

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV**

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

NÁVRH PROGRAMU PRO VÝPOČET VÝKONU A PRŮTOKU AKTIVNÍ ZÓNOU Z PARAMETRŮ SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU PRO JE S REAKTOREM VVER 440

EVALUATION OF POWER AND COOLANT FLOW IN REACTOR CORE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MILOSLAV TVRDÝ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. PAVEL NERUD

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Miloslav Tvrdý

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:

Návrh programu pro výpočet výkonu a průtoku aktivní zónou z parametrů sekundárního okruhu pro JE s reaktorem VVER 440

v anglickém jazyce:

Evaluation of power and coolant flow in reactor core

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

- 1) Popis JE s reaktorem VVER 440
- 2) Sestavení rovnic pro výpočet
- 3) Návrh programu pro výpočet a jeho odladění
- 4) Prezentace dosažených výsledků

Cíle diplomové práce:

Vizualizace a uložení dat z dodaného datového souboru, výpočet výkonu reaktoru a průtoku AZ z parametrů sekundárního okruhu. Uložení výsledků do archivu.

Seznam odborné literatury:

F.Klik, J.Daliba: Jaderná energetika

Vedoucí diplomové práce: Ing. Pavel Nerud

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 5.11.2009

L.S.

doc. Ing. Zdeněk Skála, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou určení výkonu a průtoku aktivní zónou z parametrů sekundárního okruhu. První část obsahuje popis jaderné elektrárny s reaktorem VVER 440. Důraz je kladen na prvky a systémy přímo související s přenosem a využitím tepelné energie při normálním provozu bloku. Ve druhé části jsou odvozeny rovnice potřebné pro výpočet výkonu reaktoru a průtoku aktivní zónou ze zadaných parametrů sekundárního okruhu. Třetí, hlavní část, je věnována návrhu programu pro výpočet uvedených veličin. Jsou zde specifikovány požadavky na program a na jejich základě je napsán kód programu. Jednotlivé části kódu jsou následně popsány a v závěru kapitoly je vypracován manuál pro uživatele programu. Vlastní program je přílohou této práce.

Klíčová slova

Jaderná elektrárna, jaderná energetika, průtok aktivní zónou, Visual Basic for Applications (VBA), VVER 440, výkon reaktoru.

Abstract

This graduation thesis deals with evaluation of power and coolant flow in reactor core. The first part is a description of nuclear power plant VVER 440. It is focused on parts important for transfer and utilize energy in regular operating of generating block. In the second part, the equations for calculation of power and coolant flow in reactor core are deduced. The last part is about designing the program for calculation of published values. There are specified requirements for the program and on the basis of this the source code is written. The parts of code are described. In conclusion of this part, the user's manual is work out. The program is on CD in the annexe.

Key words

Coolant flow in reactor core, nuclear energy, nuclear power plant, power of reactor, Visual Basic for Applications (VBA), VVER 440.

Bibliografická citace

TVRDÝ, M. *Návrh programu pro výpočet výkonu a průtoku aktivní zónou z parametrů sekundárního okruhu pro JE s reaktorem VVER 440*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 63 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Nerud.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Vycházel jsem přitom z vlastních znalostí, odborných konzultací a zdrojů informací uvedených v seznamu.

V Brně dne 24. května 2010

Miloslav Tvrdý

Poděkování

Za poskytnutou pomoc, cenné rady, čas a trpělivost tímto děkuji pracovníkům Školícího střediska ČEZ v Brně a vedoucímu diplomové práce Ing. Pavlu Nerudovi.

Obsah

1	ÚVOD	15
2	POPIS JE S REAKTOREM VVER 440	17
2.1	Úvod do problematiky.....	17
2.2	Primární okruh	18
2.2.1	Základní charakteristika	18
2.2.2	Jaderný reaktor	19
2.2.3	Hlavní cirkulační potrubí.....	22
2.2.4	Hlavní uzavírací armatura	22
2.2.5	Hlavní cirkulační čerpadlo.....	23
2.2.6	Parogenerátor	23
2.2.7	Kompenzátor objemu	24
2.3	Sekundární okruh	25
2.3.1	Parogenerátor, rozvod páry.....	26
2.3.2	Parní turbína	27
2.3.3	Kondenzátor.....	27
2.3.4	Nízkotlaká regenerace, napájecí nádrž	28
2.3.5	Napájecí systém, vysokotlaká regenerace	29
2.3.6	Okruh cirkulační chladicí vody	30
2.3.7	Další systémy sekundárního okruhu.....	30
2.4	Základní parametry VVER 440 – shrnutí	31
3	SESTAVENÍ ROVNIC PRO VÝPOČET VÝKONU A PRŮTOKU AZ Z PARAMETRŮ SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU	33
3.1	Zadané parametry sekundárního okruhu.....	33
3.2	Sestavení rovnic pro výpočet výkonu a průtoku AZ.....	34
3.2.1	Hmotnostní a energetická bilance parogenerátoru	34
3.2.2	Výpočet výkonu AZ	35
3.2.3	Výpočet průtoku chladiva AZ	36
4	NÁVRH PROGRAMU PRO VÝPOČET VÝKONU A PRŮTOKU AZ Z PARAMETRŮ SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU	39
4.1	Výběr aplikačního software pro sestavení programu.....	39
4.1.1	Úvod do programování ve VBA.....	39
4.2	Příprava před vytvořením programu	40
4.2.1	Specifikace zadání	40
4.2.2	Předběžný návrh struktury programu	40
4.3	Program pro výpočet výkonu a průtoku AZ	41
4.3.1	Kód programu umístěný ve standardním modulu Module1	41
4.3.2	Funkce umístěné ve standardním modulu Module2.....	51
4.3.3	Kód programu umístěný v modulu objektu ThisWorkbook.....	51
4.3.4	Složka s programem	52
4.4	Manuál pro uživatele programu	52
4.4.1	Popis funkce programu	52
4.4.2	Předpoklady správné funkce programu	52
4.4.3	Práce s programem	53
4.4.4	Chyby za běhu programu.....	56
4.4.5	Seznam použitých zkratk a symbolů	56
5	ZÁVĚR	57

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ.....	59
7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ.....	61
8 SEZNAM PŘÍLOH	63

1 ÚVOD

Měření průtoku chladiva v primárním okruhu tlakovodních jaderných elektráren je poměrně obtížně realizovatelné. S tím souvisí podle vztahu $Q = F (i_1 - i_2)$ i problematika stanovení tepelného výkonu reaktoru. Jedním z možných řešení je výpočet těchto veličin z parametrů sekundárního okruhu.

V této práci se zaměřím na problematiku určení výkonu a průtoku aktivní zónou z parametrů sekundárního okruhu a především pak praktické použití těchto poznatků – sestavení programu pro výpočet zmiňovaných veličin.

První část obsahuje popis jaderné elektrárny s reaktorem VVER 440. Důraz je kladen na prvky a systémy přímo související s přenosem a využitím tepelné energie při normálním provozu bloku. Ve druhé části jsou odvozeny rovnice potřebné pro výpočet výkonu reaktoru a průtoku aktivní zónou ze zadaných parametrů sekundárního okruhu. Třetí, hlavní část, je věnována návrhu programu pro výpočet uvedených veličin pro jadernou elektrárnu s reaktorem VVER 440. Jsou zde specifikovány požadavky na program a na jejich základě je napsán kód programu. Jednotlivé části kódu jsou následně popsány a v závěru kapitoly je vypracován manuál pro uživatele programu.

2 POPIS JE S REAKTOREM VVER 440

2.1 Úvod do problematiky

V jaderných elektrárnách dochází k přeměně jaderné energie na energii elektrickou. Zatím není známa technologie pro přímou přeměnu těchto energií, proto se nejprve přemění jaderná energie na tepelnou a dále na energii mechanickou a elektrickou. Účinnost této přeměny je tedy určena především zákony termodynamiky.

V současnosti se využívá několik různých koncepcí jaderných elektráren. Světově nejrozšířenější jsou elektrárny s tlakovodními reaktory – více než 60 % všech provozovaných bloků jaderných elektráren. Do této kategorie patří i JE s reaktorem VVER 440¹⁾. K 1. 1. 2009 bylo v provozu 23 jaderných bloků tohoto typu (Arménie 1, Česká Republika 4, Finsko 2, Maďarsko 4, Rusko 6, Slovensko 4, Ukrajina 2) [12].

Vývoj těchto reaktorů probíhal v SSSR přibližně od poloviny šedesátých let minulého století. Prvním vývojovým typem byly reaktory V-179, V-230 a V-270. Výstavba elektráren s těmito reaktory byla zahájována v letech 1966-1975. Dalším vývojovým typem byl reaktor V-213. Oproti předchozím reaktorům první generace byla výrazně zvýšena úroveň bezpečnosti, maximální projektová havárie již počítala s úplným roztržením hlavního potrubí primárního okruhu. Elektrárny s reaktory V-213 se stavěly v tzv. dvojblocích – dva reaktorové bloky v jedné budově. Další vývoj se pak soustředil na reaktory větších výkonů VVER 1000. [13]



Obr. 1: Letecký pohled na Jadernou elektrárnu Dukovany (2 dvojbloky VVER 440)

Následující popis se týká především Jaderné elektrárny Dukovany, ve které pracují 4 bloky VVER 440 s reaktory V-213. Jiné elektrárny stejného typu se mohou v některých detailech mírně lišit.

¹⁾ VVER – podle sovětského označení ВВЭР – Водо-водяной энергетический реактор, 440 – elektrický výkon 440 MW brutto při sovětských parametrech chladící vody v kondenzátoru. Mezinárodní typové označení je PWR.

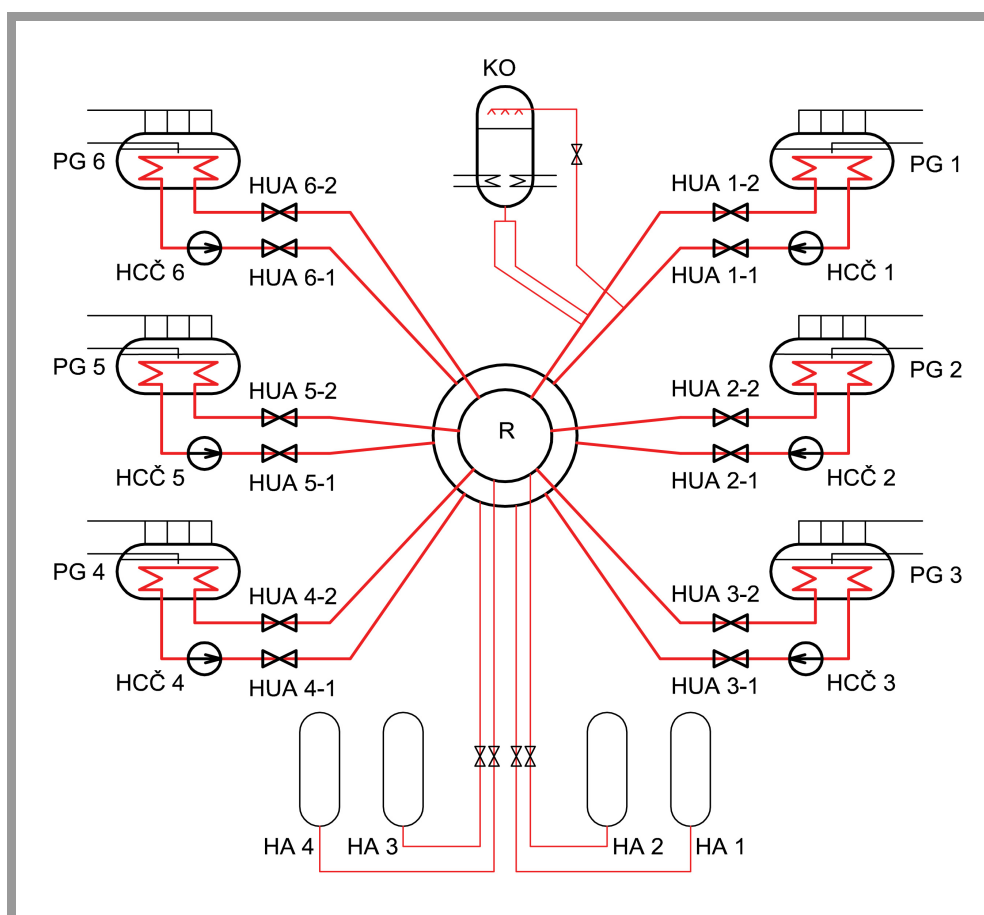
2.2 Primární okruh

2.2.1 Základní charakteristika

Primární okruh JE s tlakovodním reaktorem je určen k přeměně jaderné energie na tepelnou a k přenosu tepelné energie do sekundárního okruhu. Základní zařízení primárního okruhu tvoří tlakovodní reaktor, hlavní cirkulační potrubí, hlavní uzavírací armatury, hlavní cirkulační čerpadla, parogenerátory a systém kompenzace objemu.

Jistým nedostatkem z pohledu jaderné bezpečnosti je, že elektrárny s reaktorem VVER 440 nemají kontejnment (výjimkou je pouze finská elektrárna Loviisa). Všechna zařízení primárního okruhu jsou umístěna v hermeticky těsných boxech a k lokalizaci následků případné havárie slouží barbotážní systém.

Primární okruh je koncipován poměrně konzervativně. Měrné energetické zatížení aktivní zóny je relativně nízké, cirkulační smyčky jsou vybaveny uzavíracími armaturami, dělící rovina reaktorové nádoby je těsněna dvěma řády těsnění, v primárním okruhu je díky většímu počtu smyček větší množství vody, což má příznivý vliv na průběh přechodových procesů atd. JE této koncepce jsou proto velmi spolehlivé.



Obr. 2: Schéma primárního okruhu JE VVER 440

2.2.2 Jaderný reaktor

2.2.2.1 Popis reaktoru

Jaderný reaktor je tvořen tlakovou nádobou s vnitřními vestavbami a tzv. horním blokem. Celková výška reaktoru je 23,63 m.

Tlaková nádoba reaktoru je vyrobená z nízkolegované nízkouhlíkové oceli. Sestává z tělesa tlakové nádoby a víka, které je zároveň součástí horního bloku. Těleso tlakové nádoby je válcového tvaru s vertikální osou, vnější průměr hladké části je 3840 mm, výška 11 805 mm, tloušťka stěny válcové části 140 mm. Svařeno je ze šesti kovaných prstenců a eliptického dna. Vnitřní povrch nádoby je navařen austenitickou nerezovou ocelí ve dvou vrstvách o tloušťce 9 mm.

V horní části je nádoba hermeticky uzavřena sférickým víkem, které je k tělesu tlakové nádoby připevněno přes volnou přírubu pomocí 60 svorníků M140. Dělicí rovina tohoto spoje je těsněna dvěma řády těsnění. K nátrubkům na víku tlakové nádoby jsou pomocí přírubových spojů připojena pouzdra s pohony regulačních kazet a vývody vnitroreaktorového měření neutronového toku a teplot chladiva na výstupu z aktivní zóny. K hornímu bloku jsou připojena potrubí pro odvodu reaktoru a potrubí chlazení pohonů regulačních kazet. Tuhost horního bloku je zabezpečena ocelovou konstrukcí. Na horní části bloku je traverza pro jeho transport.

Základní vnitřní vestavbou reaktoru je šachta, která odděluje vstupní a výstupní prostor chladiva primárního okruhu a zároveň plní funkci tepelného a radiačního stínění tělesa tlakové nádoby. Šachta reaktoru je zavěšena na kruhovém osazení tlakové nádoby, na nějž je přes pružný element dotlačována víkem tlakové nádoby. V dolní části je šachta vedena pery. Ve spodní části šachty je zavěšeno dno šachty, které je konstruováno tak, aby zrovnoměnilo a uklidnilo proud chladiva před vstupem do aktivní zóny a vytvářelo ochranný prostor pro palivové části regulačních kazet při jejich vysouvání pod AZ. V šachtě je umístěn koš aktivní zóny obsahující vlastní aktivní zónu.

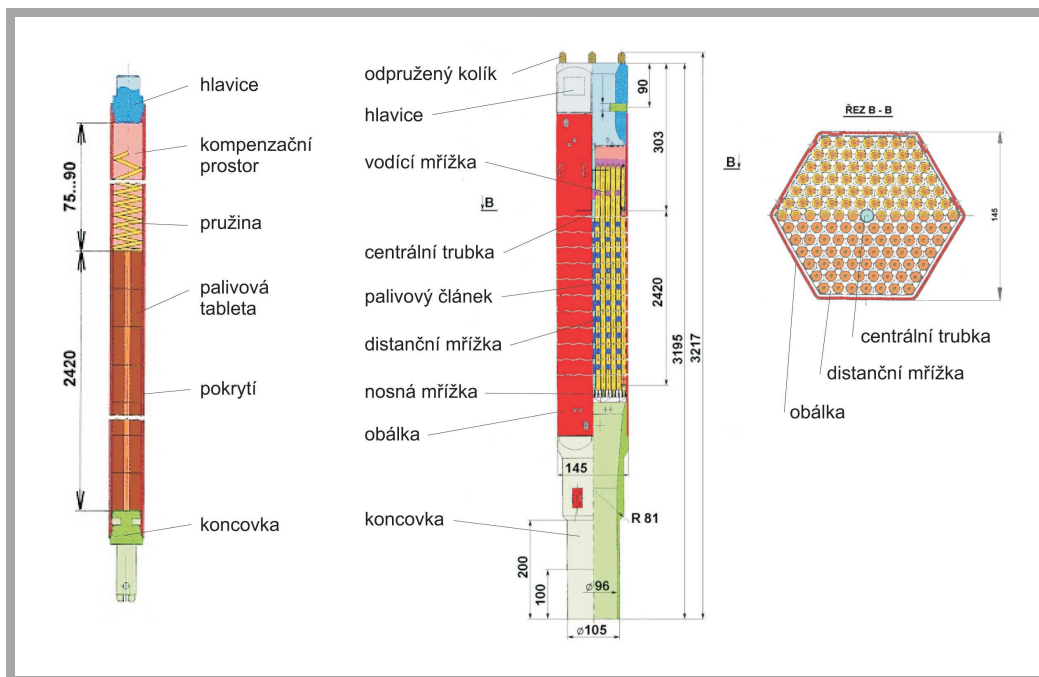
Na koš aktivní zóny shora dosedá blok ochranných trub, který zajišťuje polohu koše a palivových kazet. Dále slouží k vedení 37 regulačních kazet a k vyvedení vnitroreaktorových měření. Blok ochranných trub je centrován pery a je pružně dotlačován na koš víkem tlakové nádoby. Všechny vnitřní vestavby reaktoru jsou zhotoveny z austenitické nerezavějící oceli.

2.2.2.2 Aktivní zóna

Aktivní zóna má přibližně tvar válce o průměru 2880 mm a výšce 2500 mm. Tvoří ji 312 palivových a 37 regulačních kazet šestihranného profilu.

Palivová kazeta je tvořena souborem 126 palivových článků, přičemž v ose kazety je umístěna centrální trubka. Na centrální trubku je upevněna vodící mřížka a 10 distančních mřížek, které zajišťují trojúhelníkovou rozteč palivových článků 12,2 mm a posuvným uložením článků umožňují jejich teplotní dilataci. Spodní část centrální trubky je ukončena stejnou koncovkou, jaká je u palivového článku. Centrální trubka a palivové články jsou svojí spodní částí zakotveny v nosné mřížce. K nosné mřížce je přivařena koncovka, která slouží

k uložení kazety do nosné desky koše aktivní zóny a zároveň tvoří hrdlo pro vstup chladiva do palivové kazety. Celá střední část kazety je uzavřena šestihrannou obálkou s charakteristickým rozměrem "na klíč" 145 mm. Hlavice v horní části kazety tvoří hrdlo pro výstup chladiva a umožňuje manipulaci s kazetou. Na horním čele hlavice je šest odpružených kolíků, na které pak dosedá blok ochranných trubek a pružně dotlačuje kazetu do nosné desky koše aktivní zóny.



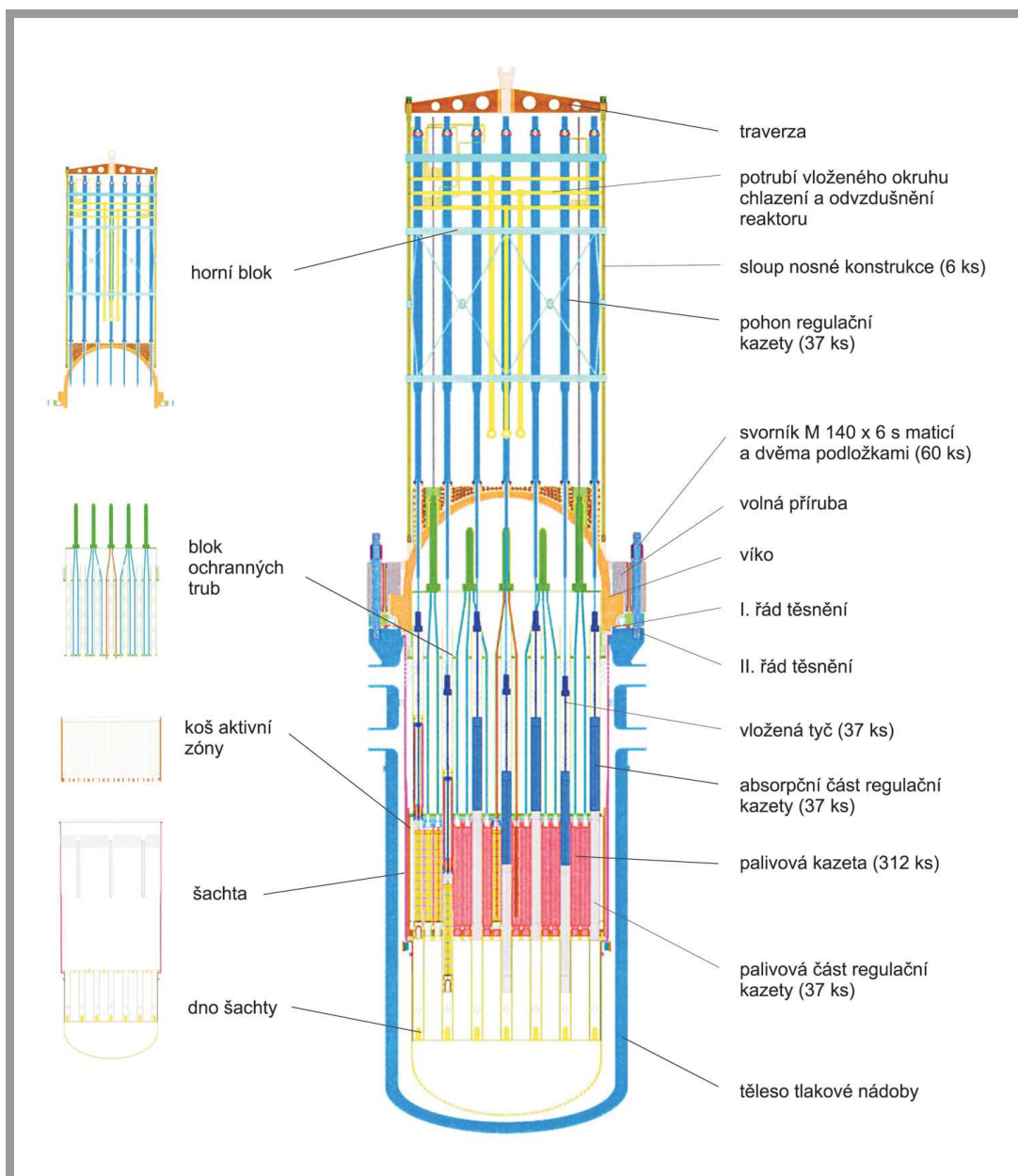
Obr. 3: Palivový článek (vlevo) a palivová kazeta s příčným řezem

Palivový článek obsahuje sloupec palivových tablet vylišovaných z UO_2 , který je uzavřený v trubce o vnějším průměru 9,1 mm a tloušťce stěny 0,65 mm vyrobené ze slitiny zirkon – niob. Tato trubka (pokrytí) tvoří bariéru proti úniku radioaktivity do chladiva primárního okruhu. Ve spodní části je palivový proutek uzavřen válcovou koncovkou, která slouží k pevnému uložení proutku v nosné mřížce palivové kazety. Na koncovku dosedá sloupec palivových tablet, který je shora stlačován pružinou. V horní části je palivový proutek hermeticky uzavřen válcovou hlavicí. Hlavice je volně uložena ve vodící mřížce palivové kazety a umožňuje tak dilataci proutku v osovém směru. Volný prostor v palivovém proutku je zaplněn heliem s přetlakem asi 500 kPa. V průběhu palivové kampaně slouží také k hromadění plynných produktů štěpení.

Regulační kazety se skládají z absorpční a palivové části, přičemž palivová část obsahuje články podobné konstrukce jako palivová kazeta. Absorpční část kazet obsahuje vložky vyrobené z nerezové bórové oceli. Absorpční část je nasunuta na část palivovou a tato sestava je spojena vloženou tyčí s pohonem regulační kazety umístěným v horním bloku.

V aktivní zóně dochází k řízené štěpné reakci. Chladivem je chemicky upravená lehká voda s proměnným obsahem kyseliny borité (H_3BO_3). Chladivo současně plní funkci moderátoru.

Nominální tepelný výkon aktivní zóny je 1375 MW, lze jej však vhodnými úpravami zvýšit až na asi 1500 MW.



Obr. 4: Tlaková nádoba reaktoru s horním blokem

2.2.2.3 Provoz reaktoru

Chladivo vstupuje ze studených větví cirkulačních smyček do reaktoru šesti nátrubky DN 500 dolního hrdlového prstence, poté proudí dolů v mezikruží tvořeném tlakovou nádobou a košem aktivní zóny. Zde zároveň chladí stěnu tlakové nádoby a stíní ji před neutronovým zářením. Ve spodní části tlakové nádoby obrací směr proudu a postupuje vzhůru přes děrované dno šachty do aktivní zóny reaktoru, kde ochlazuje palivové články. Chladivo

protéká kazetou rychlostí asi 4 m/s. Z aktivní zóny proudí chladivo přes blok ochranných trub a děrovanou část šachty k nátrubkům DN 500 horního hrdlového prstence, na které jsou napojeny horké větve smyček primárního okruhu. Celkový hmotnostní průtok chladiva reaktorem je 39 000 – 43 000 t/hod. Na hrdlových prstencích jsou také celkem čtyři nátrubky DN 250 pro přívod vody z hydroakumulátorů pasivního systému havarijního chlazení aktivní zóny a jeden nátrubek DN 250 pro vývod měření tlakového spádu chladiva v AZ a hladiny v odstaveném reaktoru.

Řízení výkonu reaktoru je zajištěno přemístováním regulačních kazet v aktivní zóně rychlostí 2 cm/s a změnou koncentrace kyseliny borité v chladivu (0 – 12 g H₃BO₃/kg H₂O). Regulační kazety jsou rozděleny do šesti skupin. Při provozu na nominálním výkonu jsou regulační kazety vytaženy, pouze šestá skupina je částečně zasunuta do aktivní zóny. Ta se používá k vyrovnání rychlých změn reaktivity a k regulaci výkonu. Vyrovnání pomalých změn reaktivity a zajištění podkritičnosti reaktoru při výměně paliva je zajištěno změnou koncentrace H₃BO₃ v chladivu. Havarijní odstavení je řešeno pádem všech regulačních kazet do aktivní zóny rychlostí 20 – 30 cm/s.

Výměna paliva je kampaňovitá. Provádí se po odstavení a vychlazení reaktoru, otevření tlakové nádoby reaktoru a vyjmutí bloku ochranných trubek. Jednotlivé palivové kazety jsou přemístovány pomocí tzv. zavážecího stroje. Z důvodu odstínění záření probíhá celý proces pod vodou. V průběhu výměny paliva je zbytkový výkon odváděn vodou z AZ do PG pomocí přirozené konvekce, část parního potrubí v sekundárním okruhu je zaplněna vodou a teplo je dále odváděno do technologických kondenzátorů. Doba odstávky se pohybuje od 20 do 63 dní. Kromě výměny paliva se provádí revize určených součástí primárního, resp. sekundárního okruhu.

2.2.3 Hlavní cirkulační potrubí

Hlavní cirkulační potrubí spojuje jednotlivá základní zařízení primárního okruhu. Je tvořeno šesti cirkulačními smyčkami. Každá sestává z horké a studené větve. V každé horké větvi je umístěna hlavní uzavírací armatura a jedna z větví je navíc neoddělitelně napojena na kompenzátor objemu. V každé studené větvi se nachází hlavní uzavírací armatura a hlavní cirkulační čerpadlo. Jedna ze studených větví je napojena na sprchu kompenzátoru objemu. Hlavní cirkulační potrubí je svařeno z trubek z austenitické nerezové oceli o rozměrech Ø566 x 34 (DN 500).

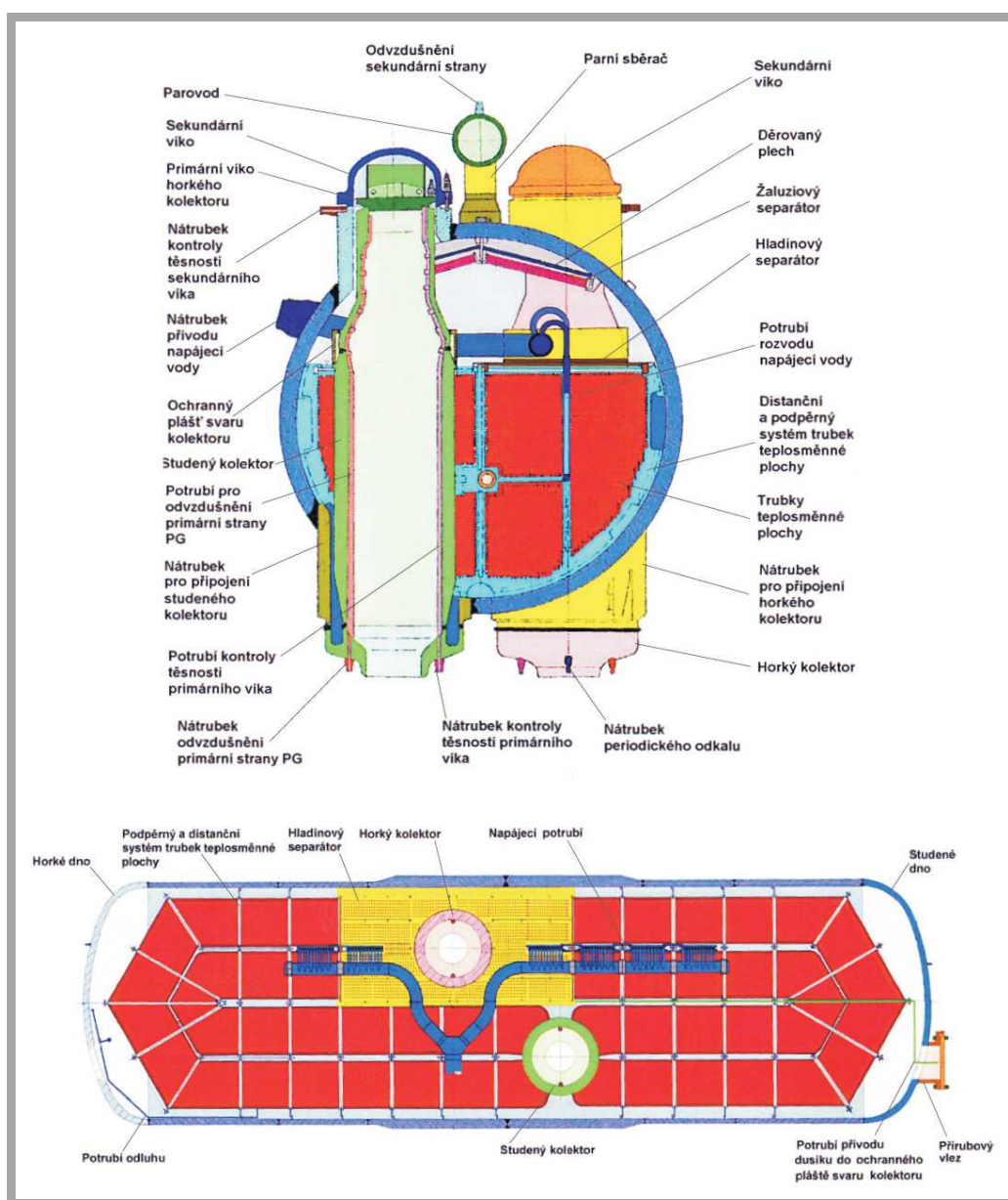
2.2.4 Hlavní uzavírací armatura

Hlavní uzavírací armatury jsou šoupátka DN 500, která slouží k odpojení libovolné cirkulační smyčky od reaktoru, např. v případě poruchy hlavního cirkulačního čerpadla nebo parogenerátoru. Přitom je nutno snížit výkon reaktoru tak, aby odpovídal odvodu tepla zbylými cirkulačními smyčkami. HUA lze alternativně ovládat ručním kolem. Je zařazena ve všech větvích šesti cirkulačních smyček, celkem je tedy v primárním okruhu 12 hlavních uzavíracích armatur.

2.2.5 Hlavní cirkulační čerpadlo

HCC zajišťuje pomocí nucené cirkulace chladiva primárním okruhem přenos tepelné energie z aktivní zóny reaktoru do teplosměnné plochy parogenerátoru. Je umístěno ve studené větvi cirkulační smyčky, takže saje chladivo z PG a vytlačuje ho do reaktoru. Průtok chladiva čerpadlem je $7100 \text{ m}^3/\text{hod}$. HCC je vertikální, odstředivé, jednostupňové čerpadlo s letmo uloženým oběžným kolem. Pohon čerpadla je zajištěn vnějším asynchronním elektromotorem o výkonu $1,6 \text{ MW}$ pracujícím při otáčkách 1500 min^{-1} . Rotor elektromotoru je spojen s hřídelí čerpadla zubovou spojkou.

2.2.6 Parogenerátor



Obr. 5: Parogenerátor – vertikální a horizontální řez [1]

Parogenerátor je výměník tepla, ve kterém se tepelná energie chladiva primárního okruhu předává pracovní látce sekundárního okruhu (napájecí vodě), která se mění na páru. PG je součástí každé cirkulační smyčky.

Těleso parogenerátoru tvoří horizontální válcová nádoba svařená ze šesti kroužků a dvou eliptických den z uhlíkaté ocele. Vnitřní průměr nádoby je 3210 mm, délka 11 800 mm a tloušťka stěny 135 mm (2 vnitřní kroužky), resp. 75 mm (4 vnější kroužky). Ve střední části tělesa jsou čtyři nátrubky. Ke dvěma dolním nátrubkům DN 1100 jsou přivařena tělesa horkého a studeného kolektoru, dva horní nátrubky DN 720 jsou uzavřeny sekundárními víky. Jedno dno nádoby je opatřeno průlezem DN 470 umožňujícím vstup do sekundárního prostoru PG za účelem kontroly, resp. oprav. V horní části pláště parogenerátoru je nátrubek DN 250 pro přívod napájecí vody, pět hrdel DN 250 pro připojení parních sběračů a několik dalších technologických nátrubků. V dolní části jsou nátrubky pro vypouštění sekundární strany, odluh, měření hladiny apod.

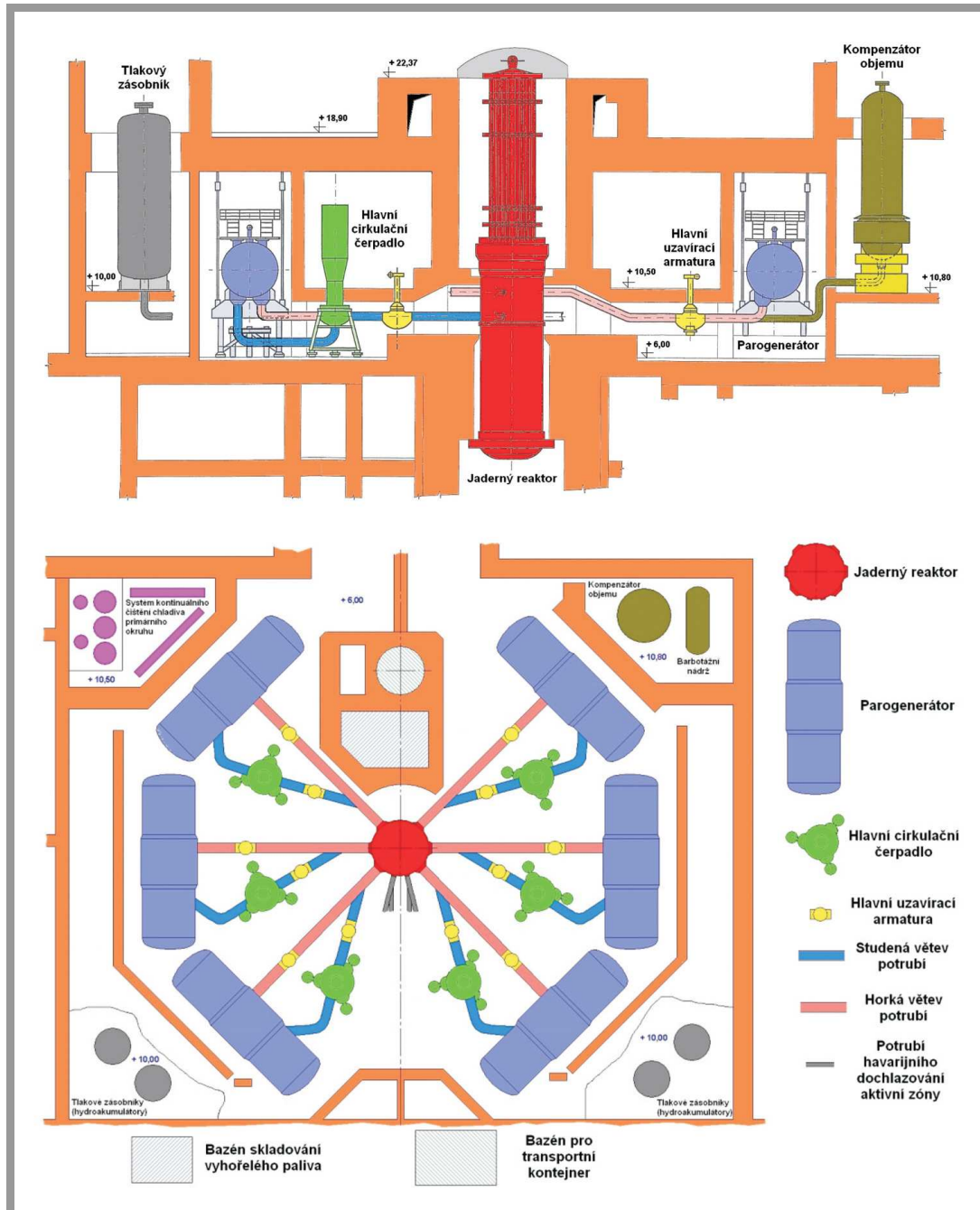
Teplosměnnou plochu uvnitř PG tvoří 5536 trubek $\varnothing 16 \times 1,4$ mm tvaru U z austenitické nerezové ocele, které jsou napojeny na vstupní a výstupní kolektor chladiva primárního okruhu. Při nominálním výkonu bloku je vstupní teplota primárního média 297 ± 2 °C, výstupní teplota 267 ± 2 °C, při tlaku 12,26 MPa. Trubky teplosměnné plochy jsou uloženy v distančních elementech podpěrného systému a jsou zcela zatopené vodou sekundárního okruhu. Napájecí voda se přivádí pod hladinu vody v tělese parogenerátoru. Pára vyrobená v PG proudí přes žaluziový separátor umístěný v horní části tělesa parogenerátoru do sběračů páry a odtud do parovodu.

2.2.7 Kompenzátor objemu

Primární okruh je v podstatě tlaková nádoba zaplněná chladivem - vodou. Objem chladiva se mění v závislosti na jeho teplotě, objem primárního okruhu ale zůstává stejný. Změna teploty chladiva by proto nutně vedla ke změně tlaku. Součástí primárního okruhu je proto kompenzátor objemu, který kompenzuje tlakové a objemové změny chladiva dané změnami jeho teplot a zajišťuje tak stálý tlak v primárním okruhu potřebný pro provoz JE. Zároveň tlumí rázy a pulsace v primárním okruhu.

Kompenzátor objemu je vertikální tlaková nádoba o vnitřním průměru 2 396 mm a výšce 12 000 mm, tloušťka stěny je 153/204 mm. Za normálního provozu je KO naplněn asi do dvou třetin výšky chladivem. Zbytek prostoru nad jeho hladinou je zaplněn sytou parou, protože v jeho spodní části jsou umístěny elektroohříváče, které ohřívají chladivo při daném tlaku na mez sytosti. Za nominálního provozu je tlak v primárním okruhu 12,26 MPa a teplota sytosti v KO je tedy 325 °C. Kompenzátor objemu je jediným zařízením primárního okruhu, kde je chladivo uvedeno do varu.

Zvýšení tlaku v KO (a tím i v celém primárním okruhu) se provádí zvýšením teploty chladiva v KO pomocí elektrického ohřevu. Elektroohříváče jsou rozděleny do skupin, jejich celkový výkon je 1620 kW. Snížení tlaku se provádí částečnou kondenzací páry v kompenzátoru objemu vstříkáním studenějšího chladiva ze studené větve cirkulační smyčky do parního prostoru KO. Pokud vstřík pomocí sprchy nedokáže zastavit růst tlaku v primárním okruhu, dojde k otevření pojistného ventilu a odvodu páry do barbotážní nádrže a tím ke snížení tlaku.



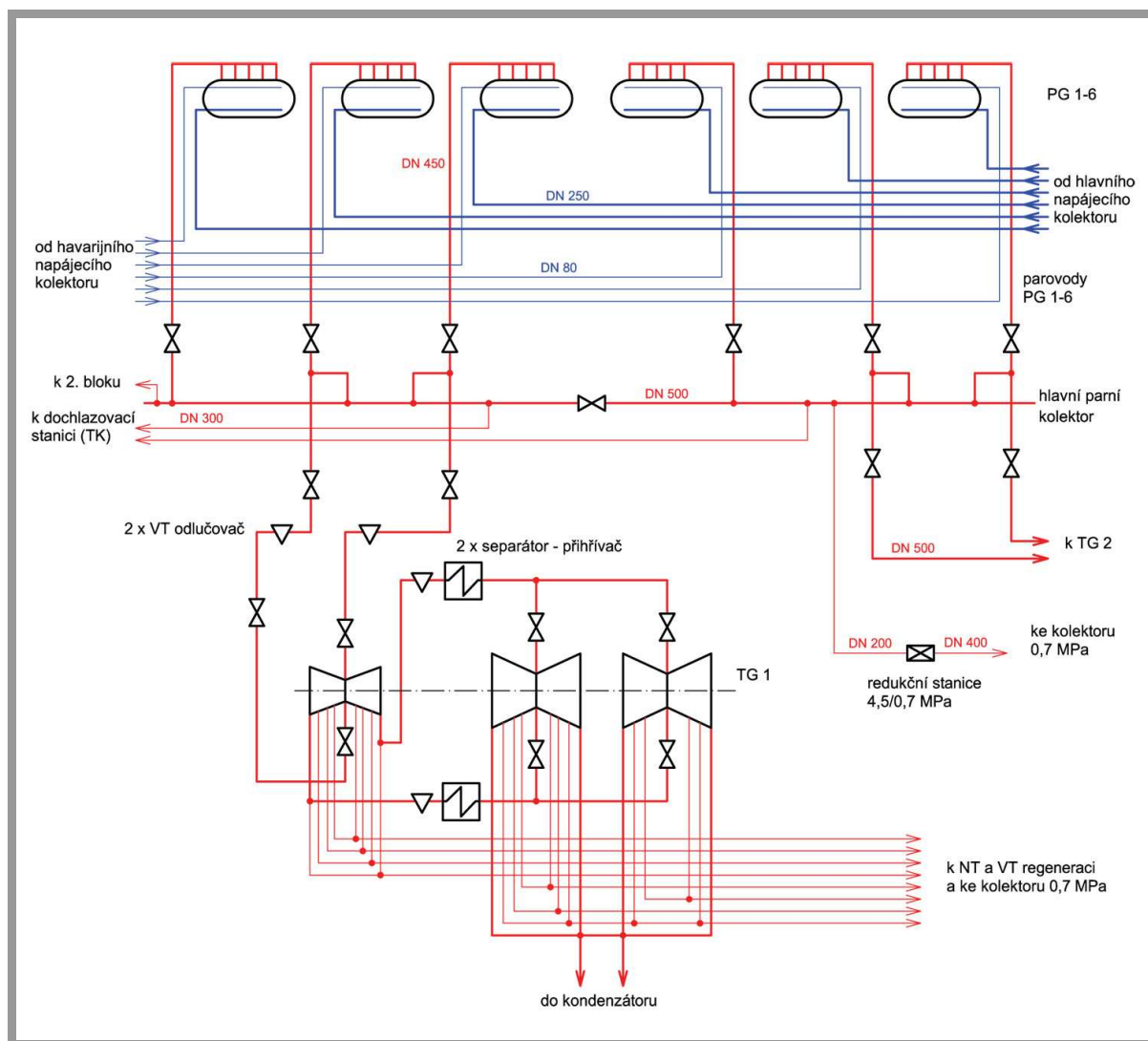
Obr. 6: Dispoziční schéma primárního okruhu JE VVER 440 - vertikální a horizontální řez [9]

2.3 Sekundární okruh

Sekundární okruh je tepelný oběh využívající Rankine – Clausiův cyklus. Základními zařízeními sekundárního okruhu jsou parogenerátor, parní turbína, kondenzátor, nízkotlaká a vysokotlaká regenerace, napájecí nádrž a napájecí čerpadla.

2.3.1 Parogenerátor, rozvod páry

PG byly již stručně popsány v kap. 2.2.6. V parogenerátorech je předávána energie z primárního okruhu do okruhu sekundárního. Při plném výkonu bloku je to 1375 MW tepelné energie. Toto množství umožňuje vyrobit v každém parogenerátoru 452 tun syté páry za hodinu o teplotě 256 °C při tlaku 4,7 MPa.



Obr. 7: Zjednodušené schéma rozvodu páry a zapojení turbíny

Parovody od šesti PG jsou připojeny k hlavnímu parnímu kolektoru. Toto zapojení umožňuje přerozdělit množství páry mezi jednotlivými potrubními trasami, popř. zajistit přívod páry pro sousední blok při zkouškách soustrojí po opravách. Pára je dále vedena dvěma dvojicemi parovodů ke dvěma parním turbínám. Tento potrubní systém přívodu páry od PG do turbín je chráněn v několika tlakových hladinách proti nadměrnému vzrůstu tlaku, který je obvykle způsoben nerovnováhou mezi celkovým parním výkonem PG a spotřebou páry v turbínách a dalších spotřebičích.

2.3.2 Parní turbína

Parní turbína je tepelný točivý stroj sloužící pro přeměnu tepelné energie na mechanickou energii. V jednom bloku JE VVER 440 jsou použity dvě kondenzační parní turbíny K 220 - 44 na sytou páru, každá o výkonu 220 MW²⁾. Turbíny jsou třítělesové, každá má jeden vysokotlaký a dva nízkotlaké díly, přičemž všechny díly jsou dvou Proudové. Vysokotlaké těleso má v každém proudě 6 pracovních stupňů, nízkotlaková tělesa mají po 5 stupních. Turbína pracuje při otáčkách 3000 min⁻¹ a je provedena speciálně pro provoz s vlhkou párou. Za nominálních podmínek proudí dvěma parovody do vysokotlaké části turbíny 1356 t/hod ostré páry. V každém parovodu je před vstupem do turbíny umístěn VT odlučovač a blok rychlozávěrných a regulačních ventilů. Na vstupu do parní turbíny má pára tlak 4,42 MPa a teplotu 256 °C.

Při expanzi ve VT části předá část své tepelné energie turbíně, která ji přemění na energii mechanickou. Snížení entalpie páry vede k částečné kondenzaci páry. Vlhkost páry na výstupu z VT dílu je asi 10 % a obecně má nepříznivý vliv na účinnost a životnost turbíny. Pára o tlaku 0,513 MPa a teplotě 153 °C je proto zavedena do dvojice separátorů – přihříváčů, kde dochází k odloučení vlhkosti a dvoustupňovému přehřátí páry na teplotu 217 °C. Pro přehřátí páry je použita částečně vyexpandovaná pára z odběrů VT části turbíny. Pára o tlaku 0,45 MPa a průtoku 2 x 435 t/hod se dále zavádí do NT částí turbíny, kde dochází k další přeměně tepelné energie na mechanickou. Za nominálních podmínek produkuje VT část turbíny asi 40 % a NT části po 30 % celkového výkonu turbosoustrojí.

Provoz turbíny je podmíněn správnou funkcí několika pomocných systémů. Mezi pomocné systémy parní turbíny patří olejový systém, systém ucpávkové páry, systém odvodnění turbíny, hydraulický regulační a zabezpečovací systém, systém separace a přihřívání, systém neregulovaných odběrů atd.

2.3.3 Kondenzátor

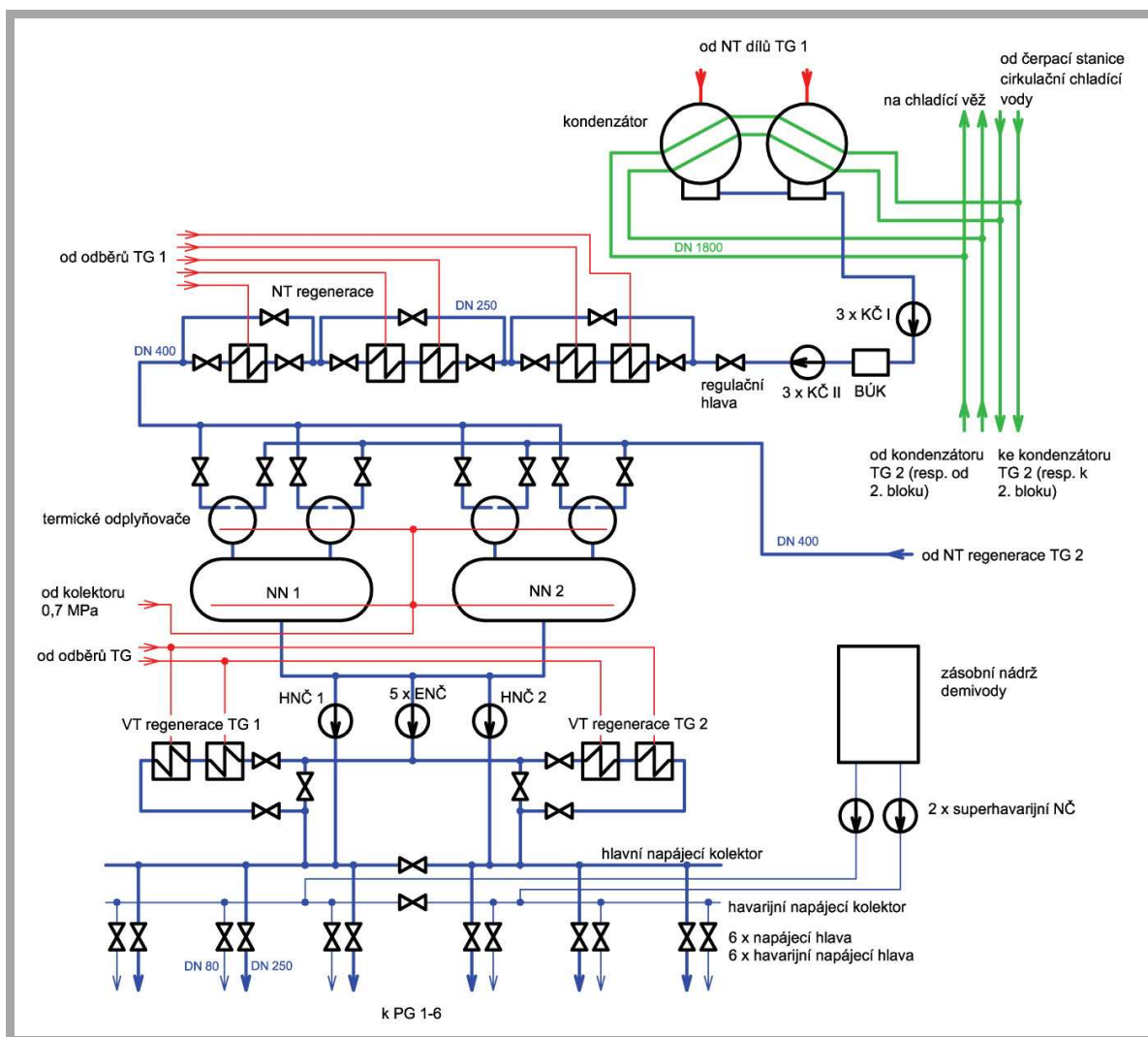
Z NT dílů parní turbíny proudí 2 x 376 t/hod páry o vlhkosti asi 10 % do dvoutělesového kondenzátoru. Pod každým NT dílem je umístěn jeden jeho díl. Odváděním kondenzačního tepla chladicí vodou dochází ke kondenzaci páry při tlaku asi 5 kPa v první části, resp. 7 kPa v druhé části kondenzátoru. Tento nízký tlak v kondenzátoru se za provozu vytváří kondenzací páry. Kondenzátor ale není absolutně vzduchotěsný a časem by se zahltl nezkondenzovatelnými plyny. Udržování tlaku v kondenzátoru, popř. vytvoření najížděcího vakua proto zajišťuje trojice vodoproudých vývěv, které odsávají z kondenzátoru parovzdušnou směs. Jestliže je nutné zavzdušnit kondenzátor, propojí se parní prostor s atmosférou otevřením rušiče vakua.

Cirkulační chladicí voda je přiváděna dvojicí potrubí postupně do obou částí kondenzátoru. Na vstupu do první části kondenzátoru má cirkulační voda tlak 0,35 MPa, na výstupu z druhé části 0,28 MPa. Kondenzátorem za hodinu protéká 35 000 m³/hod chladicí vody. Cirkulační chladicí voda může mít teplotu na vstupu do kondenzátoru v rozsahu 14,5 – 32 °C, nominální hodnota je 20 °C. Vnitřní povrch teplosměnných trubek je kontinuálně čištěn.

²⁾ Zvýšením výkonu reaktoru a vhodnými úpravami na sekundárním okruhu lze dosáhnout výkonu až 250 MW.

2.3.4 Nízkotlaká regenerace, napájecí nádrž

Kondenzát o teplotě asi 38 °C stéká do sběrných vakuových nádob, odkud je odváděn do sání kondenzátních čerpadel prvního stupně. Tato čerpadla protlačují kondenzát přes blokovou úpravnu kondenzátu na sání čerpadel druhého stupně, která dopravují kondenzát přes NT regeneraci do tepelné úpravy vody. Kondenzát protékající NT regenerací je postupně v pěti sériově řazených tepelných výměnících ohříván parou z neregulovaných odběrů parní turbíny. Z důvodu spolehlivosti systému je NT regenerace rozdělena na tři samostatné nezávislé skupiny, přičemž pro provoz bloku je nutná činnost alespoň dvou skupin. Na výstupu z NT regenerace má kondenzát teplotu 143 °C. Nízkotlaká regenerace zvyšuje účinnost oběhu.



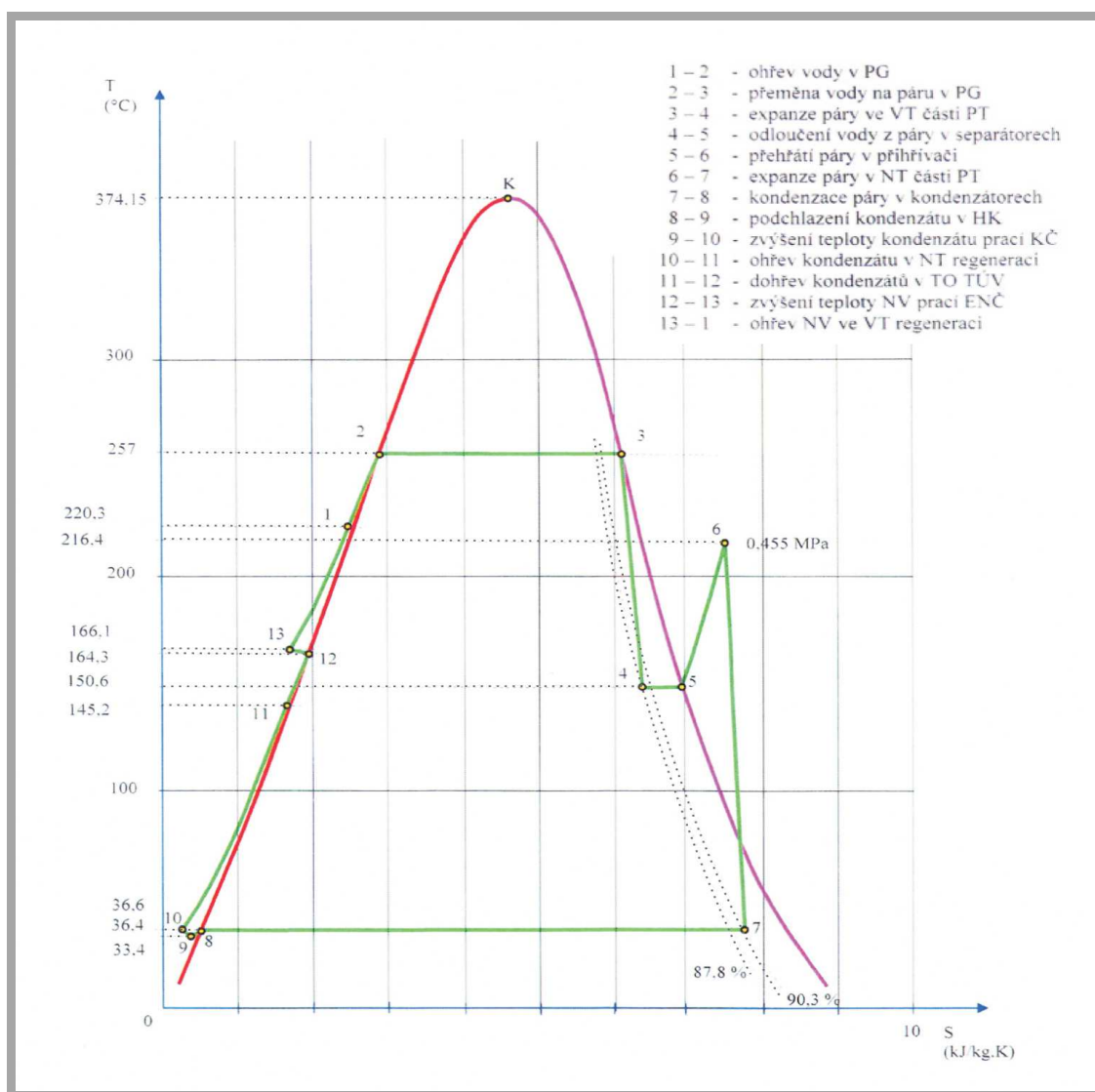
Obr. 8: Zjednodušené schéma systému kondenzace a napájení PG

Z NT regenerace proudí kondenzát do tepelné úpravy vody, kde se odplyňuje ve dvou termických odplyňovačích vyhříváných parou o tlaku 0,7 MPa. V procesu odplynění se využívá toho, že množství plynů rozpuštěných v kapalině klesá s rostoucí teplotou a na mezi sytosti je minimální a že oddělování plynů a kapaliny je možné pouze z jejího povrchu.

Kondenzát poté stéká do napájecí nádrže. V napájecí nádrži je voda udržována na teplotě 164 °C a tlaku 0,7 MPa přívodem páry z kolektoru 0,7 MPa. Objem napájecí nádrže je dimenzován na asi 5 minut provozu bloku při jmenovitém výkonu v případě přerušení dodávky kondenzátu z odplyňovačů.

2.3.5 Napájecí systém, vysokotlaká regenerace

Z napájecí nádrže je kondenzát nasáván do napájecích čerpadel. Čerpadla pracují v režimu 4+1, tlak na výtlaku je 6,5 MPa. Ve dvoustupňové VT regeneraci se pak napájecí voda ohřívá na teplotu 223 °C pomocí páry z odběrů VT části turbíny. Vysokotlaká regenerace snižuje tepelné namáhání parogenerátoru a zvyšuje účinnost oběhu. Při velmi nízkém výkonu bloku je voda dopravována do PG pomocí havarijních napájecích čerpadel.



Obr. 9: T-s diagram sekundárního okruhu [14]

Z VT regenerací obou větví proudí napájecí voda do hlavního napájecího kolektoru v množství 2720 t/hod. Dále je voda vedena přes napájecí hlavy, kde lze regulovat její průtok, do parogenerátorů. Regulace se provádí na základě měření hladiny, parního výkonu a množství odluhu a odkalu v daném parogenerátoru. V ustáleném režimu proudí do každého parogenerátoru asi 460 t/hod napájecí vody.

Pokud není možné zajistit napájení PG výše uvedeným způsobem, je blok odstaven pomocí havarijních ochran a do provozu je uveden systém superhavarijního napájení PG. Do vybraných PG je potom po splnění dalších podmínek čerpána demineralizovaná voda ze zásobních nádrží demivody. Tímto způsobem je možné blok nejen odstavit, ale i dochladit, tj. snížit teplotu chladiva pod 57 °C. Pravděpodobnost použití tohoto systému je ale velice nízká.

2.3.6 Okruh cirkulační chladicí vody

Okruh cirkulační chladicí vody zajišťuje odvod nízkopotenciální tepelné energie z kondenzátorů sekundárního okruhu do okolí. Tuto energii lze odvádět buď do dostatečně velkého vodního zdroje nebo prostřednictvím chladících věží do atmosféry (např. EDU).

Do kondenzátoru vstupuje voda z hlavního rozváděcího kolektoru cirkulační chladicí vody. Při průchodu kondenzátorem se zvýší její teplota na asi 32 °C. Voda je poté odváděna vratným kolektorem na rozvodnou plošinu chladících věží, kde je rozstříkována na systém desek uvnitř věže. Na těchto vnitřních vestavbách se zvětšuje povrch vody a tím se teplo intenzivněji předává vzduchu a voda se zároveň částečně odpařuje. Vzduch proudí uvnitř chladících věží vlivem přirozené konvekce. Voda poté padá do vany pod chladicí věží, odkud je zaváděna zpět na sání čerpadel cirkulační chladicí vody. Vlivem částečného odparu v chladících věžích má cirkulační chladicí voda tendenci se zahušťovat, proto je nutné tento okruh odluhovat a zároveň doplňovat o ztráty.

Nominální průtok jednou chladicí věží dosahuje 38 000 m³/hod, nominální chladicí výkon je 483 MWt. Při extrémních teplotách okolí je nutné provozovat okruh s různým počtem čerpadel nebo chladících věží tak, aby se teplota chladicí vody na výstupu z chladicí věže pohybovala v intervalu 12,5-32 °C.

2.3.7 Další systémy sekundárního okruhu

Součástí sekundárního okruhu je několik dalších systémů; doposud byly popsány pouze ty, které přímo souvisí s přenosem a využitím tepla z primárního okruhu při normálním provozu. Mezi další systémy patří především systém dochlazování primárního okruhu, centrální olejové hospodářství, vodní hospodářství, kanalizace a vypouštění odpadních vod, dieselgenerátorová stanice, plynové hospodářství, výroba a rozvod stlačeného vzduchu.

2.4 Základní parametry VVER 440 – shrnutí

Tepelný výkon reaktoru	1375	MW
Objemový průtok chladiva reaktorem	11,8	m ³ /s
Počet smyček primárního okruhu	6	-
Tlak v primárním okruhu	12,3	MPa
Teplota chladiva na vstupu do reaktoru	270	°C
Teplota chladiva na výstupu z reaktoru	298	°C
Průměrná rychlost vody v primárním potrubí	9,6	m/s
Průměr / výška tělesa nádoby reaktoru	3,84 / 11,8	m
Průměr / výška aktivní zóny reaktoru	2,88 / 2,5	m
Průměr / tloušťka pokrytí palivového elementu	9,1 / 0,65	mm
Počet elementů v palivovém článku	126	-
Počet palivových článků v aktivní zóně	349 ³⁾	-
Tepelný výkon parogenerátoru	229,2	MW
Tok páry generované v parogenerátoru	125	kg/s
Tlak páry v parogenerátoru	4,7	MPa
Teplota napájecí vody vstupující do parogenerátoru	224	°C
Teplota syté páry v parogenerátoru	259	°C
Teplosměnná plocha PG vztažená k vnějšímu pr. trubek	2510	m ²
Vnější průměr / tloušťka stěny trubek v PG	16 / 1,4	mm
Celková délka trubek v PG	49 935	m
Střední rychlost primární vody v trubkách PG	2,37	m/s
Vnitřní průměr / celková délka nádoby PG	3,21 / 11,63	m
Počet turbosoustrojí	2	-
Průtok chladicí vody kondenzátorem	35 000	m ³ /hod
Elektrický výkon bloku	440	MW

Tab. 1: Základní parametry bloku VVER 440

³⁾ z toho 37 je součástí regulačních kazet

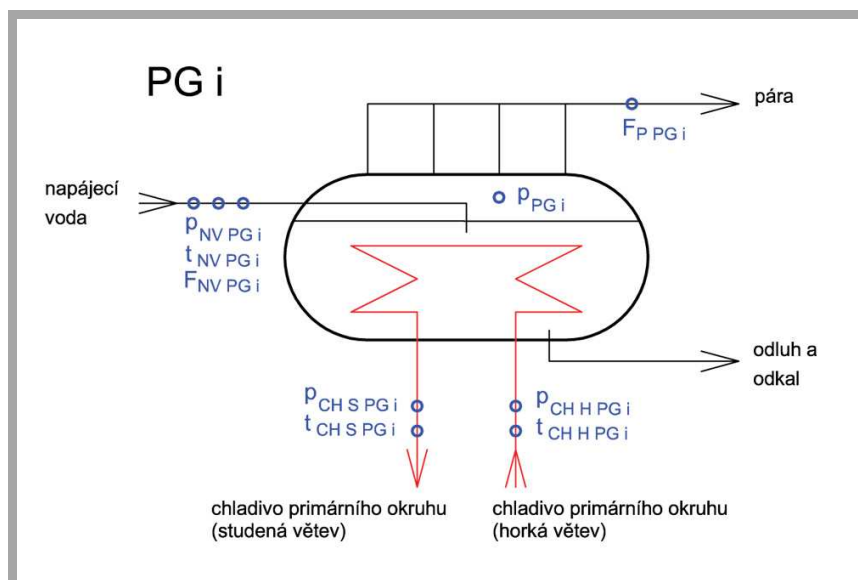
3 SESTAVENÍ ROVNIC PRO VÝPOČET VÝKONU A PRŮTOKU AZ Z PARAMETRŮ SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU

3.1 Zadané parametry sekundárního okruhu

Pro výpočet jsou zadány tyto vstupní parametry:

Time	[d.m.r h:m]	datum a čas
$p_{NV PG i}$	[MPa]	tlak napájecí vody na vstupu do parogenerátoru
$t_{NV PG i}$	[°C]	teplota napájecí vody na vstupu do parogenerátoru
$F_{NV PG i}$	[t/hod]	průtok napájecí vody na vstupu do parogenerátoru
$p_{PG i}$	[MPa]	tlak v parogenerátoru
$F_{P PG i}$	[t/hod]	průtok páry na výstupu z parogenerátoru
$t_{CH H PG i}$	[°C]	teplota chladiva na vstupu do parogenerátoru
$p_{CH H PG i}$	[MPa]	tlak chladiva na vstupu do parogenerátoru
$t_{CH S PG i}$	[°C]	teplota chladiva na výstupu z parogenerátoru
$p_{CH S PG i}$	[MPa]	tlak chladiva na výstupu z parogenerátoru

Pozn.: Je zřejmé, že se nejedná pouze o parametry sekundárního okruhu; označení je zjednodušující a vyjadřuje spíše jejich nezbytnost pro výpočet. Toto označení bude použito i dále.



Obr. 10 Měření vstupních parametrů (vyznačeny modře)

Pro každý z 6 parogenerátorů je v daném čase měřeno 9 veličin, celkem je tedy požadováno (včetně časového údaje) 55 vstupních hodnot.

3.2 Sestavení rovnic pro výpočet výkonu a průtoku AZ

3.2.1 Hmotnostní a energetická bilance parogenerátoru

Parogenerátor lze chápat jako tepelný výměník, kde se předává tepelná energie z chladiva primárního okruhu do pracovního média sekundárního okruhu.

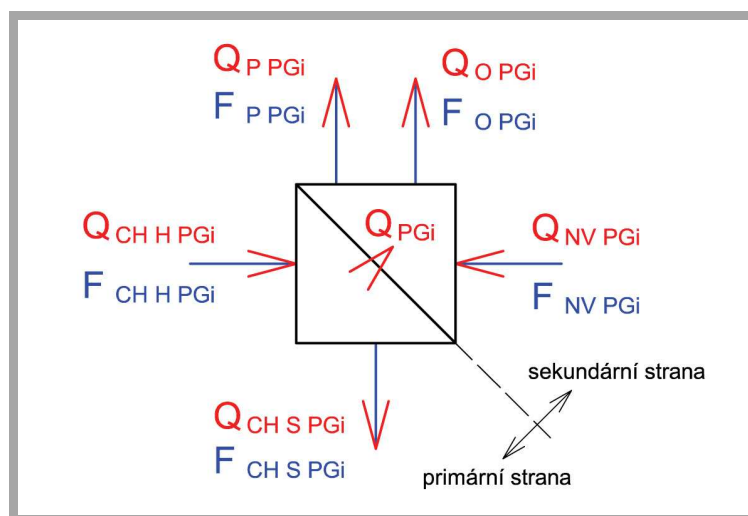
Pro hmotnostní bilanci pro primární a sekundární stranu parogenerátoru platí:

$$F_{CH\ H\ PG\ i} = F_{CH\ S\ PG\ i} \quad (= F_{CH\ PG\ i}) \quad (1)$$

$$F_{NV\ PG\ i} = F_{P\ PG\ i} + F_{O\ PG\ i} \quad (2)$$

kde: $F_{P\ PG\ i}$ průtok páry na výstupu z parogenerátoru;
 $F_{NV\ PG\ i}$ průtok napájecí vody na vstupu do parogenerátoru;
 $F_{O\ PG\ i}$ průtok odluhu a odkalu parogenerátoru;
 $F_{CH\ PG\ i}$ průtok chladiva parogenerátorem.

Pozn. ad (2): neuvažuje se akumulace pracovního média sekundárního okruhu v PG; v rámci delšího časového intervalu je toto zjednodušení akceptovatelné.



Obr. 11: Grafické vyjádření hmotnostní a energetické bilance parogenerátoru

Energetickou bilanci parogenerátoru vyjádříme vztahem:

$$Q_{CH\ H\ PG\ i} - Q_{CH\ S\ PG\ i} = Q_{PG\ i} = Q_{P\ PG\ i} + Q_{O\ PG\ i} - Q_{NV\ PG\ i} \quad (3)$$

kde: $Q_{CH\ H\ PG\ i}$ tepelný tok přenášený chladivem na vstupu do parogenerátoru;
 $Q_{CH\ S\ PG\ i}$ tepelný tok přenášený chladivem na výstupu z parogenerátoru;
 $Q_{PG\ i}$ tepelný tok přenášený z primárního do sekundárního okruhu v PG;
 $Q_{P\ PG\ i}$ tepelný tok přenášený parou;

Q_{OPGi} tepelný tok přenášený odluhem a odkalem;
 Q_{NVPGi} tepelný tok přenášený napájecí vodou.

Pozn.: při vyhodnocování v rámci delšího časového intervalu lze též zanedbat akumulaci tepla v PG způsobenou změnou tlaku.

3.2.2 Výpočet výkonu AZ

Tepelnou bilanci pro sekundární stranu i-tého parogenerátoru popisuje vztah:

$$Q_{PGi} = Q_{PPGi} + Q_{OPGi} - Q_{NVPGi} \quad (4)$$

kde: Q_{PGi} tepelný tok přenášený z primárního do sekundárního okruhu v PG;
 Q_{PPGi} tepelný tok přenášený parou;
 Q_{OPGi} tepelný tok přenášený odluhem a odkalem;
 Q_{NVPGi} tepelný tok přenášený napájecí vodou;

a po vyjádření jednotlivých členů z tepelné a hmotnostní bilance získáme rovnici:

$$Q_{PGi} = F_{PPGi} \cdot (x_{PPGi} \cdot i''_{PG1} + (1 - x_{PPGi}) \cdot i'_{PG1}) + (F_{NVPGi} - F_{PPGi}) \cdot i'_{PG1} - F_{NVPGi} \cdot i_{NVPGi} \quad (5)$$

kde: Q_{PGi} tepelný tok přenášený z primárního do sekundárního okruhu v PG;
 F_{PPGi} průtok páry na výstupu z parogenerátoru;
 F_{NVPGi} průtok napájecí vody na vstupu do parogenerátoru;
 i'_{PGi} entalpie syté kapaliny při tlaku v parogenerátoru;
 i''_{PGi} entalpie syté páry při tlaku v parogenerátoru;
 i_{NVPGi} entalpie napájecí vody na vstupu do parogenerátoru;
 x_{PPGi} suchost páry na výstupu z parogenerátoru.

Pozn.: entalpie i_{NVPGi} určíme z parních tabulek na základě teplot t_{NVPGi} a tlaků p_{NVPGi} , entalpie i'_{PGi} a i''_{PGi} na základě tlaků p_{PGi} ; uvažujeme, že hmotnostní tok pracovního média sekundárního okruhu daný rozdílem $F_{NVPGi} - F_{PPGi}$ odchází z PG ve stavu syté kapaliny pro daný tlak v PG; suchost páry na výstupu z PG je uvažována 0,9975.

Za předpokladu, že se veškeré teplo produkované v reaktoru předává v parogenerátorech do sekundárního okruhu můžeme napsat, že výkon reaktoru je roven součtu výkonů jednotlivých parogenerátorů:

$$Q_R = \sum_{i=1}^6 Q_{PGi} \quad (6)$$

Pozn.: tepelný výkon je z reaktoru typu VVER 440 odváděn do šesti PG.

3.2.3 Výpočet průtoku chladiva AZ

Tepelnou bilanci pro primární stranu i -tého parogenerátoru lze vyjádřit rovnicí:

$$Q_{PG i} = Q_{CH H PG i} - Q_{CH S PG i} \quad (7)$$

kde: $Q_{PG i}$ tepelný tok přenášený z primárního do sekundárního okruhu v PG;
 $Q_{CH H PG i}$ tepelný tok přenášený chladivem na vstupu do parogenerátoru;
 $Q_{CH S PG i}$ tepelný tok přenášený chladivem na výstupu z parogenerátoru;

a po vyjádření jednotlivých členů z tepelné a hmotnostní bilance:

$$Q_{PG i} = F_{CH PG i} \cdot (i_{CH H PG i} - i_{CH S PG i}) \quad (8)$$

kde: $Q_{PG i}$ tepelný tok přenášený z primárního do sekundárního okruhu v PG;
 $F_{CH PG i}$ průtok chladiva parogenerátorem;
 $i_{CH H PG i}$ entalpie chladiva na vstupu do parogenerátoru;
 $i_{CH S PG i}$ entalpie chladiva na výstupu z parogenerátoru.

Pozn.: entalpie $i_{CH H PG i}$ určíme z parních tabulek na základě teplot $t_{CH H PG i}$ a tlaků $p_{CH H PG i}$;
entalpie $i_{CH S PG i}$ určíme z parních tabulek na základě teplot $t_{CH H PG i}$ a tlaků $p_{CH H PG i}$.

Z předchozí rovnice vyjádříme hmotnostní průtok chladiva i -tým parogenerátorem:

$$F_{CH PG i} = \frac{Q_{PG i}}{i_{CH H PG i} - i_{CH S PG i}} \quad (9)$$

resp. střední objemový průtok:

$$F_{CH PG i} = \frac{Q_{PG i}}{(i_{CH H PG i} - i_{CH S PG i}) \cdot \rho_{CH PG i}} \quad (10)$$

$$\rho_{CH PG i} = \frac{\rho_{CH S PG i} + \rho_{CH H PG i}}{2} \quad (11)$$

kde: $\rho_{CH S PG i}$ hustota chladiva na výstupu z PG;
 $\rho_{CH H PG i}$ hustota chladiva na vstupu do PG;
 $\rho_{CH PG i}$ střední hustota chladiva v PG.

Průtok chladiva aktivní zónou reaktoru určíme součtem průtoků chladiva jednotlivými parogenerátory:

$$F_{CH R} = \sum_{i=1}^6 F_{CH PG i} \quad (12)$$

4 NÁVRH PROGRAMU PRO VÝPOČET VÝKONU A PRŮTOKU AZ Z PARAMETRŮ SEKUNDÁRNÍHO OKRUHU

4.1 Výběr aplikačního software pro sestavení programu

Zadanou úlohu je výhodné řešit v tabulkovém procesoru. Pro vytvoření programu byl zvolen tabulkový procesor Excel 2007 od firmy Microsoft. Výhodou tohoto programu je velká rozšířenost a především snadná programovatelnost díky jazyku Visual Basic for Applications (VBA). Tento jazyk umožňuje vytvářet strukturované programy přímo v Excelu.

4.1.1 Úvod do programování ve VBA

Součástí sešitu Excelu jsou tzv. moduly, ve kterých je uložen kód jazyka VBA. Modul sestává z jednotlivých procedur. V případě použití modulových, resp. globálních proměnných může být v modulu také úvodní část s deklaracemi proměnných a polí.

Procedura je část kódu, která provádí určitou činnost v ní obsaženou. Je zároveň nejmenší možnou spustitelnou jednotkou kódu. Jazyk VBA podporuje dva typy procedur – Sub a Function. Procedury obsahují příkazy, které jsou interpreterem kódu prováděny směrem od začátku do konce procedury. Každý příkaz je obvykle psán na samostatný řádek. Procedury lze volat z jiných procedur.

Pomocí jazyka VBA se pracuje především s objekty, které aplikace obsahuje a které vyjadřují její určitou část. Excel obsahuje přes 100 tříd objektů, např. sešit, pracovní list, oblast buněk v listu, graf. Třídy objektů jsou uspořádány v určité hierarchii, která je vyjádřena tzv. objektovým modelem Excelu. Objekty stejného druhu mohou vytvářet kolekci, přičemž samotné kolekce jsou také objekty.

Při odkazování na určitý objekt určujeme jeho pozici v hierarchii objektů pomocí tečky, která představuje oddělovač mezi nadřazeným objektem (kontejnerem) a vlastním členem. Pokud v odkazu vynecháme nadřazený objekt, je použit aktuálně aktivní objekt dané třídy.

Objekty mají své vlastnosti a metody. Vlastnost objektu lze chápat jako jakési nastavení objektu. Pomocí kódu můžeme danou vlastnost zobrazit nebo nastavit na určitou hodnotu. Metoda je nějaká činnost, která je na objektu provedena. Na vlastnosti, resp. metody se odkazujeme pomocí názvu objektu a názvu vlastnosti, resp. metody, které jsou navzájem oddělené tečkou. Některé objekty navíc rozpoznávají specifické události, např. otevření sešitu, přepsání hodnoty buňky. Lze tedy vytvářet kód, který bude spuštěn při dané události.

VBA samozřejmě podporuje standardní programovací konstrukce, např. pole proměnných, cykly, rozhodovací konstrukce. Hodnoty lze přiřazovat do proměnných VBA.

K prohlížení a úpravě kódu v modulech slouží editor jazyka Visual Basic (VBE). Editor je samostatná aplikace, je však těsně provázaná s Excelem, např. pro spuštění editoru je nutné nejprve spustit Excel. Kód lze do modulu napsat ručně nebo nahrát pomocí záznamníku maker. Záznamník maker je nástroj, který převádí činnosti prováděné v Excelu do kódu jazyka VBA.

4.2 Příprava před vytvořením programu

4.2.1 Specifikace zadání

Program má určit výkon a průtok aktivní zónou z vybraných parametrů sekundárního okruhu bloku JE s reaktorem VVER 440 (viz kap. 3.1.), výsledky uložit do archivu a graficky znázornit.

Vstupem programu je textový soubor, ve kterém jsou vybrané parametry sekundárního okruhu uloženy ve sloupcích a jednotlivé sloupce jsou odděleny znakem tabulátoru. V prvním řádku souboru je kódové označení dané veličiny, v následujících řádcích jsou hodnoty daných veličin naměřené v určitém čase. Veličiny jsou měřené v intervalu jedné sekundy a jeden vstupní soubor obsahuje data naměřená v průběhu jedné hodiny.

Výstupem programu je databáze hodnot výkonu reaktoru a průtoku aktivní zónou a grafické znázornění průběhu těchto veličin v čase. Každá hodnota v databázi je vždy průměrná hodnota veličiny pro určitou hodinu zastoupenou jedním vstupním souborem.

Program musí umožňovat postupné přidávání hodnot prostřednictvím vstupních souborů. Není zaručeno, že data budou na sebe časově navazovat, tedy že budou dostupná pro každou hodinu. Musí se zaručit správná funkce i při zpětném doplnění některých vynechaných souborů, není tedy nutné při importu dat dodržet jejich časovou posloupnost. Vstupní soubor nemusí mít vždy přesně 3600 hodnotových řádků. Pořadí jednotlivých parametrů ve vstupním souboru není stanoveno, může tedy být v jednotlivých případech různé. Vstupní soubor navíc může obsahovat i jiné veličiny, než které jsou potřebné pro výpočet.

4.2.2 Předběžný návrh struktury programu

Program umožní uživateli vybrat vstupní soubor a ten poté importuje do prostředí Excelu. V následujícím kroku program vybere a uspořádá potřebné parametry do určeného pořadí a pro každou veličinu určí aritmetický průměr. Tyto hodnoty jsou přidány do databáze vstupních hodnot a poslouží jako data pro výpočet výstupních parametrů. Potřebné hodnoty entalpií, resp. hustot jsou určeny pomocí rovnic importovaných ze souboru *XSteam_Excel_v2.6.xls*⁴⁾. Výpočtem jsou určeny výstupní hodnoty, které jsou následně přidány do databáze výstupních hodnot a zakresleny do grafů. Pro další využití výstupů je vytvořena externí databáze výstupních hodnot.

⁴⁾ Program *XSteam_Excel_v2.6.xls* je excelovský soubor umožňující určení vlastností vody a vodní páry na základě vybraných stavových veličin. Výpočet je řešen pomocí kódu VBA a odpovídá standardu IAPWS-IF97. Soubor lze volně stáhnout na webové adrese uvedené v [5]

4.3 Program pro výpočet výkonu a průtoku AZ

Na základě výše uvedených požadavků byl vytvořen a odladěn program, jehož součástí je programový kód VBA popsáný v následujících částech této kapitoly. Z důvodu přehlednosti popisu je kód rozčleněn do bloků.

Kód VBA je umístěn ve třech modulech. Ve standardním modulu *Module1* je umístěna hlavní procedura *Core*. Druhý standardní modul *Module2* obsahuje funkce pro výpočet vybraných stavových veličin vody a vodní páry. V modulu objektu *ThisWorkbook* je kód využívající události *Open* tohoto objektu.

4.3.1 Kód programu umístěný ve standardním modulu *Module1*

4.3.1.1 Deklarační část modulu

Nastavení vynucení deklarace lokálních proměnných,
tato volba zamezí vzniku chyb např. špatným zápisem jména proměnné;

```
Option Explicit
```

4.3.1.2 Označení procedury, deklarace proměnných

Definování veřejné procedury *Core*;

```
Sub Core()
```

deklarace lokálních proměnných.

```
Dim Sheet As Worksheet  
Dim InitialTime As Date  
Dim ScanArea As Range, Code As Range, Cell As Range  
Dim r As Integer, i As Integer, n As Integer, LastRow As Integer  
Dim ChartNo As Integer, f As Integer, ro As Integer, co As Integer  
Dim x As Variant, FileName As Variant, Data As Variant  
Dim Thisbook As Variant, Database As String
```

4.3.1.3 Načtení jména souboru pro import

Zobrazení dialogového okna *Otevřít* pomocí metody *GetOpenFilename* a uložení jména vybraného vstupního souboru do proměnné *FileName*,
výběr souboru je omezen parametrem *FileFilter* pouze na textové soubory;

```
FileName = Application.GetOpenFilename("Textové soubory (*.txt),*.txt", , _  
"Core: Výběr souboru pro import")
```

přiřazení aktuálního času do proměnné *InitialTime*,
tento krok slouží k pozdějšímu určení času běhu programu;

```
InitialTime = Timer
```

ošetření chyby – uzavření okna *Core: Výběr souboru pro import* bez výběru souboru, tj. zavření okna tlačítkem *Storno* nebo křížkem v titulkové liště;

```
If FileName = False Then GoTo Jump1
```

4.3.1.4 Odemknutí sešitu, vymazání předchozích hodnot

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Odemknutí sešitu, vymazávání předchozích hodnot"
```

potlačení vykreslování změn pro urychlení procedury;

```
Application.ScreenUpdating = False
```

odemknutí sešitu a všech listů v něm obsažených, aby bylo možné s nimi pracovat;

```
ActiveWorkbook.Unprotect  
For Each Sheet In ActiveWorkbook.Worksheets  
    Sheet.Unprotect  
Next Sheet
```

vymazání obsahu buněk určených pro nová data na listech *Import*, *Vstupní data* a *Výpočet*.

```
ActiveWorkbook.Worksheets("Import").Cells.Clear  
ActiveWorkbook.Worksheets("Vstupní data").Range("B5", "BD" & Rows.Count). _  
    ClearContents  
With ActiveWorkbook.Worksheets("Výpočet")  
    .Range("D8:I11").ClearContents  
    .Range("D14:I17").ClearContents  
    .Range("D2").MergeArea.ClearContents  
    .Range("O8:T9").ClearContents  
    .Range("O13:T14").ClearContents  
End With
```

4.3.1.5 Import dat ze vstupního souboru do listu Import

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Import dat do listu " & Chr(34) & "Import" & Chr(34)
```

import dat z textového souboru vybraného v kroku 3 do listu *Import* pomocí objektu *QueryTables*;

```
Worksheets("Import").Activate  
With ActiveSheet.QueryTables.Add(Connection:="TEXT;" & FileName, _  
    Destination:=Range("$B$2"))  
    .FieldNames = True  
    .RowNumbers = False  
    .FillAdjacentFormulas = False  
    .PreserveFormatting = True  
    .RefreshOnFileOpen = False  
    .RefreshStyle = xlInsertDeleteCells
```

```
.SavePassword = False
.SaveData = True
.AdjustColumnWidth = True
.RefreshPeriod = 0
.TextFilePromptOnRefresh = False
.TextFilePlatform = 852
.TextFileStartRow = 1
.TextFileParseType = xlDelimited
.TextFileTextQualifier = xlTextQualifierDoubleQuote
.TextFileConsecutiveDelimiter = False
.TextFileTabDelimiter = True
.TextFileSemicolonDelimiter = False
.TextFileCommaDelimiter = False
.TextFileSpaceDelimiter = False
.TextFileColumnDataTypes = Array(1)
.TextFileTrailingMinusNumbers = True
.Refresh BackgroundQuery:=False
```

End With

přizpůsobení šířky sloupců importovaným datům.

```
Worksheets("Import").Columns.AutoFit
```

4.3.1.6 Kopírování hodnot z listu Import do listu Vstupní data

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Kopírování dat z listu " & Chr(34) & "Import" & _
  Chr(34) & " do listu " & Chr(34) & "Vstupní data" & Chr(34)
```

přičazení oblasti buněk s kódy veličin importovaných dat do objektové proměnné ScanArea;

```
Set ScanArea = ActiveWorkbook.Worksheets("Import").Range("B2", _
  Range("B2").End(xlToRight))
```

aktivování první buňky v řádku hlavičky obsahujícím kódy veličin potřebných pro výpočet;

```
Worksheets("Vstupní data").Activate
Range("B3").Activate
```

cyklus pro zkopírování dat z listu *Import* do listu *Vstupní data* podle kódu měřené veličiny, do objektové proměnné Code je přiřazena buňka oblasti ScanArea, ve které se nachází stejný kód, jako v aktivní buňce na listu *Vstupní data*, jestliže buňka s požadovaným kódem není nalezena, program odskočí na návěští Jump2, v případě nalezení buňky s příslušným kódem je zkopírována použitá oblast pod danou buňkou a vložena pod aktivní buňku na listu *Vstupní data* s vynecháním jednoho prázdného řádku, na listu *Vstupní data* se aktivuje buňka napravo od aktivní buňky, celý cyklus se opakuje, dokud aktivní buňka na listu *Vstupní data* není prázdná.

```
Do Until ActiveCell.Value = ""
Set Code = ScanArea.Find(ActiveCell.Value, LookAt:=xlWhole)
If Code Is Nothing Then GoTo Jump2
Worksheets("Import").Activate
Code.Offset(1, 0).Activate
```

```
Range(ActiveCell, ActiveCell.End(xlDown)).Copy  
Worksheets("Vstupní data").Activate  
Worksheets("Vstupní data").Paste ActiveCell.Offset(2, 0)  
ActiveCell.Offset(0, 1).Activate  
Loop
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

4.3.1.7 Kopírování hodnot z listu Vstupní data do listu Vstupní hodnoty

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Kopírování hodnot z listu " & Chr(34) & "Vstupní data" _  
& Chr(34) & " do listu " & Chr(34) & "Vstupní hodnoty" & Chr(34)
```

uložení čísla prvního volného řádku na listu *Vstupní hodnoty* do proměnné *r*,
v případě prvního spuštění je zvětšena hodnota *r* o 1 pro ponechání volného řádku pod
hlavičkou;

```
r = Worksheets("Vstupní hodnoty").Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row + 1  
If r = 4 Then r = 5
```

uložení čísla posledního použitého řádku na listu *Vstupní data* do proměnné *LastRow*;

```
ActiveWorkbook.Worksheets("Vstupní data").Activate  
LastRow = Worksheets("Vstupní data").Cells(Rows.Count, 2).End(xlUp).Row
```

cyklus pro vypsání průměrných hodnot z dat jednotlivých sloupců na listu *Vstupní data*,
průměrné hodnoty jsou vypsány pod poslední použitý řádek s vynecháním jednoho řádku,
pro výpočet je použita metoda *Average* jazyka VBA, výpočet pomocí vzorců aplikace
Excel nelze použít, protože není určen přesný rozsah vstupního souboru;

```
For Each Cell In Range(Cells(LastRow + 2, 2), Cells(LastRow + 2, 56))  
Cell = Application.WorksheetFunction.Average(Cell.Offset(-LastRow + 3, 0), _  
Cell.Offset(-2, 0))  
Next Cell
```

zkopírování řádku s průměrnými hodnotami na listu *Vstupní data* do prvního volného řádku
na listu *Vstupní hodnoty*.

```
Worksheets("Vstupní data").Range(Cells(LastRow + 2, 2), _  
Cells(LastRow + 2, 56)).Copy  
Worksheets("Vstupní hodnoty").Cells(r, 2).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

4.3.1.8 Kopírování hodnot z listu Vstupní hodnoty do listu Výpočet

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Kopírování hodnot z listu " & Chr(34) & _  
"Vstupní hodnoty" & Chr(34) & " do listu " & Chr(34) & "Výpočet" & _  
Chr(34) & ", převod jednotek"
```

zkopírování průměrných hodnot z listu *Vstupní hodnoty* do listu *Výpočet*;

```
ActiveWorkbook.Worksheets("Vstupní hodnoty").Activate
```

```
Worksheets("Vstupní hodnoty").Cells(r, 2).Copy
Worksheets("Výpočet").Paste Destination:=Worksheets("Výpočet"). _
    Range("D2").MergeArea
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 3), Cells(r, 8)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("D8").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 9), Cells(r, 14)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("D9").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 15), Cells(r, 20)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("D10").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 21), Cells(r, 26)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("D14").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 27), Cells(r, 32)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("D15").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 33), Cells(r, 38)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("O8").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 39), Cells(r, 44)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("O9").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 45), Cells(r, 50)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("O13").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Vstupní hodnoty").Range(Cells(r, 51), Cells(r, 56)).Copy
Worksheets("Výpočet").Range("O14").PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

převod jednotek průtoku z [t/hod] na [kg/s],

tento problém je řešen načtením dané oblasti buněk do dvojrozměrného pole proměnných x, vynásobením každého prvku pole převodní konstantou a přesunutím pole zpět do oblasti; jedná se o velmi rychlou a efektivní metodu.

```
Worksheets("Výpočet").Activate
x = Range("D8:I8")
For i = 1 To 6
x(1, i) = x(1, i) / 3.6
Next i
Range("D8:I8") = x
```

```
x = Range("D14:I14")
For i = 1 To 6
x(1, i) = x(1, i) / 3.6
Next i
Range("D14:I14") = x
```

V listu *Výpočet* dále proběhne výpočet výstupních hodnot použitím rovnic definovaných v modulu *Module2* a vztahů odvozených v kap. 3. Tento výpočet není řešen kódem VBA, ale jednodušeji pomocí rovnic aplikace Excel.

4.3.1.9 Kopírování hodnot z listu Výpočet do listu Výstupní hodnoty

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku,

```
Application.StatusBar = "Kopírování hodnot z listu " & Chr(34) & "Výpočet" _
    & Chr(34) & " do listu " & Chr(34) & "Výstupní hodnoty" & Chr(34) & _
    ", převod jednotek"
```

zkopírování výstupních hodnot z listu *Výpočet* do prvního volného řádku listu *Výstupní hodnoty*,

předpokládá se, že každému řádku výstupních hodnot v listu *Výstupní hodnoty* náleží řádek vstupních hodnot v listu *Vstupní hodnoty*; je proto použita hodnota uložená do proměnné *r* v kroku 7;

```
Worksheets("Výpočet").Range("D2").Copy
Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 2).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Výpočet").Range("D26:I26").Copy
Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 3).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Výpočet").Range("D28").Copy
Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 9).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

```
Worksheets("Výpočet").Range("O20:T20").Copy
Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 10).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Výpočet").Range("O23").Copy
Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 16).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Výpočet").Range("O21:T21").Copy
Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 17).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
Worksheets("Výpočet").Range("O24").Copy
Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 23).PasteSpecial Paste:=xlPasteValues
```

převod jednotek průtoků z [kg/s] na [t/hod] a z [m³/s] na [m³/hod] stejným postupem, jako v kroku 8;

```
Worksheets("Výstupní hodnoty").Activate
x = Range(Cells(r, 10), Cells(r, 16))
For i = 1 To 7
x(1, i) = x(1, i) * 3.6
Next i
Range(Cells(r, 10), Cells(r, 16)) = x
```

```
x = Range(Cells(r, 17), Cells(r, 23))
For i = 1 To 7
x(1, i) = x(1, i) * 3600
Next i
Range(Cells(r, 17), Cells(r, 23)) = x
```

```
Application.CutCopyMode = False
```

4.3.1.10 Setřídění hodnot podle času v listech *Vstupní* a *Výstupní* hodnoty

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Setřídění hodnot podle času v listech " & Chr(34) & _
    "Vstupní hodnoty" & Chr(34) & " a " & Chr(34) & "Výstupní hodnoty" & Chr(34)
```

Setřídění hodnot podle času v listech *Vstupní hodnoty* a *Výstupní hodnoty*,

pro setřídění je použit objekt *Sort*, data jsou setříděna vzestupně podle času, díky tomuto kroku není nutné dodržet časovou posloupnost importovaných dat;

```
ActiveWorkbook.Worksheets("Vstupní hodnoty").Activate
With ActiveWorkbook.Worksheets("Vstupní hodnoty").Sort
    .SortFields.Clear
    .SortFields.Add Key:=Range("B5", Cells(r, 2)), SortOn:=xlSortOnValues, _
```

```

                Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
        .SetRange Range("B5", Cells(r, 56))
        .Header = xlNo
        .MatchCase = False
        .Orientation = xlTopToBottom
        .SortMethod = xlPinYin
        .Apply
    End With

ActiveWorkbook.Worksheets("Výstupní hodnoty").Activate
With ActiveWorkbook.Worksheets("Výstupní hodnoty").Sort
    .SortFields.Clear
    .SortFields.Add Key:=Range("B5", Cells(r, 2)), SortOn:=xlSortOnValues, _
        Order:=xlAscending, DataOption:=xlSortNormal
    .SetRange Range("B5", Cells(r, 23))
    .Header = xlNo
    .MatchCase = False
    .Orientation = xlTopToBottom
    .SortMethod = xlPinYin
    .Apply
End With

```

4.3.1.11 Vykreslení grafů

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Vykreslení grafů"
```

uložení maximálního počtu zobrazených bodů v řadách grafů *Výkon* a *Průtok* při standardní velikosti grafů,

tuto hodnotu lze jednoduše změnit přepsáním;

```
ChartNo = 100
```

uložení počtu vstupních, resp. výstupních hodnotových řádků do proměnné *n*;

```
n = r - 4
```

přiřazení zdrojových dat řadám grafů *Výkon* a *Průtok*;

nastavení minimální hodnoty osy *x* na první časový údaj v databázi,

další nastavení grafů, jako např. rozsah a kroky os, jsou určovány automaticky Excelem; rozšíření grafu v případě překročení počtu bodů nastaveného v proměnné *ChartNo*;

```
Worksheets("Grafy").Activate
```

```

With ActiveSheet.ChartObjects("Výkon").Chart
    .SeriesCollection(1).Values = Worksheets("Výstupní hodnoty").Range("I5", _
        Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 9))
    .SeriesCollection(1).XValues = Worksheets("Výstupní hodnoty").Range("B5", _
        Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 2))
    .Axes(xlCategory).MinimumScale = Worksheets("Výstupní hodnoty").Range("B5")
End With

```

```

If n > ChartNo Then ActiveSheet.ChartObjects("Výkon").Width = _
    560 + (n - ChartNo) * (560 / ChartNo)

```

```
With ActiveSheet.ChartObjects("Průtok").Chart
    .SeriesCollection(1).Values = Worksheets("Výstupní hodnoty").Range("W5", _
        Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 23))
    .SeriesCollection(1).XValues = Worksheets("Výstupní hodnoty").Range("B5", _
        Worksheets("Výstupní hodnoty").Cells(r, 2))
    .Axes(xlCategory).MinimumScale = Worksheets("Výstupní hodnoty").Range("B5")
End With
```

```
If n > ChartNo Then ActiveSheet.ChartObjects("Průtok").Width = _
    560 + (n - ChartNo) * (560 / ChartNo)
```

4.3.1.12 Uložení výstupních hodnot do externí databáze

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Uložení výstupních hodnot do externí databáze"
```

přiřazení jména otevřeného sešitu do proměnné `ThisBook`, oříznutí přípony souboru a uložení úplné cesty a názvu databázového souboru do proměnné `Database`, tento krok umožňuje měnit jméno sešitu;

```
ThisBook = ThisWorkbook.Name
i = InStrRev(ThisBook, ".")
ThisBook = Mid(ThisBook, 1, i - 1)
Database = ThisWorkbook.Path & "\" & ThisBook & ".txt"
```

výběr oblasti s výstupními hodnotami;

```
ActiveWorkbook.Worksheets("Výstupní hodnoty").Activate
Range("B5", Cells(r, 23)).Select
```

uložení volného čísla manipulátoru do proměnné `f`;
otevření databázového textového souboru pro zápis; pakliže již soubor s tímto názvem existuje, původní obsah souboru bude přepsán;

```
f = FreeFile
Open Database For Output As f
```

export hlavičky tabulky výstupních hodnot do textového souboru;

```
For ro = 1 To 2
For co = 1 To 22
    Data = Range("B2:W3").Cells(ro, co).Value
    If co < 22 Then
        Write #f, Data;
    Else
        Write #f, Data
    End If
Next co
Next ro
```

export vybrané oblasti buněk do textového souboru;

```
For ro = 1 To n
For co = 1 To 22
```

```

Data = Selection.Cells(ro, co).Value
If co < 22 Then
    Write #f, Data;
Else
    Write #f, Data
End If
Next co
Next ro

```

uzavření souboru.

```
Close #f
```

4.3.1.13 Zamknutí a uložení sešitu

Vypsání informace o aktuálně prováděné operaci do stavového řádku;

```
Application.StatusBar = "Zamknutí a uložení sešitu"
```

aktivování buňky *A1* na každém listu a zamknutí listů;

```

For Each Sheet In ActiveWorkbook.Worksheets
    Sheet.Activate
    Range("A1").Activate
    Sheet.Protect
Next Sheet

```

aktivování listu *Grafy*;

zamknutí sešitu;

zapnutí překreslování obrazovky;

vracení kontroly nad stavovým řádkem Excelu;

```

Worksheets("Grafy").Activate
ActiveWorkbook.Protect , True, False
Application.ScreenUpdating = True
Application.StatusBar = False

```

zobrazení okna pro zadání názvu souboru v případě prvního spuštění programu, uložení souboru pod tímto jménem a přejmenování příslušného databázového souboru,

okno pro zadání názvu souboru je zobrazováno v cyklu, dokud není uživatelem zadán název souboru;

uložení souboru v případě dalších spuštění programu;

```

If r = 5 Then
    Do
        ThisBook = Application.InputBox("Došlo ke změně prázdného sešitu." & _
            vbCrLf & "Zadejte název souboru." & vbCrLf & _
            "Název nesmí obsahovat znaky \/:*?" & Chr(34) & "<>|", _
            "Core: Zadání názvu souboru", "VVER440" & "_" & Date)
    Loop Until ThisBook <> False
    ActiveWorkbook.SaveAs (ThisWorkbook.Path & "\" & ThisBook & ".xlsm")
    Name (Database) As (ThisWorkbook.Path & "\" & ThisBook & ".txt")
Else
    ThisWorkbook.Save
End If

```

zobrazení okna s oznámením o úspěšném dokončení programu a časem běhu programu;

```
MsgBox "Program Core proběhl úspěšně v čase " & Format(Timer - InitialTime, _  
"00.00") & " sekund." & vbCrLf & vbCrLf & "Bc. Miloslav Tvrdý" & vbCrLf & _  
& "Energetický ústav FSI VUT v Brně", vbInformation + vbOKOnly, _  
"Core: Úspěšné ukončení programu"
```

ukončení procedury Core v případě úspěšného průběhu programu.

Exit Sub

4.3.1.14 Ošetření chyb za běhu programu

Návěští pro ošetření chyby 1 z kroku 3 a chyby 2 z kroku 6,
zobrazení okna s popisem chyby a odskok na návěští JumpEnd, resp. vrácení kontroly nad
stavovým řádkem Excelu;

Jump1:

```
MsgBox "Nebyl vybrán žádný soubor.", vbCritical + vbOKOnly, _  
"Core: Chyba 1"  
GoTo JumpEnd
```

Jump2:

```
Application.StatusBar = False  
MsgBox "Vstupní textový soubor neobsahuje potřebná data.", _  
vbCritical + vbOKOnly, "Core: Chyba 2"  
GoTo JumpEnd
```

návěští pro ukončení chybových odskoků,
vypnutí překreslování obrazovky,
aktivování buňky A1 na každém listu a zamknutí listů,
aktivování listu *Grafy*,
zamknutí sešitu,
zapnutí překreslování obrazovky,
zobrazení okna o ukončení programu;

JumpEnd:

```
Application.ScreenUpdating = False  
For Each Sheet In ActiveWorkbook.Worksheets  
Sheet.Activate  
Range("A1").Activate  
Sheet.Protect  
Next Sheet  
Worksheets("Grafy").Activate  
ActiveWorkbook.Protect , True, False  
Application.ScreenUpdating = True
```

```
MsgBox "Program bude nyní ukončen." & vbCrLf & vbCrLf & _  
"Program Core je možné spustit kdykoli" & vbCrLf & _  
& vbCrLf & "klávesovou zkratkou Ctrl + q", vbInformation + vbOKOnly, _  
"Core: Ukončení programu"
```

ukončení procedury Core.

End Sub

4.3.2 Funkce umístěné ve standardním modulu Module2

Standardní modul *Module2* obsahuje funkce importované z modulu *X_Steam_Tables* aplikace *XSteam_Excel_v2.6.xls*. Tyto funkce slouží k výpočtu stavových veličin vody a vodní páry podle standardu IAPWS-IF97. Funkce jsou volané z listu *Výpočet*.

4.3.2.1 Ukázka kódu - funkce h_pT

Definování funkce h_pT se dvěma parametry p a T předávanými hodnotou;

```
Function h_pT(ByVal p As Double, ByVal T As Double) As Double
```

převod proměnných p a T do jednotek SI pomocí funkcí;

```
p = toSIunit_p(p)
T = toSIunit_T(T)
```

rozhodovací blok pro určení hodnoty entalpie h_pT podle standardu IAPWS-IF97, v tomto bloku jsou volané další funkce, které jsou definované ve stejném modulu;

```
Select Case region_pT(p, T)
Case 1
  h_pT = fromSIunit_h(h1_pT(p, T))
Case 2
  h_pT = fromSIunit_h(h2_pT(p, T))
Case 3
  h_pT = fromSIunit_h(h3_pT(p, T))
Case 4
  h_pT = CVErr(xlErrValue)
Case 5
  h_pT = fromSIunit_h(h5_pT(p, T))
Case Else
  h_pT = CVErr(xlErrValue)
End Select
```

ukončení funkce h_pT.

```
End Function
```

4.3.3 Kód programu umístěný v modulu objektu ThisWorkbook

Definice procedury spuštěné po otevření sešitu

protože tato procedura využívá události *Open* objektu *ThisWorkbook*, musí být umístěna v modulu tohoto objektu;

```
Sub Workbook_Open()
```

zobrazení dialogového okna s dotazem *Chcete spustit program Core?*,
v případě zavření tohoto okna tlačítkem *Ano* je zavolána procedura *Core*,
v případě zavření okna tlačítkem *Ne* je zobrazeno informační okno;

```
If vbYes = MsgBox("Chcete spustit program Core?", _
vbQuestion + vbYesNo + vbDefaultButton1, "Spuštění programu Core") Then
```

```
Call Core
Else
  MsgBox "Sešit bude nyní otevřen jen pro čtení." & vbCrLf & vbCrLf & _
  "Program Core je možné spustit kdykoli" _
  & vbCrLf & "klávesovou zkratkou Ctrl + q", vbInformation + vbOKOnly, _
  "Otevření sešitu v režimu prohlížení"
End If

ukončení procedury.

End Sub
```

4.3.4 Složka s programem

Vlastní sešit s programem je uložen v jedné složce spolu s manuálem pro uživatele programu a složkou s kopií prázdného sešitu s programem. Do této složky se také ukládá externí databáze výstupních hodnot (pod stejným názvem, jako má mateřský sešit s programem). Celá složka tak tvoří přenositelnou a samostatnou programovou jednotku.

4.4 Manuál pro uživatele programu

4.4.1 Popis funkce programu

Program počítá výkon aktivní zóny a průtok chladiva aktivní zónou z vybraných parametrů sekundárního okruhu (viz kap. 3.1.) a výsledky graficky znázorňuje. Je určen pro JE typu VVER 440.

Program umožní uživateli vybrat vstupní textový soubor obsahující vybrané parametry sekundárního okruhu a ten poté importuje do prostředí Excelu. V následujícím kroku program vybere data potřebná pro výpočet, setřídí je do určeného pořadí a pro každou veličinu určí aritmetický průměr. Tyto průměrné hodnoty jsou přidány do databáze vstupních hodnot a slouží jako data pro výpočet výstupních parametrů. Potřebné hodnoty entalpií a hustot jsou vypočteny na základě vstupních hodnot pomocí implementovaných rovnic. Výpočtem podle rovnic (1) až (12) v kap. 3.2. jsou určeny výstupní hodnoty, které jsou následně přidány do interní databáze výstupních hodnot a zakresleny do grafů. Pro využití dat v dalších aplikacích je vytvořena externí databáze výstupních hodnot typu CSV (Comma-Separated Values). V případě úspěšného průběhu programu je soubor před ukončením programu automaticky uložen. Opakováním tohoto postupu dochází k plnění databáze hodnot a jejich průběžnému grafickému zobrazení.

Pro hlubší porozumění programu je doporučeno prostudovat kap. 4.3.

4.4.2 Předpoklady správné funkce programu

Vstupní textové soubory musí dodržovat předepsanou strukturu dat, tzn. data musí být uložena ve sloupcích, které jsou oddělené tabulátory. První hodnota ve sloupci je kódové označení dané veličiny a v následujících řádcích sloupce jsou hodnoty veličiny naměřené

v určitém čase; předpokládá se měření každou sekundu v průběhu jedné hodiny. Pořadí jednotlivých parametrů ve vstupním souboru není stanoveno. Vstupní soubor nemusí mít vždy přesně 3600 hodnotových řádků. Může navíc obsahovat i veličiny, které nejsou potřebné pro výpočet.

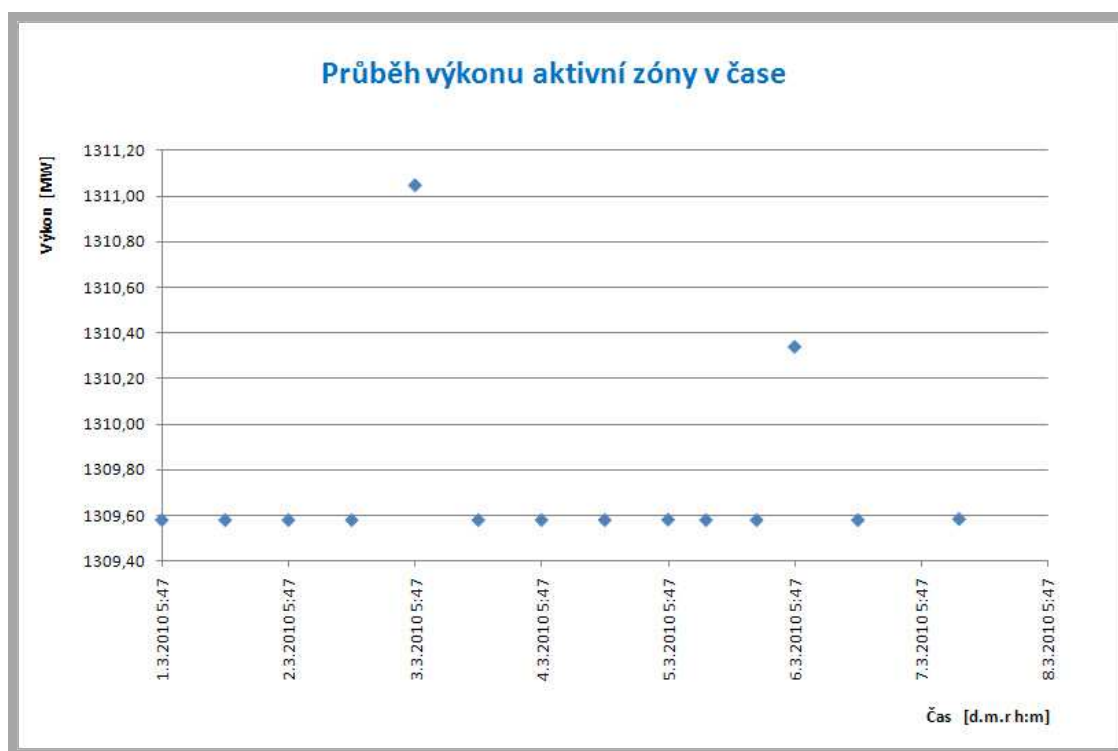
Před prvním spuštěním programu je nutné přepsat kódové označení veličin v buňkách B3 – BD3 na listu *Vstupní data* skutečnými kódy, které budou pro dané veličiny použity ve vstupních souborech. Toto označení je specifické pro každý blok VVER 440. V sešitu jsou předběžně použity kódy *KOD0001 – KOD0055*.

Na počítači musí být nainstalován tabulkový procesor Excel 2007. Pro úspěšné spuštění programu je třeba v nastavení Excelu zaškrtnout volbu *Povolit všechna makra (Vývojář – Kód – Zabezpečení maker – Nastavení maker)*.

4.4.3 Práce s programem

Program je vytvořen v rámci sešitu aplikace Excel 2007 pomocí kódu jazyka VBA. Sešit s programem lze kdykoli přejmenovat.

Se souborem je možné pracovat ve dvou režimech – režimu prohlížení a režimu běhu programu. Po otevření souboru se automaticky zobrazí dialogové okno *Spuštění programu Core* s dotazem *Chcete spustit program Core?* Pokud zvolíme *Ne*, bude sešit otevřen v režimu prohlížení. V případě volby *Ano* se spustí vlastní program. Program lze také spustit kdykoli při prohlížení sešitu klávesovou zkratkou CTRL + Q.



Obr. 12 Ukázka výstupu programu – graf průběhu výkonu aktivní zóny v čase

4.4.3.1 Režim běhu programu

Program po svém spuštění zobrazí dialog *Core: Výběr souboru pro import*, který umožňuje vybrat vstupní textový soubor. Jeho umístění není nijak omezeno. Po vybrání souboru uzavřeme dialogové okno tlačítkem *OK*. Program poté vykoná definované příkazy a v případě úspěšného dokončení zobrazí okno *Core: Úspěšné dokončení programu*. Pokud program spouštíme v daném sešitě poprvé, nabídne ještě před automatickým uložením přejmenování sešitu⁵⁾. Následně sešit automaticky přejde do režimu prohlížení. Doba běhu programu závisí na vlastnostech dat ve vstupním souboru a především na parametrech počítače. V praxi se jedná řádově o sekundy až desítky sekund. Při běhu programu jsou ve stavovém řádku zobrazovány informace o aktuálně vykonávané operaci.

	Time	Q.PG1	Q.PG2	Q.PG3	Q.PG4	Q.PG5	Q.PG6	Q.R	F.PG1	F.PG2	F.PG3	F.PG4	F.PG5	F.PG6
	d.m.r h:m	MW	MW	MW	MW	MW	MW	MW	t/hod	t/hod	t/hod	t/hod	t/hod	t/hod
1	1.3.2010 5:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
2	1.3.2010 17:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
3	2.3.2010 5:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
4	2.3.2010 17:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
5	3.3.2010 5:47	218,40	218,44	218,48	218,53	218,58	218,62	1311,05	4986,62	4997,84	4950,07	4958,23	4930,42	4906,7
6	3.3.2010 17:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
7	4.3.2010 5:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
8	4.3.2010 17:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
9	5.3.2010 5:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4842,10	4652,53	4524,21	4371,34	4233,0
10	5.3.2010 12:59	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	5178,90	5322,42	5537,38	5730,27	5941,2
11	5.3.2010 22:35	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
12	6.3.2010 5:47	218,66	218,55	218,45	218,34	218,23	218,12	1310,34	5939,92	5733,07	5470,05	5289,38	5083,74	4895,4
13	6.3.2010 17:47	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4995,72	4945,77	4951,65	4921,53	4895,4
14	7.3.2010 12:59	218,40	218,35	218,30	218,24	218,18	218,12	1309,58	4986,62	4842,10	4652,54	4524,22	4371,36	4233,0
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														

Obr. 13: Ukázka výstupu programu – okno s listem Výstupní hodnoty

Předchozí postup lze pak kdykoli několikrát zopakovat, přičemž v dialogu vybereme vždy jiný vstupní textový soubor. Tímto způsobem naplňujeme databázi vstupních a výstupních hodnot a grafy průběhu výkonu a průtoku aktivní zónou. Počet načtených souborů do jednoho sešitu je teoreticky omezen pouze rozsahem hodnot proměnné typu Integer (asi 30 000), z důvodu dobrého grafického zobrazení je ale vhodné omezit tento počet na řádově desítky, maximálně stovky souborů. Vstupní data na sebe nemusí časově navazovat, tzn. textové soubory nemusí být dostupné pro každou hodinu. Správná funkce je zaručena i při zpětném doplnění některých vynechaných souborů, není tedy nutné při importu dat dodržet jejich časovou posloupnost.

⁵⁾ Je vhodné sešit přejmenovat, např. nabízenou možností "VVER440_AktuálníDatum". Prázdný soubor tak zůstane zachován a bude jej možné použít pro další sérii dat. Ve složce s programem je navíc tato kopie uložena ve složce "Záloha".

4.4.3.2 Režim prohlížení

V režimu prohlížení je možné číst data na jednotlivých listech sešitu, popř. vybírat oblasti nebo tisknout části dokumentu. Všechny listy jsou chráněné proti nechtěným změnám zámekem. V případě potřeby úprav dokumentu, např. přepsání některé hodnoty nebo úpravy formátování, lze list odemknout bez použití hesla (volba *Revize – Změny – Odemknout list*). Podobně je chráněn celý sešit, odemknout jej můžeme volbou *Revize – Změny – Odemknout sešit*.

Celý sešit sestává ze šesti pracovních listů; jejich názvy jsou *Import*, *Vstupní data*, *Vstupní hodnoty*, *Výpočet*, *Výstupní hodnoty* a *Grafy*. V listu *Import* jsou data importovaná ze vstupního textového souboru, který byl zadán uživatelem při posledním spuštění programu. Podobně list *Vstupní data* obsahuje data z tohoto souboru, jsou však vybrány pouze parametry potřebné pro výpočet a seříděné do pořadí určeného hlavičkou. V posledním řádku listu jsou jejich průměrné hodnoty.

List *Vstupní hodnoty* obsahuje databázi průměrných hodnot veličin doplňovanou při každém spuštění programu od prvního spuštění. V posledním řádku jsou tedy hodnoty z posledního spuštění programu (z posledního řádku listu *Vstupní data*). Tyto hodnoty jsou také ve vstupních řádcích listu *Výpočet*. List *Výpočet* pracuje s hodnotami z posledního vstupního souboru. Na základě těchto hodnot jsou určeny hodnoty výstupních veličin.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
1																						
2		Time	d.m.r.h:m	7.3.2010 12:59									Time	d.m.r.h:m	7.3.2010 12:59							
3																						
4		Výpočet výkonu aktivní zóny						Výpočet průtoku aktivní zónou														
5																						
6				PG 1	PG 2	PG 3	PG 4	PG 5	PG 6						PG 1	PG 2	PG 3	PG 4	PG 5	PG 6		
7																						
8		F NV	kg/s	119,722	120,000	120,278	120,556	120,833	121,111				p H	MPa	12,000	13,000	12,000	13,000	12,500	12,500		
9		p NV	MPa	4,710	4,710	4,710	4,710	4,710	4,710				t H	°C	300,000	301,000	302,000	303,000	304,000	305,000		
10		t NV	°C	221,000	222,000	223,000	224,000	225,000	226,000				p H	kg/m ³	719,551	719,441	715,130	715,049	711,716	709,434		
11		i NV	kJ/kg	948,897	953,499	958,108	962,725	967,348	971,979				i H	kJ/kg	1340,928	1345,490	1352,172	1356,708	1362,944	1368,654		
12		Q NV	MW	113,604	114,420	115,239	116,062	116,888	117,717													
13													p S	MPa	12,000	12,500	12,000	13,000	12,000	12,500		
14		F P	kg/s	118,333	118,611	118,889	119,167	119,444	119,722				t S	°C	270,000	270,000	270,000	270,000	270,000	270,000		
15		p P	MPa	4,720	4,730	4,740	4,750	4,760	4,770				p S	kg/m ³	776,522	777,185	776,522	777,843	776,522	777,185		
16		i P	kJ/kg	1136,644	1137,293	1137,941	1138,588	1139,234	1139,880				i S	kJ/kg	1183,262	1183,153	1183,262	1183,050	1183,262	1183,153		
17		i ^o P	kJ/kg	2796,437	2796,362	2796,287	2796,212	2796,136	2796,060													
18		x P	-	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998				Q PG	MW	218,395	218,347	218,296	218,241	218,182	218,121		
19		Q P	MW	330,421	331,188	331,955	332,721	333,488	334,255				F PG	kg/s	1385,173	1345,029	1292,373	1256,728	1214,265	1175,850		
20													F PG	m ³ /s	1,852	1,797	1,733	1,684	1,632	1,582		
21		F O	kg/s	1,389	1,389	1,389	1,389	1,389	1,389				F R	kg/s	7669,419							
22		p O	MPa	4,720	4,730	4,740	4,750	4,760	4,770				F R	m ³ /s	10,279							
23		i O	kJ/kg	1136,644	1137,293	1137,941	1138,588	1139,234	1139,880													
24		Q O	MW	1,579	1,580	1,580	1,581	1,582	1,583													
25																						
26		Q PG	MW	218,395	218,347	218,296	218,241	218,182	218,121													
27																						
28		Q R	MW	1309,582																		
29																						

Obr. 14: Ukázka výstupu programu – část okna Výpočet

V listu *Výstupní hodnoty* najdeme průběžně doplňovanou databázi výstupních hodnot. Pro každý řádek výstupních hodnot v listu *Výstupní hodnoty* tedy existuje odpovídající řádek vstupních hodnot v listu *Vstupní hodnoty*, přičemž jejich vztah je určen závislostmi stavových veličin vody a rovnicemi implementovanými v listu *Výpočet*. Poslední list *Grafy* obsahuje grafické vyjádření průběhu výkonu AZ a průtoku chladiva AZ. Grafy lze po odemknutí listu upravovat (velikost, formát osy atd.). Standardně jsou grafy bodové pouze se značkami.

4.4.4 Chyby za běhu programu

Během vykonávání programu může dojít k chybám, tj. situacím, které neumožňují jeho úspěšné dokončení. V programu jsou ošetřeny chyby:

- uzavření dialogového okna *Core: Výběr souboru pro import* bez výběru souboru;
- nenalezení kódového označení některé ze vstupních veličin v datech importovaných ze vstupního textového souboru.

V případě vzniku některé z těchto chyb je zobrazeno okno s popisem chyby a program je poté po stisku tlačítka *OK* automaticky ukončen. Při následném uzavření sešitu se doporučuje neukládat změny v souboru.

V případě vzniku jiných, tj. neošetřených chyb se zobrazí chybová hláška programu Excel. Potom je nutné program ukončit tlačítkem *End* a při uzavření sešitu neukládat změny v souboru. Chyba je v tomto případě způsobena s největší pravděpodobností na straně vstupního textového souboru, např. nedodržením předpokládané struktury nebo jeho poškozením.

4.4.5 Seznam použitých zkratk a symbolů

Veličiny:

F	[t/hod], resp. [m ³ /hod], resp. [kg/s], resp. [m ³ /s]	průtok
i	[kJ/kg]	entalpie
p	[MPa]	tlak
Q	[MW]	tepelný tok, tepelný výkon
t	[°C]	teplota
Time	[d.m.r h:m]	datum a čas
x	[-]	suchost páry
ρ	[kg/m ³]	hustota

Indexy:

H	horká větev cirkulační smyčky
NV	napájecí voda
O	odluh a odkal
P	pára
PG	parogenerátor
R	reaktor
S	studená větev cirkulační smyčky

5 ZÁVĚR

V této práci bylo dosaženo všech požadovaných cílů. První část práce obsahuje popis jaderné elektrárny s reaktorem VVER 440. Ve druhé části byly odvozeny rovnice potřebné pro výpočet výkonu reaktoru a průtoku aktivní zónou ze zadaných parametrů sekundárního okruhu. Třetí část byla věnována návrhu programu pro výpočet uvedených veličin.

Pro vytvoření programu byl použit tabulkový procesor Excel 2007. Výhodou této aplikace je především velká rozšířenost a podpora programování pomocí jazyka Visual Basic for Applications. Vstupem programu je textový soubor s hodnotami vstupních veličin měřenými každou sekundu v průběhu jedné hodiny. Soubor musí dodržovat předepsanou strukturu dat. Výstupem programu je databáze výstupních hodnot a jejich grafické znázornění. Každá hodnota v databázi je vždy průměrnou hodnotou dané veličiny pro určitou hodinu.

Program umožní uživateli vybrat vstupní textový soubor obsahující vybrané parametry sekundárního okruhu a ten poté importuje do prostředí Excelu. V následujícím kroku program vybere data potřebná pro výpočet, setřídí je do určeného pořadí a pro každou veličinu určí aritmetický průměr. Tyto průměrné hodnoty jsou přidány do databáze vstupních hodnot a slouží jako data pro výpočet výstupních parametrů. Potřebné hodnoty entalpií a hustot jsou vypočteny na základě vstupních hodnot pomocí implementovaných rovnic. Výpočtem podle rovnic odvozených v kap. 3.2. jsou určeny výstupní hodnoty, které jsou následně přidány do interní databáze výstupních hodnot a zakresleny do grafů. Pro využití dat v dalších aplikacích je vytvořena externí databáze výstupních hodnot typu CSV (Comma-Separated Values). V případě úspěšného průběhu programu je soubor před ukončením programu automaticky uložen. Opakováním tohoto postupu dochází k plnění databáze hodnot a jejich průběžnému grafickému zobrazení.

Se souborem je možné pracovat ve dvou režimech – režimu prohlížení a režimu běhu programu. V režimu prohlížení lze číst data v databázích, popř. z posledního spuštění programu. Dokument lze také po odemknutí upravovat. V režimu běhu programu se po spuštění kódu zobrazí okno pro výběr vstupního souboru. Dále jsou ve stavovém řádku zobrazovány informace o aktuálně prováděné operaci. Před ukončením programu je zobrazeno okno s informací o úspěšném proběhnutí programu, popř. o ukončení programu kvůli chybě. Základní chyby jsou v kódu programu ošetřeny.

Vlastní sešit s programem je uložen v jedné složce spolu s manuálem pro uživatele programu a kopií prázdného sešitu s programem. Do této složky se také ukládá externí databáze výstupních hodnot. Celá složka tak tvoří přenositelnou a samostatnou programovou jednotku. Vytvořený program je součástí této práce, je uložen na CD v příloze.

6 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] CENCINGER, F. *Primární část JE VVER 440, Obrázková část*. Brno: Školící středisko ČEZ, 2006. 277 s.
- [2] ČERNÝ, J. *Excel 2000 – 2007, záznam, úprava a programování maker*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2008. 183 s. ISBN 978-80-247-2305-1
- [3] ČERNÝ, J. *Programování v Excelu 2000, 2002, 2003*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, 2005. 228 s. ISBN 80-247-0922-8
- [4] DUBŠEK, F. *Jaderné reaktory*. 1. vyd. Brno: PC-DIR, 1995. 174 s. ISBN 80-214-0715-8
- [5] *Excel Engineering* [online]. 2006 [cit. 2009-12-1] . URL: <http://www.x-eng.com/XSteam_Excel.htm>
- [6] HEŘMANSKÝ, B. *Energie pro 21. století*. 1.vyd. Praha: ČVUT, 1992. 315 s. ISBN 80-01-00817-7
- [7] KLIK, F. *Jaderná energetika*. 2. vyd. Praha: ČVUT, 2002. 189 s. ISBN 80-01-02550-0
- [8] MATAL, O. *Jaderné reaktory a jejich chlazení*. 1. vyd. Brno: CERM, 2001. 117 s. ISBN 80-214-2028-6
- [9] NERUD, P. *Porovnání a hodnocení konstrukčních uspořádání reaktorů V-213-č, VVER 440 a V-320-č, VVER 1000*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2006. 152 s. Vedoucí diplomové práce Prof. Ing. Oldřich Matal, Csc.
- [10] OTČENÁŠEK, P. *Základy konstrukce a funkce jaderných elektráren*. 3. vyd. Praha: ČVUT, 2003. 172 s. ISBN 80-01-02707-4
- [11] *Primární část JE VVER 440, Textová část*. Brno: Školící středisko ČEZ, 2007. 171 s.
- [12] *PRIS – Nuclear Power Plant Information* [online]. 2010 [cit. 2010-1-13] . URL: <<http://www.iaea.or.at/programmes/a2/>>
- [13] *Russian VVER 1000 reactors* [online]. 2006 [cit. 2010-1-13] . URL: <<http://www.atomstroyexport.com/technology/VVER-1000/>>
- [14] ŠKRANC, K. *Sekundární část JE VVER 440, část I*. Brno: Školící středisko ČEZ, 2006. 203 s.
- [15] ŠKRANC, K. *Sekundární část JE VVER 440, část II*. Brno: Školící středisko ČEZ, 2007. 254 s.

- [16] *Visual Basic for Applications (VBA)* [online]. 2010 [cit. 2010-3-1] . URL:
<http://excelplus.net/forum/viewforum.php?forum_id=4>
- [17] WALKENBACH, J. *Microsoft Office Excel 2007, programování ve VBA*. 1. vyd. Brno:
Computer Press, 2008. 912 s. ISBN 978-80-251-2011-8

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

$F_{CH PG i}$	[t/hod] [m ³ /hod]	hmotnostní průtok chladiva parogenerátorem objemový průtok chladiva parogenerátorem
F_{CHR}	[t/hod] [m ³ /hod]	hmotnostní průtok chladiva reaktorem objemový průtok chladiva reaktorem
$F_{P PG i}$	[t/hod]	průtok páry na výstupu z parogenerátoru
$F_{NV PG i}$	[t/hod]	průtok napájecí vody na vstupu do parogenerátoru
$F_{O PG i}$	[t/hod]	průtok odluhu a odkalu parogenerátoru
$i_{CH H PG i}$	[kJ/kg]	entalpie chladiva na vstupu do parogenerátoru
$i_{CH S PG i}$	[kJ/kg]	entalpie chladiva na výstupu z parogenerátoru
$i'_{PG i}$	[kJ/kg]	entalpie syté kapaliny při tlaku v parogenerátoru
$i''_{PG i}$	[kJ/kg]	entalpie syté páry při tlaku v parogenerátoru
$i_{NV PG i}$	[kJ/kg]	entalpie napájecí vody na vstupu do parogenerátoru
$p_{CH H PG i}$	[MPa]	tlak chladiva na vstupu do parogenerátoru
$p_{CH S PG i}$	[MPa]	tlak chladiva na výstupu z parogenerátoru
$p_{NV PG i}$	[MPa]	tlak napájecí vody na vstupu do parogenerátoru
$p_{PG i}$	[MPa]	tlak v parogenerátoru
$Q_{CH H PG i}$	[MW]	tepelný tok přenášený chladivem na vstupu do parogenerátoru
$Q_{CH S PG i}$	[MW]	tepelný tok přenášený chladivem na výstupu z parogenerátoru
$Q_{NV PG i}$	[MW]	tepelný tok přenášený napájecí vodou
$Q_{O PG i}$	[MW]	tepelný tok přenášený odluhem a odkalem
$Q_{PG i}$	[MW]	tepelný tok přenášený z primárního do sekundárního okruhu v PG
$Q_{P PG i}$	[MW]	tepelný tok přenášený parou
Q_R	[MW]	tepelný výkon reaktoru
$t_{CH H PG i}$	[°C]	teplota chladiva na vstupu do parogenerátoru
$t_{CH S PG i}$	[°C]	teplota chladiva na výstupu z parogenerátoru
$t_{NV PG i}$	[°C]	teplota napájecí vody na vstupu do parogenerátoru
Time	[d.m.r h:m]	datum a čas
$x_{P PG i}$	[-]	suchost páry na výstupu z parogenerátoru
$\rho_{CH S PG i}$	[kg/m ³]	hustota chladiva na výstupu z PG
$\rho_{CH H PG i}$	[kg/m ³]	hustota chladiva na vstupu do PG
$\rho_{CH PG i}$	[kg/m ³]	střední hustota chladiva v PG

AZ	aktivní zóna
BÚK	bloková úprava kondenzátu
ENČ	hlavní napájecí čerpadlo
HA	hydroakumulátor pasivního systému havarijního chlazení aktivní zóny
HČČ	hlavní cirkulační čerpadlo
HNČ	havarijní napájecí čerpadlo
KČ	kondenzátní čerpadlo
HK	hlavní kondenzátor
HUA	hlavní uzavírací armatura
KČ	kondenzátní čerpadlo
JE	jaderná elektrárna
KO	kompensátor objemu

NČ	napájecí čerpadlo
NN	napájecí nádrž
NT	nízkotlaký
NV	napájecí voda
PG	parogenerátor
PT	parní turbína
R	reaktor
TG	turbosoustrojí
TK	technologický kondenzátor
TO	termický odplynovák
TÚV	tepelná úprava vody
VBA	Visual Basic for Applications
VBE	editor jazyka Visual Basic for Applications
VT	vysokotlaký

8 SEZNAM PŘÍLOH

Program pro výpočet výkonu a průtoku AZ z parametrů sekundárního okruhu pro JE s reaktorem VVER 440 [CD]