vody  $c_{1v} = 4,460 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  celkem:

$$Q_{1v} = m_{1v} \cdot c_{1v} = 4933 \cdot 4,46 = 22001 \text{ kJ/K}$$

ve VTO2 ( $m_{2v} = 4762 \text{ kg}$ ) při průměrné entalpii vody  $c_{2v} = 4,675 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  celkem:

$$Q_{2v} = m_{2v} \cdot c_{2v} = 4762 \cdot 4,675 = 22262 \text{ kJ/K}$$

Porovnáním entalpií pro ohřev vody a ochlazení železa vyjde poměr změny teplot

$$\left( \frac{Q_{1v} [\text{kJ/K}]}{Q_{1m} [\text{kJ/K}]} \right) = \frac{22001}{16652} = 1,321 \text{ ve VTO1 a } \left( \frac{Q_{2v} [\text{kJ/K}]}{Q_{2m} [\text{kJ/K}]} \right) = \frac{22262}{18424} = 1,208 \text{ ve VTO2, tzn. že}$$

ohřev vody o 1°C způsobí ochlazení železa ve VTO1 o cca 1,32°C a ve VTO2 o cca 1,21°C.

Po vyrovnání teplot by tedy byla teplota ve VTO1 cca 183-184°C a ve VTO2 cca 212-213°C. Ve VTO1 by došlo k ohřátí vody o cca 8°C (183,5 – 175,8) a ve VTO2 o cca 9°C (212,5 – 203,5). Při objemu ohřívání vody 5,5 m<sup>3</sup> by to znamenalo nárůst objemu o cca  $\Delta V_1 = 40 \text{ l}$  ve VTO1 (měrný nárůst 1,1 l/m<sup>3</sup>,°C) a  $\Delta V_2 = 9 \cdot 1,35 \cdot 5,5 = 67 \text{ l}$  ve VTO2 (měrný nárůst 1,35 l/m<sup>3</sup>,°C). Při zachování objemu uzavřené vody  $V = 15,5 \text{ m}^3$  by nemožnost nárůstu objemu (nefunkční PV) o  $\Delta V = \Delta V_1 + \Delta V_2 = 40 + 67 = 107 \text{ l}$  znamenalo nárůst tlaku

$$\Delta p = \left( \frac{\Delta V [\text{m}^3]}{V [\text{m}^3]} \right) \cdot 100 \cdot x [\text{MPa} / 0,1\%] \cdot 10 = \left( \frac{0,107}{15,5} \right) \cdot 100 \cdot 1,4 \cdot 10 = 9,5 \text{ MPa}.$$

Pozn. Stlačení  $x [\text{MPa} / 0,1\%]$  ....z tabulky 6

## 6.2.3. OHŘEV NAPÁJECÍ VODY Z PARNÍHO PROSTORU

**parní prostor VTO1 (19,2 m<sup>3</sup>, teplota  $t_{p1} = 193^\circ\text{C}$ ):**

hmotnost páry  $m_{p1} = 131 \text{ kg}$  (měrný objem 147 l/kg).....měrné teplo při konstantním objemu  $c_{p1} = 2,017 \text{ kJ/kg,K}$

odebrané teplo při ochlazení na  $t_1 = 182^\circ\text{C}$  ( $Q_1 = m_{p1} \cdot c_{p1} = 131 \cdot 2,017 = 264 \text{ kJ/K}$ )....

$$Q_{p1} = Q_1 \cdot (t_{p1} - t_1) = 264 \cdot (193 - 182) = \text{celkem } 2906 \text{ kJ}$$

**parní prostor VTO2 (18,9 m<sup>3</sup>, teplota t<sub>p2</sub> = 229°C):**

hmotnost páry m<sub>p2</sub> = 259 kg (měrný objem 73 l/kg).....měrné teplo při konstantním objemu c<sub>p2</sub> = 2,284 kJ/kg,K

odebrané teplo při ochlazení na t<sub>2</sub> = 212°C (Q<sub>2</sub> = m<sub>p2</sub> · c<sub>p2</sub> = 259 · 2,284 = 591,5 kJ/K)...  
Q<sub>p2</sub> = Q<sub>2</sub> · (t<sub>p2</sub> - t<sub>2</sub>) = 591,5 · (229 - 212) = celkem 10056 kJ

Předané teplo z páry je zanedbatelné proti teplu předanému z konstrukčního materiálu nebo z parního kondenzátu. Poměr změny teplot je  $\left( \frac{Q_{p1} [kJ]}{Q_{p2} [kJ]} \right) = \frac{2906}{10056} = 0,2$ . Na

nárůstu teploty vody v každém VTO by se to projevilo pouze o 0,2°C, což by vyvolalo celkový nárůst objemu o  $\Delta V = 2 \text{ l}$  (1 až 1,5 l/m<sup>3</sup> z toho 1/5 = 2 l) z obou VTO (V = 15,5m<sup>3</sup>). V případě nemožnosti nárůstu objemu by došlo k stoupnutí tlaku

$$\Delta p = \left( \frac{\Delta V [m^3]}{V [m^3]} \right) \cdot 100 \cdot x [MPa / 0,1\%] \cdot 10 = \left( \frac{0,002}{15,5} \right) \cdot 100 \cdot 1,4 \cdot 10 = 0,2 MPa.$$

**Závěr:**

Bez funkčního PV by mohlo dojít v důsledku termického tlakování VTO zbytkovým teplem z VTO teoreticky k natlakování až o cca  $\Delta p = 9,5 + 0,9 + 0,2 = 10,6 \text{ MPa}$ . Při funkčním PV by však k převýšení tlaku nad maximální přípustnou hodnotu nedošlo. Hlavním zdrojem termického tlakování by sice bylo teplo naakumulované v konstrukčním materiálu VTO, ale toto teplo by bylo předáváno v delším časovém intervalu, takže funkční PV by byl schopen narůstající objem odpouštět.

I když není známa rychlost přestupu tepla z konstrukčního materiálu do vody lze s jistotou tvrdit, že trend nárůstu objemu vody bude mnohem pomalejší než je hltlost PV. Při stávající hltlosti PV 2 l/s by bylo celkové množství  $\Delta V = 10 + 107 + 2 = \text{cca } 120 \text{ l}$  odpuštěno již za 60 s (120/2).

**Stávající PV má dostatečnou rezervu pro zvládnutí termického tlakování nakumulovaným teplem z konstrukčních materiálů a kondenzátu páry v případě odstavení VTO a uzavření napájecí vody.**

### **6.3. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ NAPÁJECÍHO POTRUBÍ PŘI VÝPADKU TOPENÍ VE VTO A NÁSLEDNÉM UZAVŘENÍ NAPÁJECÍCH HLAV**

V případě současného uzavření všech napájecích hlav může dojít k termickému tlakování celého tlakového celku od ENČ až po napájecí hlavy. Velikost termického tlakování bude záviset na tom, zda zůstane připojen i VTO nebo zda dojde k odstavení a přejetí napájecí vody na ochoz a dále zda bude odstavena topná pára do VTO. K termickému tlakování tak může dojít v důsledku vyrovnání teplot ve VTO (při plném výkonu nebo pouze od zbytkového tepla) nebo případně i zpětným přestupem tepla z nahřátého potrubí do napájecí vody.

Pokud dojde k termickému tlakování pouze dohřevem vody ve VTO a nedojde přitom k předchozímu prudkému vychlazení vody i v napájecím potrubí, bude celkový nárůst tlaku mírnější než při uzavření vody v samotném VTO, neboť při stejném nárůstu objemu vody bude celkový tlakovaný celek větší (více než dvojnásobný). Nárůst tlaku v důsledku tohoto termického tlakování proto nedosáhne ani 50% hodnoty nárůstu tlaku, kterého by bylo dosaženo, pokud by došlo k uzavření vody pouze ve VTO.

Pokud však před uzavřením napájecích hlav dojde k rychlému vychlazení napájecí vody (uzavření armatur topné páry nebo výpadek TG na VS apod.), může dojít v celém tlakovém celku navíc i k termickému tlakování zpětným přestupem tepla z nahřátého potrubí do ochlazené napájecí vody.

Tlakování celku VTO1,2 v případě odstavení VTO (přejetí na ochoz) nebudu dále rozebírat, neboť jde o případy, které byly již popsány v předchozí kapitole (termické tlakování samotného VTO).

V následujících bodech bude proto proveden rozbor termického tlakování napájecího potrubí za VTO a to jak v případě připojení VTO (bez výkonu), tak i v případě odstavení VTO a přejetí na ochoz. Případ, kdy je po celou dobu před uzavřením napájecích hlav připojen VTO s plným nebo částečným výkonem (nominální výkon TG) není též nutno podrobně analyzovat, neboť jde o mírnější termické tlakování, než v případě uzavření vody pouze ve VTO. V tomto případě nemůže dojít ani k termickému tlakování zpětným přestupem tepla z nahřátého potrubí, neboť v okamžiku uzavření napájecích hlav je teplota vody a potrubí vyrovnaná.

Nejvyšší termické tlakování napájecího potrubí by nastalo v případě, že napájecí hlavy po výpadku topení VTO uzavřou napájecí vodu přesně v okamžiku, kdy voda o teplotě 164°C projde celým napájecím potrubím až po napájecí hlavy a potrubí ještě nestačí vychladnout (původní teplota cca 220°C). Maximální teoretický rozdíl mezi teplotou potrubí a teplotou vody by tak mohl být až cca 55°C. Reálný průměrný rozdíl teplot vody a potrubí však bude menší, neboť průchodem chladnější vody dojde již i k částečnému vychlazení potrubí. Ani na napájecích hlavách nebude již maximální rozdíl teplot, neboť i voda se průchodem přes ohřáté potrubí až po napájecí hlavy částečně ohřeje.

Vzhledem k tomu, že však není možné ve skutečnosti vytvořit ani skokové rozhraní mezi teplou a vychladlou vodou, ať již při odstavení páry do VTO nebo přejetí VTO na ochoz, budou ve skutečnosti průměrné rozdíly teplot nahřátého potrubí a chladnější vody ještě nižší. Tepelné bilance pro tyto případy při uzavření napájecí vody o nominálním tlaku cca 6,5 MPa (za normálního provozu - bez zvýšené frekvence) by pak byly následující:

### **6.3.1. UZAVŘENÍ NAPÁJECÍCH HLAV PŘI NOMINÁLNÍM VÝKONU BLOKU A PLNÉM VÝKONU VTO1, 2**

Pokud by došlo k uzavření napájecích hlav za nominálního výkonu bloku a zůstaly by připojené VTO1,2 na obou TG (bez ztráty topení), došlo by pouze k termickému tlakování v důsledku dohřevu vody ve VTO na teplotu páry. Vzhledem k tomu, že by však nedošlo k předchozímu vychlazení napájecí vody, nedošlo by již k přídavnému termickému tlakování z důvodu zpětného přestupu tepla z nahřátého potrubí. Termické tlakování by tak bylo menší, než v případě uzavření vody pouze ve VTO, neboť dojde ke stejnému nárůstu objemu vody ( $2 \cdot 192 \text{ l}$ ), ale ve větším tlakovém celku. Kromě objemu vody  $15,5 \text{ m}^3$  v VTO1,2 u každého TG bude tlakovaný celek zvětšen ještě o objem potrubí od ENČ k VTO + ochoz VTO (cca  $19,6 \text{ m}^3$ ) a od VTO po napájecí hlavy (cca  $26,2 \text{ m}^3$ ). Celkový objem tak naroste na cca  $76,8 \text{ m}^3$  ( $31 + 26,2 + 19,6$ ), což je více než dvojnásobný objem proti tlakování pouze ve VTO (objem  $2 \cdot 15,5 \text{ m}^3$ ). Nárůst tlaku tak bude úměrně nižší.

V případě nefunkčního ani jednoho PV by byl nárůst tlaku pouze cca 40% ( $31\text{m}^3/76,8\text{m}^3$ ) přírůstků tlaku, který by nastal při uzavření pouze ve VTO. Při neuzavření ani jedné armatury topné páry do VTO a **při selhání obou PV VTO by tedy bylo max. možné teoretické natlakování o  $\Delta p = 16 \cdot 0,4 = 6,5\text{ MPa}$  na konečný tlak  $p = 6,5 + 6,5 = 13,0\text{ MPa}$ .**

Pokud by došlo i k odstavení VTO<sub>1,2</sub> u jednoho TG a přejetí na ochoz byl by nárůst objemu poloviční ( $\Delta V = 192\text{ l}$ ). Bez možnosti nárůstu objemu (a bez funkčního PV) by to v celkovém objemu  $V = 61,3\text{ m}^3$  ( $76,8 - 15,5$ ) způsobilo nárůst tlaku o  $\Delta p = \left( \frac{\Delta V [\text{m}^3]}{V [\text{m}^3]} \right) \cdot 100 \cdot x [\text{MPa} / 0,1\%] \cdot 10 = \left( \frac{0,192}{61,3} \right) \cdot 100 \cdot 1,3 \cdot 10 = 4\text{ MPa}$  na konečných

$p = 6,5 + 4 = 10,5\text{ MPa}$ . V případě otevření pouze jedné armatury páry při nefunkčním PV by nárůst tlaku byl menší než 2 MPa (50% ze 4MPa) a maximální tlak by tedy nepřesáhl maximální přípustnou hodnotu 9,2 MPa.

V reálném případě nutno přihlídnout ještě ke zmírnění průběhu termického tlakování z důvodu doby uzavírání armatur napájecích hlav, případně i armatur napájecí vody na VTO. Hlavně je však nutno zohlednit skutečnost, že v případě uzavření všech napájecích hlav dojde následně z důvodu ztráty napájení PG k zregulování výkonu bloku a tím i k výpadku topení VTO (ztráta tlaku v odběrech TG). Termické tlakování napájecí vody v tomto případě tedy nebude již plným výkonem VTO, ale pouze sníženým výkonem, nebo zbytkovým výkonem z naakumulovaného tepla v topném kondenzátu či konstrukčních materiálech VTO. Lze tedy předpokládat, že ani v případě otevření všech armatur topné páry do VTO a selhání PV by nedošlo k překročení maximálního přípustného tlaku.

**Pokud bude funkční alespoň jeden stávající PV, pak bude schopen narůstající objem vody s dostatečnou rezervou odpouštět a nedojde k překročení maximálního přípustného tlaku 9,2 MPa.**

### 6.3.2. UZAVŘENÍ NAPÁJECÍCH HLAV PO PŘEDCHOZÍM VÝPADKU VTO

#### 6.3.2.1. VODA V CELÉM POTRUBÍ JIŽ OCHLAZENA NA 164°C A POTRUBÍ NAHŘÁTÉ NA 220°C (TEORETICKÝ, NEREÁLNÝ PŘÍPAD)

**Zpětně ohřívání voda cca 25,1 m<sup>3</sup> ( $m_v = 22400\text{ kg}$ ):**

- výchozí entalpie  $i_1 = 688,5\text{ kJ/kg}$  ( $t_1 = 164^\circ\text{C}$ , 6,6 MPa) ...celkem obsažené teplo  $Q_1 = m_v \cdot i_1 = 22400 \cdot 688,5 = \text{cca } 15422400\text{ kJ}$

- ohřátá voda o konečné entalpii  $i_2 = 731,1\text{ kJ/kg}$  ( $t_2 = 172^\circ\text{C}$ , 6,6 MPa) ...celkem obsažené teplo  $Q_2 = m_v \cdot i_2 = 22400 \cdot 731,1 = \text{cca } 16376640\text{ kJ}$

Celkově předané teplo:

$$Q = Q_2 - Q_1 = 16376640 - 15422400 = 954240\text{ kJ}$$

Měrné předané teplo vodě:

$$q_v = \left( \frac{i_2 [\text{kJ/kg}] - i_1 [\text{kJ/kg}]}{t_2 [^\circ\text{C}] - t_1 [^\circ\text{C}]} \right) = \frac{(731,1 - 688,5)}{(172 - 164)} = 5,325\text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \dots \text{celkem } Q_v = q_v \cdot m_v =$$

$$5,325 \cdot 22400 = 119280\text{ kJ}^\circ\text{C}$$

Objem nahřátého potrubí cca  $5,57 \text{ m}^3$  ( $m_p = 43725 \text{ kg}$ )...měrné teplo  $c_z = 0,469 \text{ kJ/kgK}$ ... celkem  $Q_p = c_z \cdot m_p = 0,469 \cdot 43725 = 20507 \text{ kJ/}^\circ\text{C}$

Při porovnání potřebného předaného tepla pro změnu teploty o  $1^\circ\text{C}$  vychází, že při ohřevu vody o  $1^\circ\text{C}$  dojde k ochlazení potrubí o  $5,8^\circ\text{C}$ . Poměr teplot tedy je  $\left(\frac{Q_v[\text{kJ/}^\circ\text{C}]}{Q_p[\text{kJ/}^\circ\text{C}]}\right) = \frac{119280}{20507} = 5,8$ . Při teplotě vody  $164^\circ\text{C}$  a teplotě potrubí  $220^\circ\text{C}$  by se tedy teplota vyrovnala na cca  $172\text{--}173^\circ\text{C}$  (voda by se ohřála o cca  $8^\circ\text{C}$  a potrubí by vychladlo o cca  $47^\circ\text{C}$ ).

Z tabulky 6 jsem zjistila přírůstek objemu vody při ohřátí o  $10^\circ\text{C}$  (v oblasti teplot  $165^\circ\text{C}\div 175^\circ\text{C}$ ), který je cca  $1,1\%$  (t.j. cca  $1,1 \text{ litrů/m}^3, ^\circ\text{C}$ ). Zmenšení objemu při zvýšení tlaku o  $10 \text{ MPa}$  (v oblasti tlaků  $6\text{--}12 \text{ MPa}$ ) při teplotách cca  $170^\circ\text{C}$  je cca  $0,67\%$  ( $0,67 \text{ litrů/m}^3, \text{MPa}$ ). Při termickém tlakování celého uzavřeného objemu by byl přírůstek tlaku v důsledku zvýšení teploty cca  $1,52 \text{ MPa/m}^3, ^\circ\text{C}$ . Pokud však nebude ohříván celý uzavřený objem, ale pouze část bude v odpovídajícím poměru sníženo i termické natlakování.

Při objemu ohřívání vody  $25,1 \text{ m}^3$  by tedy ohřátí o  $8^\circ\text{C}$  při konstantním tlaku  $6,5 \text{ MPa}$  způsobilo nárůst objemu  $\Delta V = 8 \cdot 1,1 \cdot 25,1 = 220 \text{ litrů}$ . Při odstavených VTO by to v celkovém objemu cca  $45,8 \text{ m}^3$  ( $26,1 \text{ m}^3$  za VTO a  $19,6 \text{ m}^3$  potrubí od výtlačku ENČ po VTO + ochoz) byl nárůst o cca  $4,8 \text{ litrů/m}^3$  ( $220/45,8$ ). Bez možnosti nárůstu objemu (nefunkční PV) by to v tomto čistě teoretickém (nereálném) případě znamenalo nárůst tlaku

$$\Delta p = \left(\frac{\Delta V[\text{m}^3]}{V[\text{m}^3]}\right) \cdot 100 \cdot x[\text{MPa}/0,1\%] \cdot 10 = \left(\frac{0,22}{45,8}\right) \cdot 100 \cdot 1,52 \cdot 10 = \underline{7,0 \text{ MPa}} \quad \text{na tlak}$$

$$p = 7 + 6,5 = 13,5 \text{ MPa}.$$

Pozn: Pokud zůstanou připojeny i VTO u jedné TG (obou TG) bude tlakový celek zvětšen o  $15,5 \text{ m}^3$  ( $31 \text{ m}^3$ ). Nárůst tlaku pak bude přiměřeně menší. Bez funkčních PV by

$$\text{došlo k nárůstu tlaku o } \Delta p = \left(\frac{\Delta V[\text{m}^3]}{V[\text{m}^3]}\right) \cdot 100 \cdot x \cdot 10 = \left(\frac{0,22}{61,3}\right) \cdot 100 \cdot 1,52 \cdot 10 = \underline{5 \text{ MPa}} \quad (4 \text{ MPa}).$$

#### 6.3.2.2. PŘI ČÁSTEČNÉM PŘEDÁNÍ TEPLA Z POTRUBÍ VODĚ PŘED UZAVŘENÍM NAPÁJECÍCH HLAV (SKOKOVÉ ROZHRANÍ TEPLA)

Ve skutečnosti však nebude v okamžiku uzavření vychladlé vody celé potrubí stále nahřáté na výchozí teplotu. Při průchodu ochlazené vody potrubím od VTO po napájecí hlavy se bude potrubí ochlazovat (a voda ohřívát), takže teplotní rozdíl vody a potrubí v okamžiku uzavření napájecích hlav bude nižší, než bylo uvažováno v předchozím teoretickém (nereálném) případě. Zpětně předané teplo z potrubí do vody a následné termické natlakování bude proto menší. Doba uzavírání S06 je maximálně  $20 \text{ s}$  (dáno projektem).

Časový průběh přestupu tepla (rychlost vychlazování potrubí) nebyl v této analýze prováděn, proto není možno uvést přesnou teplotu vody a potrubí v okamžiku uzavření napájecích hlav. Pro výpočet však bude postačovat i přibližný odhad reálného stavu, který by mohl nastat ve výše uvedeném nejméně příznivém okamžiku uzavření napájecích hlav. Lze předpokládat, že potrubí na počátku ohřívání celku (za VTO) bude za dobu průchodu vody až k napájecím hlavám (cca  $30\text{--}40 \text{ s}$ ) již téměř ochlazené na teplotu vody a na napájecích hlavách bude již voda částečně ohřátá.

Pokud budeme předpokládat průměrné již 50% vychlazení potrubí ještě před uzavřením napájecích hlav, potom by vyšel ohřev vody o cca 4°C (tj. voda z teploty 164°C za VTO by se postupně ohřívala průchodem přes nahřáté potrubí až na teplotu cca 168°C u napájecích hlav), i když potrubí bude ještě na výchozí teplotě 220°C. Při průchodu studené vody potrubím od VTO po napájecí hlavy dojde tedy již k předání cca 50% naakumulovaného tepla z potrubí. Za tohoto předpokladu pak zpětně předané teplo z potrubí do napájecí vody po uzavření napájecích hlav bude o více než 50% nižší, než v předchozím teoretickém případě, neboť průměrný rozdíl teplot mezi vodou a potrubím bude též o cca 50% nižší. Pokud tedy budeme uvažovat s 50% předáním tepla proti předchozímu případu pak i celkové termické natlakování bude poloviční. Tlak by v tomto případě **bez funkčního PV vzrostl maximálně o cca 3,5 MPa (50% ze 7 MPa) na konečných cca 10 MPa (6,5 + 3,5).**

Pozn: Při připojených VTO na jednom TG by byl tlakový celek zvětšen z 45,8 m<sup>3</sup> na 61,3 m<sup>3</sup>. Odpovídající nárůst tlaku bez funkčního PV by byl o cca 2,5 MPa ( $45,8/61,30 = 0,74$ ;  $0,74 \cdot 3,5 = 2,5$ ). Při připojených VTO na obou TG by byl tlakový celek 76,8 m<sup>3</sup> a tomu by odpovídal nárůst tlaku pouze o cca 2,0 MPa ( $45,8/76,8 = 0,59$ ;  $0,59 \cdot 3,5 = 2$ ).

#### 6.3.2.3. PŘI ZOHLEDNĚNÍ ROZHRANÍ TEPLA A ČÁSTEČNÉ PŘEDÁNÍ TEPLA PŘED UZAVŘENÍM NAPÁJECÍ VODY (REÁLNÝ STAV)

Při výpadku VTO nebude vytvořeno okamžité skokové teplotní rozhraní mezi ohřátou a neohřátou vodou, ale vychlazení vody bude rozloženo do určitého časového intervalu z důvodu zbytkového výkonu VTO a doby uzavírání armatur (pára cca 80 s, voda cca 110 s, ochoz VTO cca 30 s). Ani uzavření vody na napájecích hlavách nebude okamžité (doba uzavírání armatur napájecích hlav S01 je cca 60 s, S06 je cca 20 s). V případě výpadku VTO (přejetí na ochoz) je proto možno počítat s minimálně 50% vychlazením vody za VTO již v průběhu přejíždění VTO na ochoz (mísení s vychlazenou vodou přepouštěnou ochozem VTO). Ani v případě prudkého snížení výkonu nebo výpadku TG (okamžitá ztráta topné páry do VTO bez přejetí na ochoz) nedojde ke skokové změně teploty za VTO ale bude též postupné vychlazování (nerovnoměrné rozložení teplot ve VTO, setrvačnost VTO). Za dobu 30-40 s, kdy projde voda od VTO až po napájecí hlavy, nebude ještě vyprázdněn ani celý částečně nahřátý objem vody obou VTO. Skutečné střední rozdíly teplot mezi potrubím a uzavřenou vodou budou proto ještě nižší než v předchozím případě. Při zohlednění těchto skutečností je možno uvažovat s reálným průměrným rozdílem teplot mezi uzavřenou vodou a napájecím potrubím maximálně cca 10-20 °C (55 °C z toho 25 %).

Při tomto rozdílu by pak nárůst tlaku byl **maximálně o cca 1 MPa (25% z 3,5 MPa) na maximální tlak 7,5 MPa (6,5 + 1)**. Ani bez funkčního PV by tedy nedošlo k překročení maximálního povoleného tlaku 9,2 MPa.

Pozn: Pokud zůstane připojen VTO u jednoho nebo obou TG bude tlakový celek zvětšen na 61,3 m<sup>3</sup> resp. 76,8 m<sup>3</sup>. Tomu by pak odpovídal nárůst tlaku již jen o cca 1 MPa.

**Pokud zůstane funkční i PV bude schopen případný vyšší nárůst objemu s dostatečnou rezervou odpouštět.**

**Závěr:**

- a) V teoretickém případě, kdy by došlo k uzavření napájecích hlav za nominálního výkonu bloku (bez výpadku VTO), dojde k termickému tlakování celého celku v důsledku dohřevu vody ve VTO na teplotu páry. Ve srovnání s případem, kdy je uzavřena voda pouze ve VTO, však bude toto termické tlakování mírnější, neboť tlakovaný celek bude větší (více než dvojnásobný). Maximální termické tlakování při otevření topné páry do obou VTO (na obou TG) a při selhání obou PV by bylo o cca 6,5 MPa na cca 13,0 MPa. Při otevření pouze jedné armatury páry nebo funkčním alespoň jedním stávajícím PV by nedošlo k překročení maximálního přípustného tlaku. K termickému tlakování zpětným přestupem tepla z potrubí do vody nedojde, neboť nedošlo k předchozímu vychlazení vody v potrubí.
- Pozn: Jde však pouze o teoretický případ. Při uzavření všech napájecích hlav by totiž došlo i k následnému výpadku topení VTO a ztrátě tlaku v odběrech TG z důvodu zregulování výkonu bloku.
- b) V případě, že by došlo k odstavení VTO (nefunkční pojistný ventil) a následnému uzavření napájecích hlav přesně v okamžiku, kdy ochlazená voda prostoupí celým potrubím až k napájecím hlavám (nestačilo by ještě vychladnout potrubí), může dojít k termickému natlakování napájecího potrubí i z důvodu zpětného přestupu tepla z nahřátého potrubí do napájecí vody. Maximální možné teoretické natlakování by bylo až o cca 7,0 MPa na cca 13,5 MPa (při skokové změně teploty a okamžitým uzavření armatur). V reálném případě by však bylo termické natlakování maximálně o cca 1 MPa, tzn. že by nedošlo k překročení max. přípustného tlaku.
- c) V případě snížení výkonu VTO (snížení výkonu TG, výpadek na VS apod.) nebo při výpadku topení pouze u jednoho VTO a následném uzavření napájecích hlav může dojít k termickému natlakování jak od zůstatkového výkonu VTO tak současně i od zpětného přestupu tepla do vody z nahřátého potrubí. Výsledné termické natlakování však bude menší než v případě úplného odstavení VTO, neboť bude i menší celkový přestup tepla jak ve VTO (nižší parametry topné páry a stejné parametry vstupní vody), tak i zpětný přestup tepla z potrubí do vody (potrubí o stejné výchozí teplotě, ale voda o vyšší teplotě vzhledem k částečnému ohřátí ve VTO).
- d) V případě kumulace více poruch nebo při chybné manipulaci může dojít k termickému tlakování i za nestandardních parametrů (snížená teplota resp. zvýšený tlak napájecí vody), při kterých již není zaručeno, že termické tlakování bude zvládnuto bez překročení maximálního přípustného tlaku. Prakticky neřešitelná situace může nastat při jakémkoliv termickém tlakování spojeném se zvýšenou frekvencí sítě, kdy v důsledku zvýšených otáček ENČ dojde ke stoupnutí tlaku v závěrném bodě ENČ až ke hranici maximálního přípustného tlaku (blíže viz. kap. 6.4). Tento stav nastal například v případě termického tlakování při přechodu JE Dukovany do „Ostrovního režimu“ dne 3.8.2008.

#### **6.4. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ VTO NEBO NAPÁJECÍHO POTRUBÍ PŘI ZVÝŠENÉ FREKVENCÍ SÍTĚ**

V případě, že dojde k termickému tlakování VTO nebo napájecího potrubí při výchozím tlaku vyšším než nominálním (6,5 MPa), dojde k navýšení tlaku o stejnou hodnotu jako v předchozích případech, pouze konečný tlak bude vyšší o počáteční rozdíl oproti nominálnímu tlaku.

#### **6.4.1. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ VTO PŘI UZAVŘENÍ NAPÁJECÍ VODY O VYŠŠÍM NEŽ NOMINÁLNÍM TLAKU**

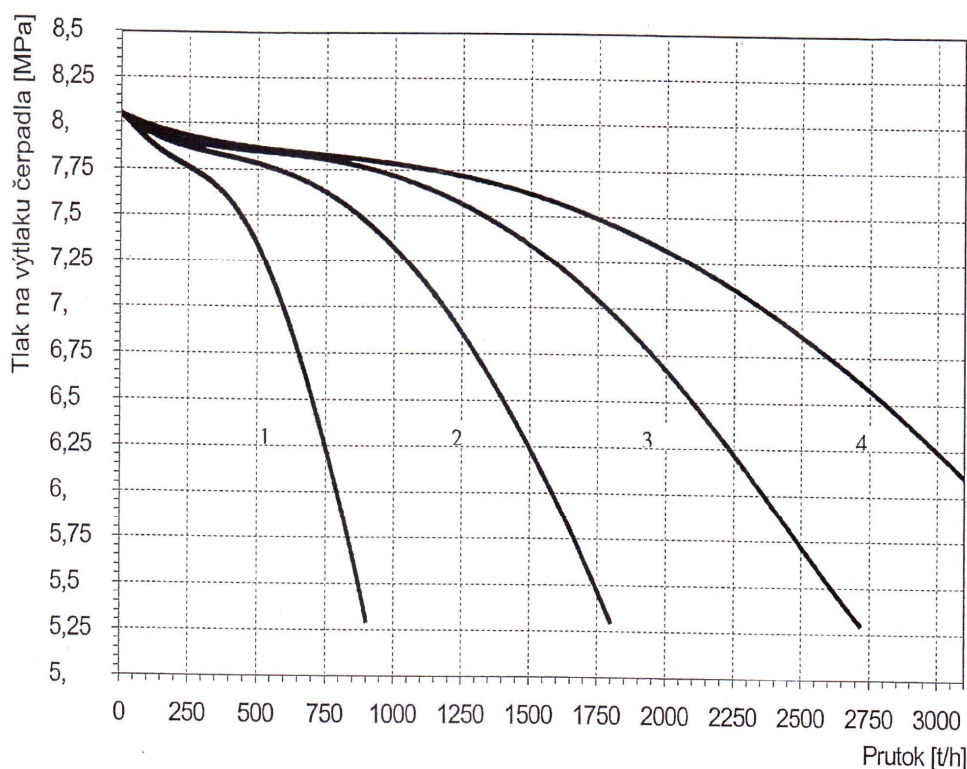
Za nominálního výkonu bloku není prakticky možné, aby při plném výkonu VTO došlo k uzavření vody ve VTO o vyšším tlaku než je nominální tlak (cca 6,5 MPa). Aby došlo k nárůstu tlaku musel by být nižší výkon bloku, kdy je i nižší potřeba napájecí vody. Při nižším výkonu bloku však již není plný výkon VTO (při výkonu TG 75% již přestává topit VTO1 a při výkonech pod 50 % již netopí ani VTO2) a proto tedy nemůže dojít k termickému tlakování plným výkonem VTO, ale pouze přechodným zbytkovým výkonem.

Pokud se ve výpočtech zohlední výchozí tlak 6,5 MPa vychází i stávající PV dostatečný na zvládnutí termického tlakování VTO i při plném výkonu TG a nežádoucím otevření jedné armatury páry.

#### **6.4.2. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ VTO A NAPÁJECÍHO POTRUBÍ PŘI ZVÝŠENÉ FREKVENCI SÍTĚ**

Další možnost, kdy by mohlo dojít ke zvýšení nominálního tlaku je zvýšení frekvence sítě (ostrovní režim). Ani v tomto případě však nelze předpokládat současnou kumulaci maximálního možného tlaku napájecí vody a plného výkonu VTO. Pokud dojde ke zvýšení frekvence, dojde následně ke snížení výkonu bloku a tím ke snížení nebo úplné ztrátě topení VTO. Termické tlakování by proto již nebylo od plného výkonu VTO, ale pouze od zbytkového výkonu VTO nebo případně i zpětným přestupem tepla z nahřátého potrubí do vychlazené vody. Nárůsty objemů vody a tomu odpovídající přírůstky tlaku by byly obdobné jako při termickém tlakování bez zvýšené frekvence, pouze výchozí tlak před termickým tlakováním by byl posunut na vyšší hodnotu. Čím více by se však výchozí tlak napájecí vody před počátkem termického tlakování blížil k otevíracímu tlaku PV, tím vyšší by musela být i hltlost PV, aby byl schopen zvládnout termické tlakování bez překročení maximální povolené hodnoty tlaku. V okamžiku, kdy výchozí hodnota tlaku před termickým tlakováním již dosáhne maximální přípustné hodnoty, je pak již prakticky nemožné pomocí PV zabránit přechodnému překročení tohoto tlaku.

Za nominálního výkonu bloku je při nominální frekvenci 50 Hz tlak napájecí vody cca 6,5 MPa. Při nižších výkonech bloku (náběh nebo odstavování bloku) roste tlak napájecí vody v závislosti na poklesu průtoku (viz. charakteristika paralelního chodu ENČ). Maximální tlak (závěrný) může dosáhnout i více než 8,2 MPa (otevírací tlak PV je 8,2 MPa). V případě, že by však došlo ke zvýšení frekvence došlo by i ke zvýšení otáček ENČ a tím navýšení tlaku. Při maximální dovolené frekvenci sítě 52,5 Hz by pak mohl být závěrný tlak ENČ vyšší než 9,2 MPa (plné otevření PV), což je již maximální přípustný tlak ve VTO. Jakékoliv další termické tlakování by tedy pak již zvýšilo přechodně tlak nad tuto maximální přípustnou hodnotu bez ohledu na hltlost PV. (viz. výpočet tlaku na výtlaku ENČ)



Obrázek 11: Charakteristika paralelního chodu ENČ

### Výpočet tlaku na výtlaku ENČ z charakteristiky dané výrobcem:

#### **Měrná energie ENČ:**

Z charakteristiky čerpadla při frekvenci sítě 50 Hz je měrná energie (pro závěrný bod) ENČ cca 7900 J/kg. Provozovaná ENČ mohou mít i vyšší parametry.

#### **Navýšení tlaku ENČ:**

Při teplotě 165°C ( $\rho = 903,4 \text{ kg/m}^3$ ) je pak zvýšení tlaku na ENČ pro závěrný bod:

$$\Delta p = Y \cdot \rho = 7900 \cdot 903,4 = 7,15 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 7,15 \text{ MPa}$$

#### **Tlak na výtlaku ENČ:**

Při tlaku na sání cca 0,9 MPa je pak tlak na výtlaku:  $p_v = p_s + \Delta p = 0,9 + 7,15 = 8,05 \text{ MPa}$

#### **Přepočet charakteristiky udávané v metrech vodního sloupce:**

$$\Delta p = h \cdot \rho \cdot g$$

**Pro teplotu vody 165°C ( $\rho = 903,4 \text{ kg/m}^3$ ) je odpovídající tlak (navýšení tlaku čerpadlem):**

- závěrný bod ENČ pro maximální dovolenou frekvenci sítě 52,5 Hz ..... cca 900m

$$\Delta p = h \cdot \rho \cdot g = 900 \cdot 903,4 \cdot 9,81 = 7,98 \cdot 10^6 \text{ Pa} = 7,98 \text{ MPa} \dots \text{cca } 8,0 \text{ MPa}$$

**Tlak na výtlaku ENČ v závěrném bodě při tlaku sání 0,9 MPa pak bude:**

$$p_v = p_s + \Delta p = 0,9 + 8,0 = 8,9 \text{ MPa}$$

### Přepočítání závěrného bodu při frekvenci 52,5 Hz:

3000 otáček.....50 Hz

x otáček.....52,5 Hz

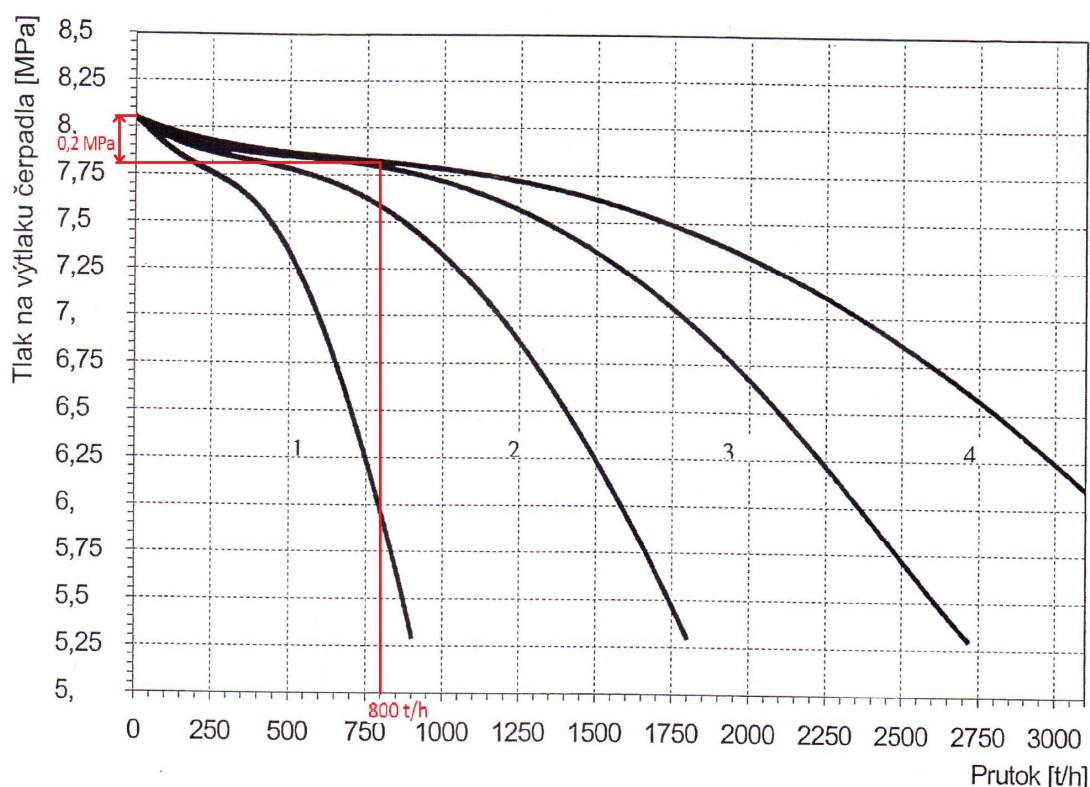
x = 3150 otáček

$$p_2 = p_1(n_2/n_1)^2 \quad [9]$$

$$p_2 = 8,05 \cdot (3114/3000)^2 = 8,87 \text{ MPa} \dots \text{cca } 8,9 \text{ MPa}$$

Při ostrovním provozu bylo na 3. reaktorovém bloku v provozu ENČ se závěrným tlakem na výtlaku cca 8,4 MPa (při normální frekvenci sítě). Pokud by byla dosažena maximální přípustná frekvence (52,5 Hz) byl závěrný tlak na výtlaku ENČ cca 9,3 MPa (8,9 + 0,4) i bez termického tlakování.

Pokud by měl PV zabránit zvýšení tlaku i za zvýšené frekvence musel by mít hltlost vyšší než je odpovídající průtok z charakteristiky ENČ. Po zrušení automatiky odstavování ENČ je však nyní situace prakticky neřešitelná, neboť i po uzavření napájecích hlav zůstanou běžet všechny ENČ, které běžely před uzavřením napájecích hlav (dokud nejsou jako přebytečné odstaveny operátorem). Pokud by se chtěl pomocí PV snížit tlak o 0,2 MPa i při chodu čtyř ENČ musel by PV mít již hltlost vyšší než 800 t/hod (viz. charakteristika paralelního chodu ENČ).



Obrázek 12: Charakteristika paralelního chodu ENČ  
+ vyznačení hltnosti PV a snížení tlaku

Pro posouzení dostatečnosti PV VTO nebo nutnosti dalšího PV na trase napájecí vody mimo VTO není proto možné uvažovat s poruchovými stavy a kumulacemi poruch, které nastanou v kombinaci se zvýšenou frekvencí sítě. Bez zabránění navýšení otáček ENČ při zvýšené frekvenci sítě není totiž možné pouhým PV zabránit překročení maximálního přípustného tlaku.

### **Závěr:**

V případě, že dojde ke kumulaci poruch spojených se zvýšenou frekvencí sítě, nelze při termickém tlakování VTO nebo napájecího potrubí dostatečně účinně zabránit nárůstu tlaku nad maximální povolenou hodnotu 9,2 MPa ani zvýšením hltnosti PV (nebo dalšími PV), neboť samotný závěrný tlak ENČ při maximální povolené frekvenci se již blíží nebo může překročit maximální přípustnou hodnotu. Pro zvládnutí tohoto stavu by muselo dojít současně i k zamezení nárůstu otáček ENČ (závěrného tlaku) z důvodu zvýšení frekvence.

Pokud tedy nebude toto omezení provedeno a v důsledku zvýšené frekvence dojde při termickém tlakování k překročení maximálního provozního tlaku, je nutno následně individuálně posoudit celý průběh tlakování (hodnota tlaku, dobu trvání) a podle výsledku rozhodnout, zda je možno zařízení dále provozovat nebo zda je nutno provést revizi či dokonce výměnu.

## **6.5. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ PŘI OSTROVNÍM REŽIMU 3.8.2006**

Dne 3.8.2006 v 14:51:00.700 SELČ došlo v rozvodně Sokolnice ke zkratu na vývodu V417. Vzhledem k probíhající rekonstrukci rozvodny 400 kV byla vyřazena ochrana přípojníc a zkrat tedy nebyl vypnut v základním čase. Zkrat byl (v čase do +0,56 s) odpojen od zdrojů ochranami příslušných linek vedoucích do rozvodny Sokolnice. Následně (v čase +0,610 s) došlo k vypnutí linek V422 a V433, čímž vzniknul ostrov zahrnující rozvodny Slavětice a Čebín. Zátěž ostrova tvořily odběry zapojené do uvedených rozvodů. Zdrojem ostrova bylo všech 8 TG JE Dukovany, které přešly do ostrovního provozu. V průběhu ostrovního provozu proběhlo postupné snižování frekvence pomocí snižování výkonu TG. Ostrovní provoz byl ukončen v čase 15:24 sepnutím do přenosu linky V433.

V průběhu přechodového procesu a zregulování do ostrovního provozu a v průběhu ostrovního provozu ochrany a automatiky na 1., 2. a 4. reaktorovém bloku působily správně, při přechodovém stavu na těchto blocích nenastaly závažnější problémy. Na 3. reaktorovém bloku při přechodovém ději při velkém poklesu napětí ( $< 0,7U_n$ ) na rozvaděči DA11 neproběhl automatický záskok na rezervní napájení a došlo k jeho výpadku. Tento výpadek postihl většinu regulátorů na sekundárním okruhu, především však armatur RLxxS02 na napájecí vodě do PG. Při složitém přechodovém ději došlo nejdříve k rychlému nárůstu hladin v PG. Po automatickém uzavření armatur RLxxS01 a RLxxS06 od SGPS nastal nárůst tlaku v HNK a snižování hladin v PG až na hodnotu zapůsobení HO-3 a odstavení HCČ4 od poklesu hladiny v PG4 na 150cm. Při stabilizaci parametrů SO (obnovu hladin v PG) došlo ke snížení tlaku v HNK, uzavření RZV obou TG, zapůsobení signálu roztržení HNK a k opětovnému zapůsobení HO-3 od hladiny ve dvou dalších PG s následným přechodem reaktoru do režimu R3. [5]

V případě termického tlakování při ostrovním režimu došlo k uzavření vody a natlakování napájecího potrubí od výtlačku ENČ až po napájecí hlavy. Při termickém tlakování však nebyl již plný, ale pouze zbytkový výkon VTO (snížení výkonu TG na 45÷50 MW) a byly funkční oba pojistné ventily (nebyl výpadek VTO). Na druhou stranu však z důvodu zvýšené frekvence sítě byl i vyšší výchozí tlak napájecí vody než za nominálního provozu (ovlivnění Q-H charakteristiky ENČ).

**Přehled průběhu hlavních událostí a tlakování napájecího kolektoru při ostrovním režimu 3.8.2006 (14.51 hod) na 3. reaktorovém bloku**

|              |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 14:51:01     | Začátek zkratu v rozvodně Sokolnice                                                                                                                          |                                                                                                   |
| 14:51:02     | $f > 50,2$ Hz, signál „Ostrovní provoz“,                                                                                                                     |                                                                                                   |
| 14:51:02 -04 | Působení RLS, HO3, od vysokého průtoku HČČ                                                                                                                   |                                                                                                   |
| 14:51:04     | Snížování výkonu TG 31/32 pomocí automatik ostrovního provozu až na hodnoty 45/50 MW                                                                         |                                                                                                   |
| 14:51:04     | Max.otáčky TG31/32 3174/3170 ot/min                                                                                                                          |                                                                                                   |
| 14:51:13     | Přechodná stabilizace frekvence na 52,2 Hz                                                                                                                   |                                                                                                   |
| 14:51:30     | Pokles teploty NV za VTO2 TG31/32 z 221°C na 183/178°C                                                                                                       |                                                                                                   |
| -14:53:20    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:52:25     | Signál SGPS ( $L_{PG} +100$ mm)                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:52:39     | Postupný pokles průtoku NV v důsledku zavírání S01, S03, S06, prudký pokles hl. v PG růst tlaku NV až na 9,8 MPa                                             | Pokles teploty za VTO2 TG31/32 z cca 221°C na 183/178°C, za VTO1 TG31/32 z cca 188°C na cca 170°C |
| -14:53:21    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:53        | Přechodná stabilizace frekvence na 51,9 Hz                                                                                                                   |                                                                                                   |
| 14:53:21     | Uzavření poslední napájecí hlavy (3RL35S06, 3RL31S06). Zastavení průtoku NV, nárůst tlaku na 9,07 MPa a následně až na 9,85 MPa                              | Uzavření poslední napájecí hlavy (S06)                                                            |
| 14:53:53     | Postupné odstavení ENČ2,1,5 operátorem pro zabránění růstu tlaku NV                                                                                          |                                                                                                   |
| -14:54:05    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:54:01     | Dosažení max. hodnoty tlaku v HVK <b>9,85 MPa</b>                                                                                                            | <b>První tlakování!</b>                                                                           |
| 14:53:39     | Automatické otevírání S06 po poklesu $L_{PG}$ pod +100mm                                                                                                     |                                                                                                   |
| -14:54:34    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:53:06-21  | Otvírání 3RL74S06 (při zavřené S01 a S03)                                                                                                                    | Otevření první S06 při zavřených S01, S03                                                         |
| 14:53:40     | Otvírání ostatní S06 (zavřené S01 a S03)                                                                                                                     |                                                                                                   |
| -14:54:22    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:54:00-24  | Otvírání 3RL74S03 operátorem, obnovení průtoku NV                                                                                                            | Otevření první S03 při otevřené S06                                                               |
| 14:54:41     | Signál SGPS „Snížení 2/6 $L_{PG}$ -140 mm“, najetí HNC,                                                                                                      |                                                                                                   |
| 14:54:41     | Automatické otevírání ostatních S03 (od $L_{nom} = -140$ mm)                                                                                                 |                                                                                                   |
| -14:55:05    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:54:58     | Otvírání 3RL33S01 operátorem (po předchozím otevření S06 a S03)                                                                                              | Otevření první S01 při otevřené S03 a S06                                                         |
| -14:55:23    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:55:44     | Působení RLS ( $L_{celkPG} <170$ cm), HO3                                                                                                                    |                                                                                                   |
| 14:55:48     | Signál SAS (pokles $L_{PG}$ pod 140 cm v PG4)                                                                                                                | Vypnutí HČČ4                                                                                      |
| 14:56:15 -   | Otvírání ostatních S06 a S01 operátorem pro ukončení H03 -prudký pokles tlaku NV                                                                             |                                                                                                   |
| 14:56:59     |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 14:56:29     | Signál ESFAS „Roztržení HNK, HVK“ od tlaku NV <4,9 MPa, rozdělení HNK, HVK vypnutí a BZ HNC                                                                  | Další pokles hladiny v PG1,3,5 (jediná běžící ENČ doplňuje PG2,4,6)                               |
| 14:56:39     | Uzavření RZV TG31,32 působením SAS                                                                                                                           |                                                                                                   |
| 14:59:31     | Působení RLS od celkové hladiny ve 2 ze 6-ti PG( $L_{celkPG} <170$ cm), snížení hladin v PG1 a PG5, RLS působí až do úplného odstavení reaktoru do režimu R3 |                                                                                                   |
| 14:59:55     | Nárůst hladiny v PG, Signál SGPS (+100mm), uzavírání S06 a S01, S03 u PG2,4,6                                                                                |                                                                                                   |
| 15:00:15     | Uzavření poslední S06 (3RL74S06), růst tlaku v HNK, HNK (PG2,4,6) na <b>9,08 MPa</b>                                                                         | Druhé tlakování !                                                                                 |
| -15:00:30    |                                                                                                                                                              |                                                                                                   |
| 15:01:18     | Najetí HNC1,2 operátorem -doplňování PG1,5                                                                                                                   |                                                                                                   |
| 15:22        | Uzavření výtlačku na ENČ34 operátorem -postupné snížení tlaku HVK, HNK                                                                                       |                                                                                                   |
| 15:38        | Propojení HNK, HVK operátorem (otevření sekčních armatur) vyrovnání tlaků                                                                                    |                                                                                                   |

Tabulka 7: Průběh hlavních událostí při ostrovním režimu na 3. reaktorovém bloku[5]

**RLS (Reactor Limitation System = Systém omezování výkonu reaktoru)**

RLS je jednou z nejdůležitějších funkcí reaktoru v JE Dukovany. Funkce RLS generuje dva limitační signály HO-3 a HO-4 na základě překročení předem různě definovaných technologických, jaderně neutronových mezí. Po odeznění těchto mezí a příčin přestane působit i příslušný signál generovaný RLS.

Signál **HO-4** zablokuje zvedání kazet HRK a tím je zamezeno zvyšování výkonu reaktoru.

Působení signálu **HO-3** jsou postupně zasouvány kazety HRK po skupinách do AZ, v pořadí od šesté do první, pracovní rychlostí 2cm/s, čímž nastává pozvolné snižování výkonu reaktoru. Např. při poklesu hladiny ve 2/6 PG pod 170cm dojde k působení HO-3 až do doby obnovy hladiny alespoň v jednom z daných PG (v ostatních PG musí být hladina nad 170cm).

**SGPS (Steam Generator Protection System = ochranný systém parogenerátorů)**

Systém SGPS zajišťuje omezení velkých změn hladiny napájecí vody v PG během abnormálních a havarijních stavů (při rychlých změnách výkonu a tím i odparu z PG – a tím i hladiny v PG). Jeho základní funkcí je udržet střední hladinu v mezích -140mm až +100mm od nominální úrovně.

**ESFAS (Engineered Safety Feature Actuation System = systém zajištění bezpečnosti)**

Systém zajištění bezpečnosti je jednou z nejdůležitějších a základních funkcí bezpečnostních systémů v JE Dukovany. Funkce ESFAS působí v případě PIU (postulované iniciační události) spojené s celistvostí I.O. nebo II.O. a uvádí do činnosti různá zařízení bezpečnostních systémů, která zajišťují:

1. Chlazení AZ reaktoru
2. Havarijní doplňování vody do I.O. a II.O. a odvod tepla z AZ
3. Zabránění úniku radioaktivních médií z hermetické zóny

**SAS (Support Action System = Systém pro podpůrné zásahy)**

Plní další důležité funkce pro bezpečný provoz JE Dukovany. Spolupracuje se systémy ESFAS a RTS.

**RTS (Reactor Trip System)**

Plní jednu z nejdůležitějších a základních funkcí bezpečnostních systémů v JE Dukovany. Funkce RTS působí, jestliže technologický proces překročí předem určené technologické, jaderně neutronové meze nebo jsou iniciovány ostatní příčiny pro zapůsobení RTS. Dojde k pádu všech kazet HRK do AZ a tím k zastavení štěpné řetězové reakce v reaktoru s následnou aktivací automatik působících na některé akční členy (armatury). Plnění této bezpečnostní funkce přispívá zejména k udržení integrity jaderného paliva v reaktoru a k zachování integrity I.O.

### Parametry vody a páry v průběhu tlakování:

| Čas      | TG   | Teplota před VTO1 | Teplota před VTO2 | Teplota za VTO2 | Tlak v HVK | Tlak v 7.odb. | Tlak v 8.odb. | Poznámka                                            |
|----------|------|-------------------|-------------------|-----------------|------------|---------------|---------------|-----------------------------------------------------|
| 14:51:01 | TG31 | 164,5°C           | 189/193°C         | 221°C           | 6,7 MPa    | 1,2 MPa       | 2,7 MPa       | výchozí stav                                        |
| 14:51:01 | TG32 | 165°C             | 189/190°C         | 221°C           | 6,7 MPa    | 1,2 MPa       | 2,7 MPa       | výchozí stav                                        |
| 14:51:04 |      |                   |                   |                 |            | 0,2 MPa       | 0,4 MPa       | $N_{TG}=45/50$ MW                                   |
| 14:52:30 | TG31 | 164,5°C           | 179°C             | 202°C           | 7,0 MPa    | 0,3 MPa       | 0,6 MPa       | postupné<br>zavírání<br>napájecích hlav             |
| 14:52:30 | TG32 | 165°C             | 171/177°C         | 198°C           | 7,0 MPa    | 0,2 MPa       | 0,5 MPa       |                                                     |
| 14:53:00 | TG31 | 164°C             | 175°C             | 192°C           | 7,7 MPa    | 0,34 MPa      | 0,73 MPa      | <b>parametry před uzavřením vody</b>                |
| 14:53:00 | TG32 | 165°C             | 169/173°C         | 187°C           | 7,7 MPa    | 0,27 MPa      | 0,65 MPa      |                                                     |
| 14:53:19 | TG31 | 164°C             | 173°C             | 188°C           | 9,3 MPa    | 0,4 MPa       | 0,8 MPa       | dovření poslední<br>NH, počátek<br>term.tlak.       |
| 14:53:19 | TG32 | 165°C             | 168/172°C         | 182°C           | 9,3 MPa    | 0,3 MPa       | 0,7 MPa       |                                                     |
| 14:53:56 | TG31 | 164°C             | 170/171°C         | 182°C           | 9,8 MPa    | 0,4 MPa       | 0,9 MPa       | <b>max. tlak,<br/>počátek otvírání<br/>první NH</b> |
| 14:53:56 | TG32 | 164°C             | 167/170°C         | 176°C           | 9,8 MPa    | 0,3 MPa       | 0,7 MPa       |                                                     |

Tabulka 8: Parametry vody a páry v průběhu tlakování [5]

### Celkový objem vody a objem ohříváné vody v odstaveném VTO1,2 pro jeden TG

**Objem vody v jednom VTO:**  $5,5 \text{ m}^3$  (z toho ohříváná v trubkách..... $3,43 \text{ m}^3$ , zbytek neohříváný ..  $2,07 \text{ m}^3$ )

**Objem vody ohříváné:** VTO1,2 (trubky) ..... $2 \times 3,43 = 6,86 \text{ m}^3$

**Objem neohříváné vody:** VTO1,2 (vodní komora).....cca  $4,14 \text{ m}^3$ ,  
potrubí mimo VTO1,2 .....cca  $4,50 \text{ m}^3$

**Celkový objem neohříváné vody:** VTO1,2 a potrubí:  $4,14 + 4,50 = 8,64 \text{ m}^3$

**Celkový uzavřený objem vody:**  $4,66 + 4,50 + 6,86 = 15,5 \text{ m}^3$

**Poměr ohříváné vody k celkovému objemu:**  $6,86/15,5 = 0,44 = 44\%$

#### **6.5.1. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ ZBYTKOVÝM TEPEM Z VTO**

Vzhledem k tomu, že při ostrovním režimu došlo k okamžitému snížení výkonu TG odpovídající téměř výkonu VS, nebyly při uzavření napájecí vody již VTO vytápěny (tlak v odběrech nedostatečný). Naakumulované teplo v konstrukčních materiálech a kondenzátu topné páry však mohlo též přispět k termickému tlakování uzavřené vody.

Pokud by ihned po výpadku topení VTO došlo k uzavření vody pouze ve VTO (např. přejetí na ochoz) pak by okamžité přínosy k termickému tlakování při uzavření  $15,5 \text{ m}^3$  vody ve VTO byly (dle kap. 6.3.) následující:

- ohřevem vody nahřátým kondenzátem topné páry ...nárůst tlaku o cca 0,9 MPa (přírůstek objemu o cca 10 l)
- ohřevem vody parou z parního prostoru ...nárůst tlaku o cca 0,2 MPa (přírůstek objemu o cca 2 l)

Pokud ovšem zůstanou VTO připojené k napájecímu potrubí a dojde k uzavření napájecí vody až na napájecích hlavách bude tlakový celek zvětšen na  $V = 76,8 \text{ m}^3$ . Při termickém tlakování zůstatkovým teplem z VTO u obou TG by pak byl při celkovém přírůstku objemu ( $\Delta V = 2 \cdot 12 \text{ l}$ ) přírůstek tlaku pouze

$$\Delta p = \left( \frac{\Delta V [\text{m}^3]}{V [\text{m}^3]} \right) \cdot 100 \cdot x [\text{MPa} / 0,1\%] \cdot 10 = \left( \frac{0,024}{76,8} \right) \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 10 = \underline{0,5 \text{ MPa}}.$$

Nejvyšší přínos k termickému tlakování by měl ohřev vody naakumulovaným teplem z konstrukčního materiálu. Nárůst objemu cca  $\Delta V = 107 \text{ l}$  by mohl způsobit termické natlakování až o  $\Delta p = \left( \frac{\Delta V [\text{m}^3]}{V [\text{m}^3]} \right) \cdot 100 \cdot x [\text{MPa} / 0,1\%] \cdot 10 = \left( \frac{0,214}{76,8} \right) \cdot 100 \cdot 1,35 \cdot 10 = \underline{3,8 \text{ MPa}}.$

S tímto přínosem by však bylo možno počítat pouze při dokonale izolované soustavě a bez funkčního PV. Přestup naakumulovaného tepla z konstrukčních materiálů VTO do vody je časově mnohem delší než přestup z topného kondenzátu nebo nahřátého potrubí. Pokud by byl funkční alespoň jeden pojistný ventil i s nižší hltností než stávající PV VTO musel by nárůst objemu v důsledku tohoto pozvolného přestupu tepla s dostatečnou rezervou eliminovat.

I když neznáme rychlost přestupu tepla z konstrukčních materiálů do vody lze tvrdit, že trend nárůstu objemu vody by byl mnohem nižší, než je hltnost stávajícího PV. Celkový teoretický nárůst objemu 107 l by totiž při stávajícím pojistném ventilu o hltnosti 2 kg/s byl odpuštěn již během jediné minuty.

Vyšší přírůstek objemu vody, který by mohl přispět k termickému tlakování by se projevil až v delším časovém intervalu a byl by tedy nebezpečný pouze při nefunkčním PV. **Reálný přírůstek tlaku okamžitě po výpadku VTO v důsledku termického tlakování zbytkovým naakumulovaným teplem je pouze cca 0,5 MPa.**

### 6.5.2. TERMICKÉ TLAKOVÁNÍ OD NAHŘÁTÉHO POTRUBÍ ZA VTO

Zpětně ohřívána voda cca  $25,1 \text{ m}^3$  ( $m_v = 22400 \text{ kg}$ ), výchozí entalpie  $i_1 = 688,5 \text{ kJ/kg}$  ( $164^\circ\text{C}$ ,  $6,5 \text{ MPa}$ ).

Objem nahřátého potrubí cca  $5,57 \text{ m}^3$  ( $m_p = 43725 \text{ kg}$ ), výchozí teplota cca  $220^\circ\text{C}$ , měrné teplo  $c_z = 0,469 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C}$  (dle kap. 6.3.).

V teoretickém případě, pokud bychom neuvažovali s předchozím částečným vychlazením potrubí napájecí vody ještě před uzavřením napájecích hlav by došlo k vyrovnání teploty na cca  $172^\circ\text{C}$  (ohřev vody o cca  $8^\circ\text{C}$ , ochlazení potrubí o cca  $47^\circ\text{C}$ ). Konečná entalpie vody by byla  $731,1 \text{ kJ/kg}$  ( $172^\circ\text{C}$ ,  $6,6 \text{ MPa}$ ). Při konstantním tlaku  $6,5 \text{ MPa}$  by došlo k nárůstu objemu o cca 220 litrů.

- a) Při odstavených VTO na obou TG by byl celkový uzavřený objemu vody  $V = 45,8 \text{ m}^3$ .

Nárůstu objemu  $\left( \frac{\Delta V [\text{l}]}{V [\text{m}^3]} \right) = \left( \frac{220}{45,8} \right) = 4,8 \text{ l} / \text{m}^3$  by odpovídal (bez funkčních PV) nárůst tlaku o cca  $6,5\text{--}7,0 \text{ MPa}$  na konečný tlak  $13\text{--}13,5 \text{ MPa}$ .

- b) V případě připojených VTO1,2 na obou TG by byl tlakový celek větší o  $2 \cdot 15,5 \text{ m}^3$  ...celkem cca  $V = 76,8 \text{ m}^3$ .

Při stejném celkovém nárůstu objemu  $\Delta V = 220$  litrů by byl měrný nárůst objemu  $\left(\frac{\Delta V[l]}{V[m^3]}\right) = \left(\frac{220}{76,8}\right) = 2,8l/m^3$ . Bez možnosti nárůstu objemu by to znamenalo zvýšení tlaku o cca 4 MPa  $((76,8/45,8 - 1) \cdot 6,5)$ . Konečný tlak při nefunkčním PV bez termického tlakování ve VTO by pak byl  $p = 4 + 6,5 = \underline{10,5 \text{ MPa}}$ .

V reálném případě však není možné, aby byla uzavřena voda o teplotě 165°C v potrubí o teplotě 220°C. Průchodem chladnější vody zahřátým potrubím až k napájecím hlavám dojde k částečnému ochlazení potrubí a ohřevu vody. Reálné teplotní rozdíly mezi vodou a potrubím proto budou mnohem menší než v uvedeném teoretickém případě a termické tlakování proto bude ve skutečnosti též nižší. Pokud předpokládáme již cca 50% přestup tepla z potrubí do vody v průběhu průchodu ochlazené vody ještě před uzavřením napájecích hlav byl by celkový nárůst tlaku též pouze 50%. Při připojených VTO by tedy došlo i bez funkčního PV k nárůstu tlaku pouze o cca 2 MPa.

Pozn: Vzhledem k tomu, že však ve skutečnosti při výpadku topení VTO nebude nikdy vytvořeno ani skokové rozhraní mezi ohřátou vodou a vodou o teplotě 165°C bude i výsledné termické tlakování ještě mírnější. A to jak v případě výpadku topné páry do VTO tak i v případě odstavení VTO a přejetí na ochoz. I v případě okamžitého výpadku topné páry (při prudkém snížení výkonu TG) dojde k postupnému vychladnutí vody z důvodu předání zbytkového naakumulovaného tepla ve VTO. Pokles teploty napájecí vody tedy nebude skokový, ale vychlazení proběhne v určitém časovém intervalu. Tím bude výsledné termické tlakování dále zmírněno.

V případě přejetí napájecí vody z VTO na ochoz by byl výsledný teplotní rozdíl ještě menší, neboť při otvírání armatury na ochozu by již docházelo k postupnému míchání teplé vody vystupující z VTO a chladné vody jdoucí ochozem. Průměrný teplotní rozdíl mezi napájecí vodou a zahřátým potrubím by pak v okamžiku uzavření napájecích hlav byl ještě nižší než při pouhém výpadku topení VTO (uzavření páry či ztráta tlaku v odběrech).

Jako reálnou hodnotu, je proto možno brát průměrný rozdíl teplot mezi napájecí vodou a potrubím, hodnotu cca 10-20 °C. Při tomto rozdílu by pak **reálné termické natlakování zpětným přestupem tepla z potrubí do napájecí vody vycházelo maximálně cca 1 MPa (z kapitoly 6.3.2.3.)**.

### 6.5.3. VYHODNOCENÍ PRŮBĚHU TERMICKÉHO TLAKOVÁNÍ ZE DNE 3.8.2006

V důsledku kumulace několika poruchových stavů došlo dne 3. 8. 2006 k přechodnému natlakování výtlačného kolektoru ENČ až na hodnotu 9,85 MPa (z tabulky č. 8). Maximální dovolená provozní hodnota tlaku je 9,2 MPa pro VTO, byla tedy překročena o cca 0,65 MPa.

Dle teoretické charakteristiky ENČ je maximální tlak v závěrném bodě pouze cca 8,05 MPa (při frekvenci 50 Hz). Při přepočtu na frekvenci 51,9 Hz by pak závěrný tlak vycházel cca 8,7 MPa. Po podrobnějším rozboru časového průběhu tlakování lze však konstatovat, že závěrný tlak ENČ4 v tomto případě byl až cca 9,1 MPa. To by znamenalo, že ENČ4, které běželo v době termického tlakování mělo vyšší parametry, než odpovídá teoretické průměrné charakteristice ENČ.

### Přepočet závěrného bodu při frekvenci 51,9 Hz:

3000 otáček.....50 Hz

x otáček.....51,9 Hz

x = 3114 otáček

$$p_2 = p_1(n_2/n_1)^2 [9]$$

$$p_2 = 8,05 \cdot (3114/3000)^2 = 8,67 \text{ MPa} \dots \text{cca } 8,7 \text{ MPa}$$

Jestliže tedy při frekvenci 51,9 Hz bylo dosaženo závěrného bodu ENČ4 až 9,1 MPa, pak při maximální povolené frekvenci 52,5 Hz by byl závěrný tlak až cca 9,3 MPa. To je ovšem již vyšší hodnota než maximální povolená provozní hodnota tlaku. Pokud tedy při maximální dovolené frekvenci dojde ještě k termickému tlakování pak ani zvýšení hltnosti nebo instalace dalšího pojistného ventilu nepomůže zabránit přechodnému převýšení maximální přípustné hodnoty tlaku. Aby bylo možno tomuto převýšení zamezit muselo by se v první řadě zabránit navýšení otáček ENČ z důvodu zvýšené frekvence.

Přímý důkaz o tom, že ENČ4 mělo vyšší parametry nelze nyní již předložit, neboť čerpadlo bylo v následující odstavce bloku vyměněno. Potvrzení vyšších parametrů u ENČ4 je však možno prokázat i nepřímě z průběhu tlaku v době, kdy již odeznělo termické tlakování. V čase 15:00:30 hod (z tabulky č. 7) tj. cca 6,5 min od prvního tlakování došlo v důsledku nového uzavření všech napájecích hlav k druhému tlakování výtlačného potrubí. Ačkoliv však již v této době nemohlo být žádné termické tlakování došlo i v tomto případě k navýšení tlaku až na hodnotu 9,1 MPa. Jediným zdrojem navýšení v tomto případě přitom byla zvýšená frekvence.

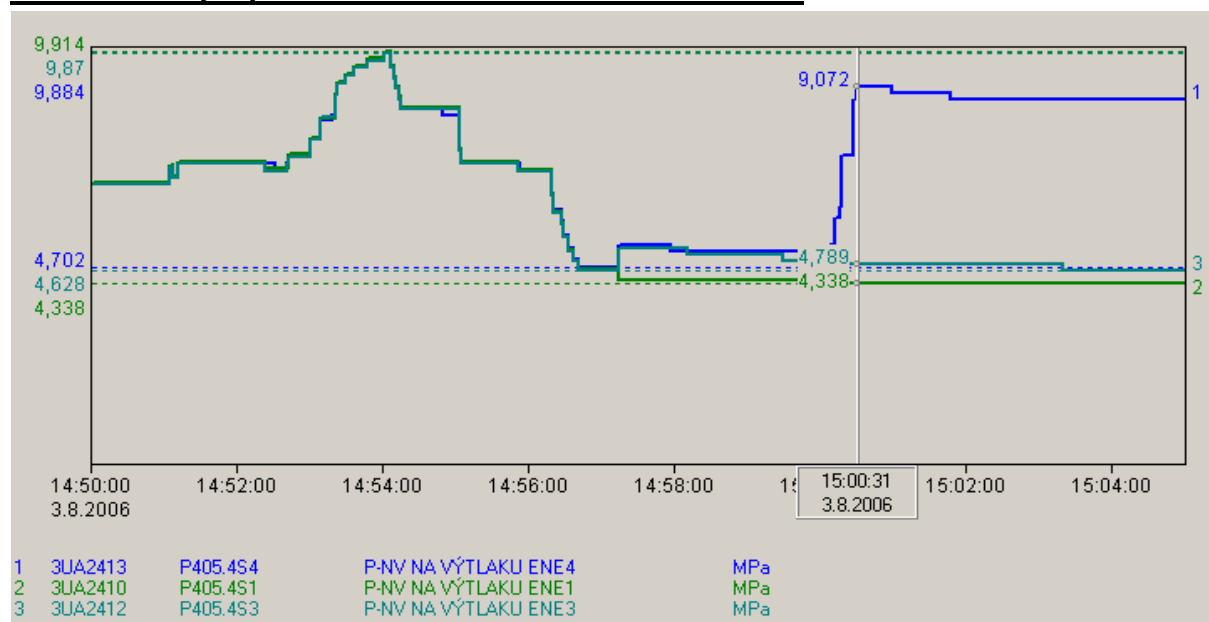
### Časový sled tlakování napájecího kolektoru dne 3.8.2006

| Čas             | 3UR9122    | 3UR9123    |
|-----------------|------------|------------|
|                 | [MPa]      | [MPa]      |
| 14:52:50        | 7,3        | 7,3        |
| 14:52:58        | 7,7        | 7,7        |
| 14:52:59        | 7,7        | 7,7        |
| 14:53:08        | 8,2        | 8,2        |
| 14:53:09        | 8,3        | 8,3        |
| <b>14:53:18</b> | <b>8,6</b> | <b>8,6</b> |
| <b>14:53:27</b> | <b>9,3</b> | <b>9,3</b> |
| 14:53:28        | 9,3        | 9,3        |
| 14:53:36        | 9,5        | 9,5        |
| 14:53:37        | 9,5        | 9,5        |
| 14:53:46        | 9,7        | 9,7        |
| 14:53:47        | 9,7        | 9,7        |
| 14:53:55        | 9,8        | 9,8        |
| 14:53:56        | 9,8        | 9,8        |
| 14:54:02        | 9,8        | 9,9        |
| 14:54:05        | 9,5        | 9,5        |
| 14:54:06        | 9,4        | 9,4        |
| 14:54:14        | 8,4        | 8,4        |

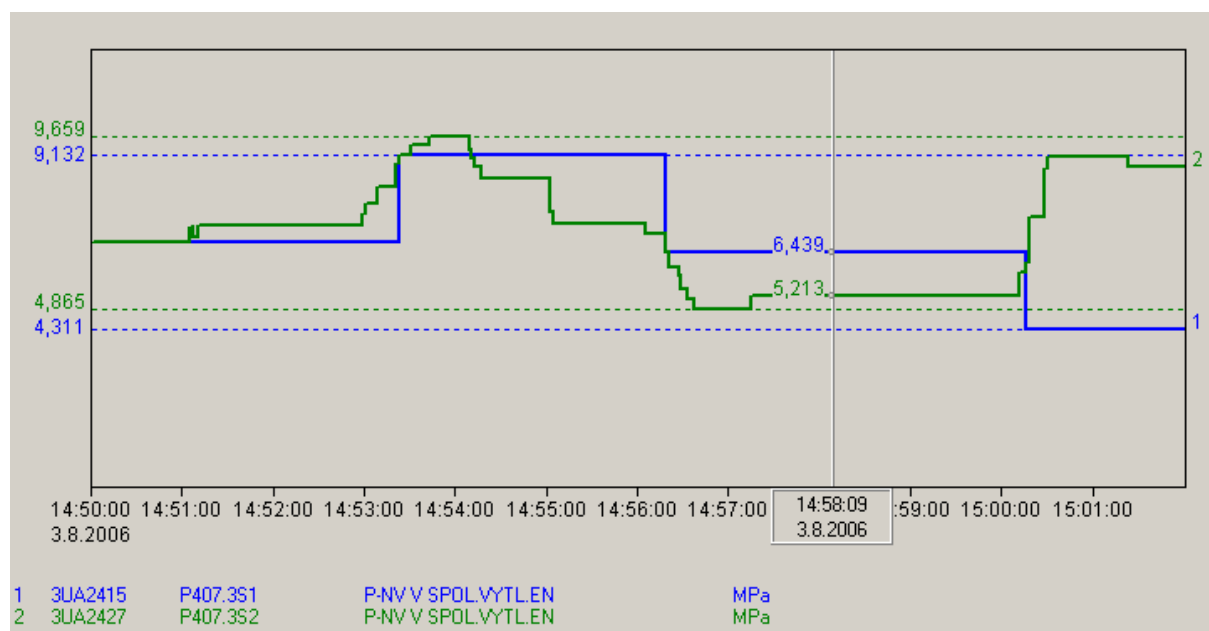
| Čas             | 3UR9122    | 3UR9123    |
|-----------------|------------|------------|
|                 | [MPa]      | [MPa]      |
| 15:00:16        | 4,3        | 7,3        |
| 15:00:25        | 4,3        | 7,6        |
| 15:00:26        | 4,3        | 8,8        |
| <b>15:00:27</b> | <b>4,3</b> | <b>9,1</b> |
| 15:00:34        | 4,3        | 9          |
| 15:00:35        | 4,3        | 9          |
| 15:00:43        | 4,3        | 8,9        |
| 15:00:45        | 4,3        | 8,9        |
| 15:00:53        | 4,2        | 8,9        |
| 15:00:54        | 4,2        | 8,9        |
| 15:01:01        | 4,2        | 8,8        |
| 15:01:30        | 4,2        | 8,7        |

Tabulka 9: Časový sled tlakování napájecího kolektoru

### Průběh tlaku při prvním a druhém tlakování dne 3.8.2006



Obrázek 13: Průběh tlaku při prvním tlakování [5]



Obrázek 14: Průběh tlaku při druhém tlakování [5]

## 7. ZÁVĚR

Ve své práci jsem se zabývala stávajícím pojistným ventilem, jestli dostatečně chrání potrubí napájecí vody a VTO proti natlakování nad projektovou hodnotu.

Na 3. reaktorovém bloku došlo ke kumulaci poruchových stavů a k uzavření potrubí napájecí vody do parogenerátorů. Vznikl zde uzavřený tlakový celek, který byl tvořen zpětnými klapkami napájecích a havarijních čerpadel a napájecími hlavami. Došlo zde k překročení maximální hodnoty tlaku napájecí vody 9,2 MPa až na hodnotu 9,85 MPa.

Hlavní příčinou překročení maximálního tlaku nebylo termické tlakování uzavřeného celku, ale zvýšení tlaku na výtlaku napájecích čerpadel (závěrný bod) z důvodu zvýšení frekvence sítě. Toto zvýšení frekvence způsobilo zvýšení tlaku na výtlaku pracujících čerpadel až nad maximální dovolenou hodnotu 9,2 MPa.

Za normálního provozu bez zvýšené frekvence je stávající pojistný ventil VTO schopen zvládnout přechodné termické tlakování ohřevem vody ve VTO nebo zpětným náhřevem ochlazené vody od nahřátého potrubí bez přechodného převýšení maximálního povoleného tlaku. Pokud však dojde k tomuto termickému tlakování při kumulaci poruch spojených se zvýšenou frekvencí, pak stávající pojistný ventil (ani nový se zvýšenou hltností) nebude schopen přechodnému překročení maximálního přípustného tlaku zabránit.

Pokud nebude zabráněno zvýšení otáček napájecích čerpadel v důsledku zvýšení frekvence sítě, nebude ani navýšení hltnosti stávajících pojistných ventilů, ani přidání dalších pojistných ventilů dostatečně účinné, neboť při maximální povolené frekvenci 52,5 Hz může již samotný závěrný tlak na výtlaku napájecích čerpadel přesáhnout maximální povolenou hodnotu i bez termického tlakování.

Jedním z opatření, aby nedošlo k překročení maximálního povoleného tlaku 9,2 MPa napájecí vody ve VTO při maximální frekvenci, by bylo snížení závěrného tlaku provozovaných napájecích čerpadel mechanickým natočením lopatek nebo elektronickým natáčením lopatek za provozu, případně použitím frekvenčního měniče, aby nedocházelo při zvyšování frekvence ke zvyšování tlaku na výtlaku čerpadla. Další z možností je předělání elektrického napájení napájecích hlav na napájení z I. kategorie zajištěného napájení, aby nemohlo dojít k jejich výpadku. O těchto možnostech se zatím na jaderné elektrárně neuvažuje. Uvažuje se pouze o zvýšení hltnosti pojistného ventilu, ale jedním z problému se zvýšením hltnosti je, že odvětrávání pojistného ventilu je zaveden do sběrné nádrže kondenzátu, při nenominálních parametrech je voda ze sběrné nádrže čerpána čerpadly do chemické úpravy vody. Průtok daných čerpadel je omezený, proto maximální hltnost nového PV by byla cca 20 l/s. Kdyby byl požadován PV s větším odvětráváním, muselo by se vyřešit, kam daný odvětrávání zavést.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] JÍCHA, M.: *Přenos tepla a látky*. Vyd. 1. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2001. 160 s. ISBN 80-214-2029-4.
- [2] ŠKRANC, K.: *Sekundární část JE VVER 440*. Brno. 2006
- [3] KRHOUNEK, V.; SAMOHÝL, P.; DOTŘEL, J.: *Design basis dokument pojistného ventilu na potrubí napájecí vody JE Dukovany*. Řež. 2008. 28 s.
- [4] SLAVÍK, J.: *Analýza dostatečnosti PV*. 2010
- [5] BLAHA, M; SKALA, Z.: *Analýza ostrovního provozu EDU*. 2008
- [6] [www.cez.cz](http://www.cez.cz) [online]. 2011 [cit. 2011-05-12]. Technologie a bezpečnost. Dostupné z WWW: <[www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/](http://www.cez.cz/cs/vyroba-elektriny/jaderna-energetika/)>.
- [7] PAVELEK, M.: *Termomechanika*. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2003. 284 s. ISBN 80-214-2409-5.
- [8] HLEDÍK, J.: *Projekty – projektování – vlivy na PS*
- [9] MEDEK, J.: *Hydraulické pochody*. Vyd. 4. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 339 s. ISBN 80-514-5640-3

## SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

|       |                                                                           |
|-------|---------------------------------------------------------------------------|
| AZ    | aktivní zóna                                                              |
| BZ    | blokování zapnutí                                                         |
| ENČ   | elektro napájecí čerpadlo                                                 |
| EDU   | elektrárna Dukovany                                                       |
| EPK   | expandér provozních kondenzátů                                            |
| ESFAS | Engineered Safety Feature Actuation Systém = systém zajištění bezpečnosti |
| HČČ   | hlavní cirkulační čerpadlo                                                |
| HNČ   | havarijní napájecí čerpadlo                                               |
| HNK   | hlavní napájecí kolektor                                                  |
| HO-3  | havarijní ochrana, stupeň 3                                               |
| HO-4  | havarijní ochrana, stupeň 4                                               |
| HRK   | havarijní regulační kazety                                                |
| HVK   | hlavní výtlačný kolektor                                                  |
| JE    | jaderná elektrárna                                                        |
| NH    | napájecí hlava                                                            |
| NV    | napájecí voda                                                             |
| PG    | parogenerátor                                                             |
| PT    | parní turbína                                                             |
| PUI   | postulovaná iniciační událost                                             |
| PV    | pojistný ventil                                                           |
| RLS   | Reactor Limitation Systém = systém omezování výkonu reaktoru              |
| RTS   | Reactor Trip System                                                       |
| RZV   | rychlzávěrný ventil                                                       |
| SAS   | Support Action System = systém pro podpůrné zásahy                        |
| SGPS  | Steam Generator Protection Systém = ochranný systém parogenerátorů        |
| SO    | sekundární okruh                                                          |
| TG    | turbogenerátor                                                            |
| VS    | vlastní spotřeba                                                          |
| VTO   | vysokotlaký ohřívač                                                       |
| ZK    | zpětná klapka                                                             |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|                                                         |    |
|---------------------------------------------------------|----|
| Obrázek 1: Jaderná elektrárna Dukovany [6] .....        | 11 |
| Obrázek 2: Turbína a generátor [6] .....                | 14 |
| Obrázek 3: Kondenzátor [6] .....                        | 15 |
| Obrázek 4: Napájecí čerpadla.....                       | 15 |
| Obrázek 5: Vysokotlaké ohříváky .....                   | 17 |
| Obrázek 6: Umístění pojistného ventilu [2] .....        | 19 |
| Obrázek 7: Elektrizační soustava[8].....                | 20 |
| Obrázek 8: RLxxSO2 a RLxxSO6 .....                      | 21 |
| Obrázek 9: Pojistný ventil [3].....                     | 21 |
| Obrázek 10: Pojistný ventil [3].....                    | 30 |
| Obrázek 11: Charakteristika paralelního chodu ENČ ..... | 39 |
| Obrázek 12: Charakteristika paralelního chodu ENČ ..... | 40 |
| Obrázek 13: Průběh tlaku při prvním tlakování [5].....  | 48 |
| Obrázek 14: Průběh tlaku při druhém tlakování [5].....  | 48 |

## SEZNAM TABULEK

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabulka 1: Parametry VTO1 a VTO2 [4].....                                                | 23 |
| Tabulka 2: Rozměry použitého potrubí vody za VTO2 po napájecí hlavě .....                | 25 |
| Tabulka 3: Délky potrubí od armatury 133.1,2 po napájecí kolektor.....                   | 25 |
| Tabulka 4: Objem vody v potrubí a hmotnost potrubí za VTO .....                          | 25 |
| Tabulka 5: Objem vody v potrubí a hmotnost potrubí před VTO + ochoz .....                | 26 |
| Tabulka 6: Výběr hlavních hodnot pro oblasti teplot 160-220°C a tlak 6-22 MPa.....       | 27 |
| Tabulka 7: Průběh hlavních událostí při ostrovním režimu na 3. reaktorovém bloku[5]..... | 42 |
| Tabulka 8: Parametry vody a páry v průběhu tlakování [5].....                            | 44 |
| Tabulka 9: Časový sled tlakování napájecího kolektoru .....                              | 47 |

## SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha č.1 Měrný objem a entalpie vody v závislosti na teplotě a tlaku  
Příloha č.2 Změna měrného objemu vody v závislosti na teplotě a tlaku  
a termické tlakování uzavřeného objemu  
Příloha č.3 Znázornění termicky tlakovaného celku

# Příloha č.1 Měrný objem a entalpie vody v závislosti na teplotě a tlaku [7]

| Teplota | p = 6,0 MPa         |        | p = 8,0 MPa         |        | p = 12,0 MPa        |        | p = 16,0 MPa        |        | p = 22,0 MPa        |        |
|---------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|---------------------|--------|
|         | v                   | i      | v                   | i      | v                   | i      | v                   | i      | v                   | i      |
| °C      | dm <sup>3</sup> /kg | kJ/kg  | dm <sup>3</sup> /kg | kJ/kg  | dm <sup>3</sup> /kg | kJ/kg  | dm <sup>3</sup> /kg | kJ/kg  | dm <sup>3</sup> /kg | kJ/kg  |
| 0       | 0,9972              | 6,1    | 0,9962              | 8,1    | 0,9943              | 12,1   | 0,9923              | 16,1   | 0,9895              | 22,1   |
| 20      | 0,9990              | 89,5   | 0,9981              | 91,4   | 0,9963              | 95,1   | 0,9946              | 98,8   | 0,9920              | 104,4  |
| 40      | 1,0052              | 172,7  | 1,0043              | 174,5  | 1,0026              | 178,0  | 1,0009              | 181,6  | 0,9983              | 186,8  |
| 60      | 1,0144              | 256,1  | 1,0135              | 257,8  | 1,0118              | 261,1  | 1,0100              | 264,5  | 1,0075              | 269,5  |
| 80      | 1,0263              | 339,6  | 1,0254              | 341,2  | 1,0235              | 344,4  | 1,0217              | 347,6  | 1,0190              | 352,4  |
| 100     | 1,0406              | 423,5  | 1,0396              | 425,0  | 1,0376              | 428,0  | 1,0356              | 431,0  | 1,0327              | 435,6  |
| 120     | 1,0573              | 507,8  | 1,0562              | 509,2  | 1,0540              | 512,1  | 1,0518              | 514,0  | 1,0486              | 519,2  |
| 140     | 1,0764              | 592,8  | 1,0752              | 594,1  | 1,0727              | 596,7  | 1,0703              | 599,4  | 1,0667              | 603,4  |
| 160     | 1,0983              | 678,6  | 1,0968              | 679,8  | 1,0940              | 682,2  | 1,0913              | 684,6  | 1,0872              | 688,3  |
| 180     | 1,1232              | 765,7  | 1,1216              | 766,7  | 1,1183              | 768,8  | 1,1151              | 771,0  | 1,1105              | 774,2  |
| 200     | 1,1519              | 854,2  | 1,1500              | 855,1  | 1,1461              | 856,8  | 1,1423              | 858,6  | 1,1369              | 861,4  |
| 220     | 1,1853              | 944,7  | 1,1829              | 945,3  | 1,1782              | 946,6  | 1,1736              | 947,9  | 1,1671              | 950,0  |
| 240     | 1,2249              | 1037,9 | 1,2218              | 1038,1 | 1,2158              | 1038,7 | 1,2102              | 1039,9 | 1,2021              | 1040,7 |
| 260     | 1,2729              | 1134,7 | 1,2687              | 1134,5 | 1,2609              | 1134,1 | 1,2535              | 1133,9 | 1,2432              | 1134,0 |
| 280     | 33,17               | 2804,9 | 1,3277              | 1236,0 | 1,3167              | 1234,1 | 1,3065              | 1232,6 | 1,2927              | 1230,9 |
| 300     | 36,14               | 2885,0 | 24,26               | 2786,8 | 1,3895              | 1341,2 | 1,3743              | 1337,4 | 1,3543              | 1332,9 |
| 320     | 38,74               | 2954,2 | 26,81               | 2878,7 | 1,4941              | 1460,9 | 1,4673              | 1452,4 | 1,4351              | 1442,8 |
| 340     | 41,11               | 3016,5 | 28,96               | 2955,3 | 16,19               | 2794,7 | 1,6176              | 1588,3 | 1,5516              | 1566,2 |
| 360     | 43,30               | 3074,0 | 30,88               | 3022,7 | 18,11               | 2898,1 | 11,04               | 2716,5 | 1,7620              | 1722,0 |
| 380     | 45,39               | 3128,3 | 32,65               | 3084,2 | 19,69               | 2982,0 | 12,87               | 2851,1 | 6,111               | 2504,4 |
| 400     | 47,38               | 3180,1 | 34,31               | 3141,6 | 21,08               | 3054,8 | 14,27               | 2951,3 | 8,251               | 2738,8 |

Příloha č.2 Změna měrného objemu vody v závislosti na teplotě a tlaku  
a termické tlakování uzavřeného objemu

| Teplota<br>°C | p = 6,0 MPa              |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | Term.tl.        |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
|               | v<br>dm <sup>3</sup> /kg | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, MPa | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , MPa | i<br>kJ/kg | Δi<br>kJ/kg, °C | Δp/°C<br>MPa/°C |
| 0             | 0,9972                   |                               |                                            | -0,0005                        | -0,5014                                     | 6,1        |                 |                 |
|               |                          | 0,00009                       | 0,09009                                    |                                |                                             |            | 4,17            |                 |
| 20            | 0,999                    |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4505                                     | 89,5       |                 | 0,2             |
|               |                          | 0,00031                       | 0,308396                                   |                                |                                             |            | 4,16            |                 |
| 40            | 1,0052                   |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4477                                     | 172,7      |                 | 0,6889          |
|               |                          | 0,00046                       | 0,45347                                    |                                |                                             |            | 4,17            |                 |
| 60            | 1,0144                   |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4436                                     | 256,1      |                 | 1,0222          |
|               |                          | 0,000595                      | 0,579753                                   |                                |                                             |            | 4,175           |                 |
| 80            | 1,0263                   |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4385                                     | 339,6      |                 | 1,3222          |
|               |                          | 0,000715                      | 0,687104                                   |                                |                                             |            | 4,195           |                 |
| 100           | 1,0406                   |                               |                                            | -0,0005                        | -0,4805                                     | 423,5      |                 | 1,43            |
|               |                          | 0,000835                      | 0,789747                                   |                                |                                             |            | 4,215           |                 |
| 120           | 1,0573                   |                               |                                            | -0,00055                       | -0,5202                                     | 507,8      |                 | 1,5182          |
|               |                          | 0,000955                      | 0,887217                                   |                                |                                             |            | 4,25            |                 |
| 140           | 1,0764                   |                               |                                            | 0,0006                         | -0,5574                                     | 592,8      |                 | 1,5917          |
|               |                          | 0,001095                      | 0,996995                                   |                                |                                             |            | 4,29            |                 |
| 160           | 1,0983                   |                               |                                            | -0,00075                       | -0,6829                                     | 678,6      |                 | 1,46            |
|               |                          | 0,001245                      | 1,10844                                    |                                |                                             |            | 4,355           |                 |
| 180           | 1,1232                   |                               |                                            | -0,0008                        | -0,7123                                     | 765,7      |                 | 1,5562          |
|               |                          | 0,001435                      | 1,245768                                   |                                |                                             |            | 4,425           |                 |
| 200           | 1,1519                   |                               |                                            | -0,00095                       | -0,8247                                     | 854,2      |                 | 1,5105          |
|               |                          | 0,00167                       | 1,408926                                   |                                |                                             |            | 4,525           |                 |
| 220           | 1,1853                   |                               |                                            | -0,0012                        | -1,0124                                     | 944,7      |                 | 1,3917          |
|               |                          | 0,00198                       | 1,616458                                   |                                |                                             |            | 4,66            |                 |
| 240           | 1,2249                   |                               |                                            | -0,00155                       | -1,2654                                     | 1037,9     |                 | 1,2774          |
|               |                          | 0,0024                        | 1,885458                                   |                                |                                             |            | 4,84            |                 |
| 260           | 1,2729                   |                               |                                            | -0,0021                        | -1,6498                                     | 1134,7     |                 | 1,1429          |
|               |                          | 1,594855                      | 48,081248                                  |                                |                                             |            | 83,51           |                 |
| 280           | 33,17                    |                               |                                            | -15,92115                      | -479,99                                     | 2804,9     |                 | 0,1002          |
|               |                          | 0,1485                        | 4,10902                                    |                                |                                             |            | 4,005           |                 |
| 300           | 36,14                    |                               |                                            | -5,94                          | -164,36                                     | 2885       |                 | 0,025           |
|               |                          | 0,13                          | 3,355705                                   |                                |                                             |            | 3,46            |                 |
| 320           | 38,74                    |                               |                                            | -5,965                         | -153,98                                     | 2954,2     |                 | 0,0218          |
|               |                          | 0,1185                        | 2,88251                                    |                                |                                             |            | 3,115           |                 |
| 340           | 41,11                    |                               |                                            | -6,075                         | -147,77                                     | 3016,5     |                 | 0,0195          |
|               |                          | 0,1095                        | 2,528868                                   |                                |                                             |            | 2,875           |                 |
| 360           | 43,3                     |                               |                                            | -6,21                          | -143,42                                     | 3074       |                 | 0,0176          |
|               |                          | 0,1045                        | 2,302269                                   |                                |                                             |            | 2,715           |                 |
| 380           | 45,39                    |                               |                                            | -6,37                          | -140,34                                     | 3128,3     |                 | 0,0164          |
|               |                          | 0,0995                        | 2,100042                                   |                                |                                             |            | 2,59            |                 |
| 400           | 47,38                    |                               |                                            | -6,535                         | -137,93                                     | 3180,1     |                 | 0,0152          |

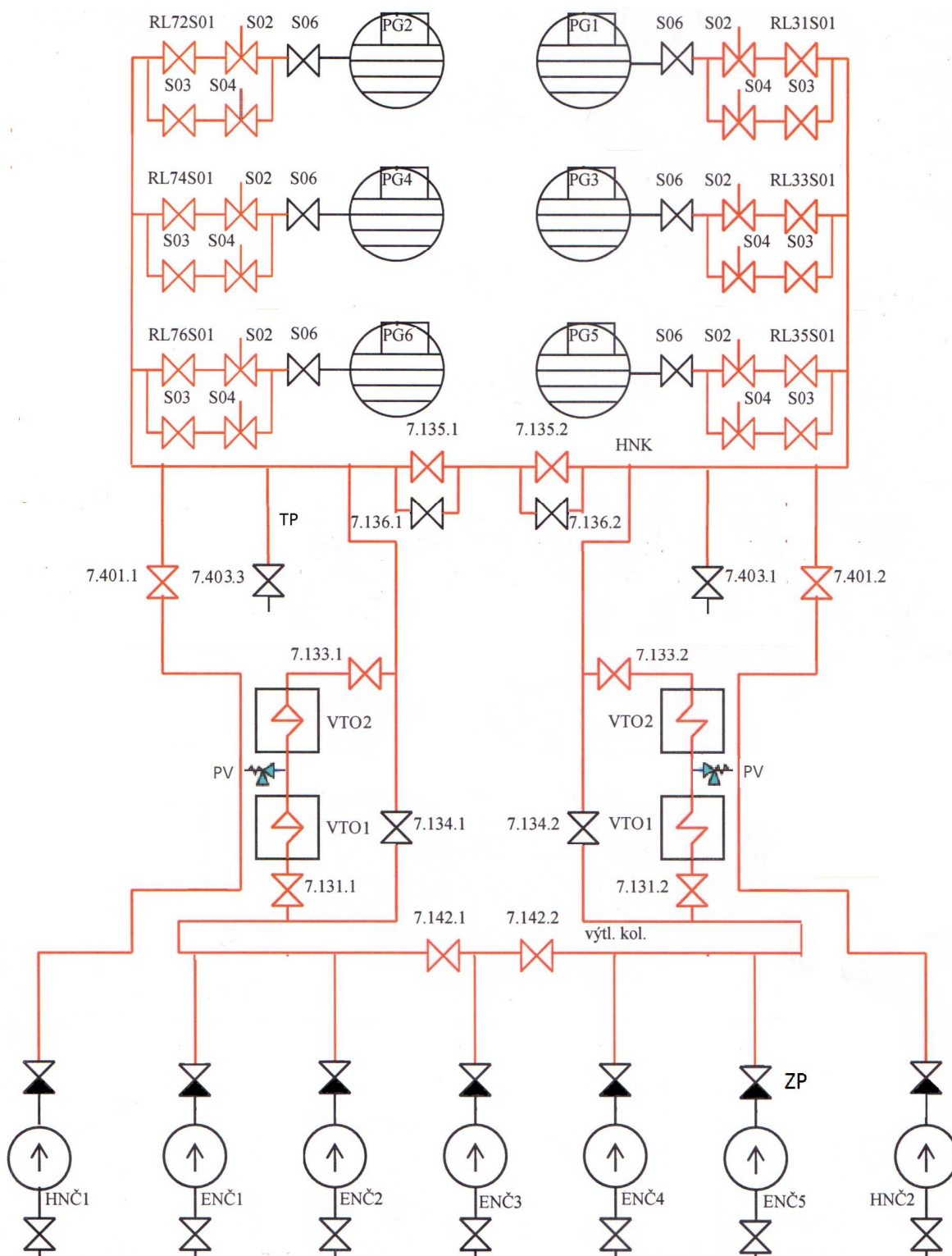
| Teplota<br>°C | p = 8,0 MPa              |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | Term.<br>tl.    |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
|               | v<br>dm <sup>3</sup> /kg | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, MPa | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , MPa | i<br>kJ/kg | Δi<br>kJ/kg, °C | Δp/°C<br>MPa/°C |
| 0             | 0,9962                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 |                 |
|               |                          | 0,000095                      | 0,095181                                   | -0,00095                       | -0,9536                                     | 8,1        | 4,165           |                 |
| 20            | 0,9981                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,2111          |
|               |                          | 0,00031                       | 0,308673                                   | -0,00045                       | -0,4509                                     | 91,4       | 4,155           |                 |
| 40            | 1,0043                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,7294          |
|               |                          | 0,00046                       | 0,453873                                   | -0,000425                      | -0,4232                                     | 174,5      | 4,165           |                 |
| 60            | 1,0135                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,0824          |
|               |                          | 0,000595                      | 0,580261                                   | -0,000425                      | -0,4193                                     | 257,8      | 4,17            |                 |
| 80            | 1,0254                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,2526          |
|               |                          | 0,00071                       | 0,682955                                   | -0,000475                      | -0,4632                                     | 341,2      | 4,19            |                 |
| 100           | 1,0396                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,42            |
|               |                          | 0,00083                       | 0,785836                                   | -0,0005                        | -0,481                                      | 425        | 4,21            |                 |
| 120           | 1,0562                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,5091          |
|               |                          | 0,00095                       | 0,883557                                   | -0,00055                       | -0,5207                                     | 509,2      | 4,245           |                 |
| 140           | 1,0752                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,52            |
|               |                          | 0,00108                       | 0,984683                                   | -0,000625                      | -0,5813                                     | 594,1      | 4,285           |                 |
| 160           | 1,0968                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,5429          |
|               |                          | 0,00124                       | 1,105563                                   | -0,0007                        | -0,6382                                     | 679,8      | 4,345           |                 |
| 180           | 1,1216                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,503           |
|               |                          | 0,00142                       | 1,234783                                   | -0,000825                      | -0,7356                                     | 766,7      | 4,42            |                 |
| 200           | 1,15                     |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,4564          |
|               |                          | 0,001645                      | 1,39065                                    | -0,000975                      | -0,8478                                     | 855,1      | 4,51            |                 |
| 220           | 1,1829                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,4             |
|               |                          | 0,001945                      | 1,591914                                   | -0,001175                      | -0,9933                                     | 945,3      | 4,64            |                 |
| 240           | 1,2218                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,2967          |
|               |                          | 0,002345                      | 1,848349                                   | -0,0015                        | -1,2277                                     | 1038,1     | 4,82            |                 |
| 260           | 1,2687                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,2026          |
|               |                          | 0,00295                       | 2,221887                                   | -0,00195                       | -1,537                                      | 1134,5     | 5,075           |                 |
| 280           | 1,3277                   |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 1,0727          |
|               |                          | 1,146615                      | 47,263603                                  | -0,00275                       | -2,0713                                     | 1236       | 77,54           |                 |
| 300           | 24,26                    |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,2005          |
|               |                          | 0,1275                        | 4,755688                                   | -5,717625                      | -235,6812                                   | 2786,8     | 4,595           |                 |
| 320           | 26,81                    |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,0201          |
|               |                          | 0,1075                        | 3,712017                                   | -6,328975                      | -236,0677                                   | 2878,7     | 3,83            |                 |
| 340           | 28,96                    |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,0337          |
|               |                          | 0,096                         | 3,108808                                   | -3,1925                        | -110,2383                                   | 2955,3     | 3,37            |                 |
| 360           | 30,88                    |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,0301          |
|               |                          | 0,0885                        | 2,710567                                   | -3,1925                        | -103,3841                                   | 3022,7     | 3,075           |                 |
| 380           | 32,65                    |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,0273          |
|               |                          | 0,083                         | 2,41912                                    | -3,24                          | -99,2343                                    | 3084,2     | 2,87            |                 |
| 400           | 34,31                    |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | 0,0251          |
|               |                          |                               |                                            | -3,3075                        | -96,4005                                    | 3141,6     |                 |                 |

| Teplota<br>°C | p = 12,0 MPa             |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | Term.<br>Tl.    |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
|               | v<br>dm <sup>3</sup> /kg | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, MPa | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , MPa | i<br>kJ/kg | Δi<br>kJ/kg, °C | Δp/°C<br>MPa/°C |
| 0             | 0,9943                   |                               |                                            | -0,001                         | -1,0057                                     | 12,1       |                 |                 |
|               |                          | 0,0001                        | 0,100371                                   |                                |                                             |            | 4,15            |                 |
| 20            | 0,9963                   |                               |                                            | -0,000425                      | -0,4266                                     | 95,1       |                 | 0,2353          |
|               |                          | 0,000315                      | 0,314183                                   |                                |                                             |            | 4,145           |                 |
| 40            | 1,0026                   |                               |                                            | -0,000425                      | -0,4239                                     | 178        |                 | 0,7412          |
|               |                          | 0,00046                       | 0,454635                                   |                                |                                             |            | 4,155           |                 |
| 60            | 1,0118                   |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4448                                     | 261,1      |                 | 1,0222          |
|               |                          | 0,000585                      | 0,571568                                   |                                |                                             |            | 4,165           |                 |
| 80            | 1,0235                   |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4397                                     | 344,4      |                 | 1,3             |
|               |                          | 0,000705                      | 0,679453                                   |                                |                                             |            | 4,18            |                 |
| 100           | 1,0376                   |                               |                                            | -0,0005                        | -0,4819                                     | 428        |                 | 1,41            |
|               |                          | 0,00082                       | 0,777989                                   |                                |                                             |            | 4,205           |                 |
| 120           | 1,054                    |                               |                                            | -0,00055                       | -0,5218                                     | 512,1      |                 | 1,4909          |
|               |                          | 0,000935                      | 0,871632                                   |                                |                                             |            | 4,23            |                 |
| 140           | 1,0727                   |                               |                                            | -0,0006                        | -0,5593                                     | 596,7      |                 | 1,5583          |
|               |                          | 0,001065                      | 0,973492                                   |                                |                                             |            | 4,275           |                 |
| 160           | 1,094                    |                               |                                            | -0,000675                      | -0,617                                      | 682,2      |                 | 1,5778          |
|               |                          | 0,001215                      | 1,086471                                   |                                |                                             |            | 4,33            |                 |
| 180           | 1,1183                   |                               |                                            | -0,0008                        | -0,7154                                     | 768,8      |                 | 1,5187          |
|               |                          | 0,00139                       | 1,212809                                   |                                |                                             |            | 4,4             |                 |
| 200           | 1,1461                   |                               |                                            | -0,00095                       | -0,8289                                     | 856,8      |                 | 1,4632          |
|               |                          | 0,001605                      | 1,362247                                   |                                |                                             |            | 4,49            |                 |
| 220           | 1,1782                   |                               |                                            | -0,00115                       | -0,9761                                     | 946,6      |                 | 1,3957          |
|               |                          | 0,00188                       | 1,546307                                   |                                |                                             |            | 4,605           |                 |
| 240           | 1,2158                   |                               |                                            | -0,0014                        | -1,1515                                     | 1038,7     |                 | 1,3429          |
|               |                          | 0,002255                      | 1,788405                                   |                                |                                             |            | 4,77            |                 |
| 260           | 1,2609                   |                               |                                            | -0,00185                       | -1,4672                                     | 1134,1     |                 | 1,2189          |
|               |                          | 0,00279                       | 2,118934                                   |                                |                                             |            | 5               |                 |
| 280           | 1,3167                   |                               |                                            | -0,00255                       | -1,9367                                     | 1234,1     |                 | 1,0941          |
|               |                          | 0,00364                       | 2,619647                                   |                                |                                             |            | 5,355           |                 |
| 300           | 1,3895                   |                               |                                            | -0,00038                       | -2,7348                                     | 1341,2     |                 | 0,9579          |
|               |                          | 0,00523                       | 3,500435                                   |                                |                                             |            | 5,985           |                 |
| 320           | 1,4941                   |                               |                                            | -0,0067                        | -4,4843                                     | 1460,9     |                 | 0,7806          |
|               |                          | 0,734795                      | 45,385732                                  |                                |                                             |            | 66,69           |                 |
| 340           | 16,19                    |                               |                                            | -3,6431                        | -225,0216                                   | 2794,7     |                 | 0,2017          |
|               |                          | 0,096                         | 5,300939                                   |                                |                                             |            | 5,17            |                 |
| 360           | 18,11                    |                               |                                            | -1,7675                        | -97,598                                     | 2898,1     |                 | 0,0543          |
|               |                          | 0,079                         | 4,012189                                   |                                |                                             |            | 4,195           |                 |
| 380           | 19,69                    |                               |                                            | -1,705                         | -86,5922                                    | 2982       |                 | 0,0463          |
|               |                          | 0,0695                        | 3,296964                                   |                                |                                             |            | 3,64            |                 |
| 400           | 21,08                    |                               |                                            | -1,7025                        | -80,7638                                    | 3054       |                 | 0,0408          |

| Teplota<br>°C | p = 16,0 MPa             |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | Term.<br>Tl.    |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
|               | v<br>dm <sup>3</sup> /kg | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, MPa | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , MPa | i<br>kJ/kg | Δi<br>kJ/kg, °C | Δp/°C<br>MPa/°C |
| 0             | 0,9923                   |                               |                                            | -0,0014                        | -1,4109                                     | 16,1       |                 |                 |
|               |                          | 0,000115                      | 0,115624                                   |                                |                                             |            | 4,135           |                 |
| 20            | 0,9946                   |                               |                                            | -0,000433                      | -0,4357                                     | 98,8       |                 | 0,2654          |
|               |                          | 0,000315                      | 0,314717                                   |                                |                                             |            | 4,14            |                 |
| 40            | 1,0009                   |                               |                                            | -0,000433                      | -0,4329                                     | 181,6      |                 | 0,7269          |
|               |                          | 0,000455                      | 0,450495                                   |                                |                                             |            | 4,145           |                 |
| 60            | 1,01                     |                               |                                            | -0,000417                      | -0,4125                                     | 264,5      |                 | 1,092           |
|               |                          | 0,000585                      | 0,572575                                   |                                |                                             |            | 4,155           |                 |
| 80            | 1,0217                   |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4404                                     | 347,6      |                 | 1,3             |
|               |                          | 0,000695                      | 0,671109                                   |                                |                                             |            | 4,17            |                 |
| 100           | 1,0356                   |                               |                                            | -0,000483                      | -0,4667                                     | 431        |                 | 1,4379          |
|               |                          | 0,00081                       | 0,770108                                   |                                |                                             |            | 4,15            |                 |
| 120           | 1,0518                   |                               |                                            | -0,000533                      | -0,5071                                     | 514        |                 | 1,5187          |
|               |                          | 0,000925                      | 0,864244                                   |                                |                                             |            | 4,27            |                 |
| 140           | 1,0703                   |                               |                                            | -0,0006                        | -0,5606                                     | 599,4      |                 | 1,5417          |
|               |                          | 0,00105                       | 0,962155                                   |                                |                                             |            | 4,26            |                 |
| 160           | 1,0913                   |                               |                                            | -0,000683                      | -0,6262                                     | 684,6      |                 | 1,5366          |
|               |                          | 0,00119                       | 1,067169                                   |                                |                                             |            | 4,32            |                 |
| 180           | 1,1151                   |                               |                                            | -0,000767                      | -0,6875                                     | 771        |                 | 1,5522          |
|               |                          | 0,00136                       | 1,19058                                    |                                |                                             |            | 4,38            |                 |
| 200           | 1,1423                   |                               |                                            | -0,0009                        | -0,7879                                     | 858,6      |                 | 1,5111          |
|               |                          | 0,001565                      | 1,333504                                   |                                |                                             |            | 4,465           |                 |
| 220           | 1,1736                   |                               |                                            | -0,001083                      | -0,9231                                     | 947,9      |                 | 1,4446          |
|               |                          | 0,00183                       | 1,512147                                   |                                |                                             |            | 4,6             |                 |
| 240           | 1,2102                   |                               |                                            | -0,00135                       | -1,1155                                     | 1039,9     |                 | 1,3556          |
|               |                          | 0,002165                      | 1,727164                                   |                                |                                             |            | 4,7             |                 |
| 260           | 1,2535                   |                               |                                            | -0,001717                      | -1,3695                                     | 1133,9     |                 | 1,2612          |
|               |                          | 0,00265                       | 2,02832                                    |                                |                                             |            | 4,935           |                 |
| 280           | 1,3065                   |                               |                                            | -0,0023                        | -1,7604                                     | 1232,6     |                 | 1,1522          |
|               |                          | 0,00339                       | 2,46671                                    |                                |                                             |            | 5,24            |                 |
| 300           | 1,3743                   |                               |                                            | -0,003333                      | -2,4255                                     | 1337,4     |                 | 1,017           |
|               |                          | 0,00465                       | 3,169086                                   |                                |                                             |            | 5,75            |                 |
| 320           | 1,4673                   |                               |                                            | -0,005367                      | -3,6575                                     | 1452,4     |                 | 0,8665          |
|               |                          | 0,007515                      | 4,645772                                   |                                |                                             |            | 6,795           |                 |
| 340           | 1,6176                   |                               |                                            | -0,011                         | -6,8002                                     | 1588,3     |                 | 0,6832          |
|               |                          | 0,47112                       | 42,673913                                  |                                |                                             |            | 56,41           |                 |
| 360           | 11,04                    |                               |                                            | -1,546333                      | -140,0664                                   | 2716,5     |                 | 0,3047          |
|               |                          | 0,0915                        | 7,109557                                   |                                |                                             |            | 6,73            |                 |
| 380           | 12,87                    |                               |                                            | -1,1265                        | -87,5291                                    | 2851,1     |                 | 0,0812          |
|               |                          | 0,07                          | 4,905396                                   |                                |                                             |            | 5,01            |                 |
| 400           | 14,27                    |                               |                                            | -1,003167                      | -70,299                                     | 2951,3     |                 | 0,0698          |

| Teplota<br>°C | p = 22,0 MPa             |                               |                                            |                                |                                             |            |                 | Term.<br>Tl.    |
|---------------|--------------------------|-------------------------------|--------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------------------|------------|-----------------|-----------------|
|               | v<br>dm <sup>3</sup> /kg | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , °C | Δv<br>dm <sup>3</sup> /kg, MPa | Δv<br>dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> , MPa | i<br>kJ/kg | Δi<br>kJ/kg, °C | Δp/°C<br>MPa/°C |
| 0             | 0,9895                   |                               |                                            | -0,0018                        | -1,8123                                     | 22,1       |                 |                 |
|               |                          | 0,000125                      | 0,126008                                   |                                |                                             |            | 4,115           |                 |
| 20            | 0,992                    |                               |                                            | -0,000426                      | -0,4421                                     | 104,4      |                 | 0,285           |
|               |                          | 0,000315                      | 0,315536                                   |                                |                                             |            | 4,12            |                 |
| 40            | 0,9983                   |                               |                                            | -0,000426                      | -0,4333                                     | 186,8      |                 | 0,728           |
|               |                          | 0,00046                       | 0,456576                                   |                                |                                             |            | 4,135           |                 |
| 60            | 1,0075                   |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4351                                     | 269,5      |                 | 1,0493          |
|               |                          | 0,000575                      | 0,564279                                   |                                |                                             |            | 4,145           |                 |
| 80            | 1,019                    |                               |                                            | -0,00045                       | -0,4302                                     | 352,4      |                 | 1,3116          |
|               |                          | 0,000685                      | 0,66331                                    |                                |                                             |            | 4,16            |                 |
| 100           | 1,0327                   |                               |                                            | -0,00046                       | -0,4523                                     | 435,6      |                 | 1,4665          |
|               |                          | 0,000795                      | 0,758154                                   |                                |                                             |            | 4,18            |                 |
| 120           | 1,0486                   |                               |                                            | -0,00052                       | -0,5032                                     | 519,2      |                 | 1,5066          |
|               |                          | 0,000905                      | 0,848411                                   |                                |                                             |            | 4,21            |                 |
| 140           | 1,0667                   |                               |                                            | -0,0006                        | -0,5702                                     | 603,4      |                 | 1,4879          |
|               |                          | 0,001025                      | 0,942789                                   |                                |                                             |            | 4,245           |                 |
| 160           | 1,0872                   |                               |                                            | -0,000695                      | -0,6183                                     | 688,3      |                 | 1,5248          |
|               |                          | 0,001165                      | 1,049077                                   |                                |                                             |            | 4,295           |                 |
| 180           | 1,1105                   |                               |                                            | -0,000756                      | -0,6625                                     | 774,2      |                 | 1,5835          |
|               |                          | 0,00132                       | 1,161052                                   |                                |                                             |            | 4,36            |                 |
| 200           | 1,1369                   |                               |                                            | -0,000875                      | -0,7629                                     | 861,4      |                 | 1,5218          |
|               |                          | 0,00151                       | 1,293805                                   |                                |                                             |            | 4,43            |                 |
| 220           | 1,1671                   |                               |                                            | -0,001068                      | -0,8821                                     | 950        |                 | 1,4667          |
|               |                          | 0,00175                       | 1,455786                                   |                                |                                             |            | 4,535           |                 |
| 240           | 1,2021                   |                               |                                            | -0,0013                        | -1,1035                                     | 1040,7     |                 | 1,3192          |
|               |                          | 0,002055                      | 1,652992                                   |                                |                                             |            | 4,665           |                 |
| 260           | 1,2432                   |                               |                                            | -0,00167                       | -1,2935                                     | 1134       |                 | 1,2779          |
|               |                          | 0,002475                      | 1,914597                                   |                                |                                             |            | 4,845           |                 |
| 280           | 1,2927                   |                               |                                            | -0,0021                        | -0,9875                                     | 1230,9     |                 | 1,9388          |
|               |                          | 0,00308                       | 2,274283                                   |                                |                                             |            | 5,1             |                 |
| 300           | 1,3543                   |                               |                                            | -0,0029                        | -2,1341                                     | 1332,9     |                 | 1,0656          |
|               |                          | 0,00404                       | 2,815135                                   |                                |                                             |            | 5,495           |                 |
| 320           | 1,4351                   |                               |                                            | -0,0042                        | -3,521                                      | 1442,8     |                 | 0,7995          |
|               |                          | 0,005825                      | 3,754189                                   |                                |                                             |            | 6,17            |                 |
| 340           | 1,5516                   |                               |                                            | -0,0114                        | -5,6321                                     | 1566,2     |                 | 0,6665          |
|               |                          | 0,01052                       | 5,970488                                   |                                |                                             |            | 7,79            |                 |
| 360           | 1,762                    |                               |                                            | -1,1032                        | -7,2345                                     | 1722       |                 | 0,8252          |
|               |                          | 0,21745                       | 35,583374                                  |                                |                                             |            | 39,12           |                 |
| 380           | 6,111                    |                               |                                            | -1,0024                        | -39,2512                                    | 2504,4     |                 | 0,9065          |
|               |                          | 0,107                         | 12,968125                                  |                                |                                             |            | 11,72           |                 |
| 400           | 8,251                    |                               |                                            | -1,000,2                       | -79,342                                     | 2738,8     |                 | 0,163           |

### Příloha č.3 Znázornění termicky tlakovaného celku



Termicky tlakovaný celek je znázorněný červenou barvou. Uzavřený celek tvořily zpětné klapky napájecích a havarijních čerpadel a napájecí hlavy SO6. Armatury, které jsou znázorněné černě, jsou uzavřené (SO6, 7.134.1., 7.134.2., 7.403.1., 7.403.3., 7.136.1., 7.136.2., zpětné klapky).