

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL ENGINEERING

SANACE PŮDY PO TĚŽBĚ URANU  
REMEDICATION OF FORMER IN-SITU URANIUM MINING REGION

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc . JAKUB KŘÍŽ

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV JÍCHA, CSc.

BRNO 2009







## Abstrakt

Sanace oblasti, ve které byl dříve těžen uran metodou rozpouštění (leaching method) roztokem obsahujícím zejména kyselinu sírovou je založen na odčerpávání zbytků rozpouštědel – kontaminovaných důlních vod – z geologických horizontů bývalé těžby. Kontaminované vody jsou dále zpracovávány chemicky.

V zařízení pro zpracování kontaminovaných vod klíčovou roli zaujímají odparky. U provozovaných odparek, tři identická tělesa, jde o uspořádání se splývajícím filmem. Ohřev je zajištěn brýdovou parou generovanou v odparkách. K pohonu kompresorů a příslušných cirkulačních čerpadel je potřebné dodat elektrický výkon 3,4 MW pro každé těleso. Při chodu odparek je zahušťovaný roztok dodáván do každé trubky rozdělovači se dvěma tangenciálními otvory. Po vstupu do odparek se v roztoku začne vytvářet síran vápenatý v malé koncentraci. Jakmile při odpařování koncentrace síranu vápenatého dosáhne určité hodnoty – i lokálně – vytvoří se podmínky pro saturaci a iniciaci zanášení. Na určitých místech vnitřního povrchu trubek a v blízkosti vstupních otvorů rozdělovačů se začne vytvářet pevná fáze. Odpařovací výkon začne klesat, až dosáhne dolní hranice a odparku je potřebné odstavit. Po odstavení je zahájen proces čištění. V době začátku provozování odparek (1996) interval mezi odstávkami trval kolem půl roku. S dobou provozování odparek se tento interval postupně zkracoval, takže v současné době může trvat pouze jeden týden.

Diplomová práce navrhuje dva přístupy k řešení tohoto neuspokojivého stavu. Jednou z možností je náhrada stávajících rozdělovačů sadou příslušně dimenzovaných a uspořádaných síťových pater, která by zaručila rovnoměrné rozdělení zahušťovaného roztoku do všech trubek stávajících odparek se splývajícím filmem. Druhý přístup spočívá ve vybudování nové odpařovací stanice s mnohostupňovými expanzními odparkami. Odpařovací výkon by byl identický s hodnotami stávajících odparek při zahájení jejich provozu v roce 1996 a stupeň zahuštění roztoku by vyhovoval koncentracím, které jsou potřebné pro návazná zařízení a technologie. Diplomová práce předkládá návrh technologie nové odpařovací stanice včetně návrhů konstrukčního uspořádání klíčových částí zařízení. Pro dodávku tepla potřebného pro chod mnohostupňové expanzní odparky je navržen způsob využití tepla plynu vystupujícího z plynové turbíny – a to pro přímý ohřev a páry generované utilizačním kotlem, který je umístěn na proudu již zmíněného plynu z plynové turbíny. K zajištění specifikovaného odpařovacího výkonu, z hlediska dodávky potřebného tepla, je vybrána plynová turbína s elektrickým výkonem 30 MW pro export, kde palivem je zemní plyn.

## Abstract

Remediation process of region, formally exploited for chemical leaching of uranium, is based on pumping water contaminated mostly by residuals of sulfuric acid from the relevant geological horizons. The contaminated water is then treated in a chemical plant.

In the treatment process evaporators play the key role. Presently operating evaporators – three units – are of falling film type. Heating service is provided by compressed vapor that is generated by evaporators. For driving the compressors and associated circulating pumps of each unit electric power of 3,4 MW is required. In the evaporators treated solution is distributed into individual tubes by nozzles of cyclone type that are mounted at the top end of tubes. In the evaporators feed solution contains calcium sulfide of low concentration. Once the calcium sulfide concentration in the evaporating process reaches the state of saturation, even locally, fouling is initiated. Thus the solids start to grow on the inner surface of the tube wall and the nozzle's openings become restricted. The evaporator performance – evaporating rate – gradually declines and when it reaches the bottom limit the evaporator has to be shut down. This is followed by carrying out the cleaning procedure. At the time when the evaporators started operating (1996) the period between shut downs lasted around a half a year. However, gradually, this period has become substantially shorter – presently it may even last one week only.

The thesis proposes two ways of approaching the present hardly acceptable state. First, replacement of distributing nozzles by a set of properly perforated sieve trays secures the uniform distribution of solution into each individual tube. Second, evaporators' duty will be taken over by newly build multi-flash concentrator that will substitute the presently operating evaporators. Configuration of this new equipment is derived from widely used multi-flash distillation of sea water. Heat required by the concentrator's end heaters is drawn from a gas turbine exhaust gas. Steam provided by Heat Recovery Steam Generator is supplied to the condensing heat exchangers installed on the evaporator's feed stream. Generator coupled to the gas turbine, fueled by natural gas, provides the electric power of 30 MW for export.

## **Klíčová slova**

Chemická těžba uranu

Sanace

Odparky

Zanášení

## **Keywords**

Chemical leaching of uranium

Remediation

Evaporators

Fauling

## **Bibliografická citace**

KŘÍŽ, J. *Sanace půdy po těžbě uranu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 94 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jaroslav Jícha, CSc.



## **Prohlášení o původnosti**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně na základě uvedené literatury pod vedením vedoucího diplomové práce.

V Brně, 31. 5. 2009

.....  
(podpis)

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat všem, kteří mi pomáhali při řešení diplomové práce. Hlavně děkuji panu doc. Ing. Jaroslavu Jíchovi, CSc., vedoucímu diplomové práce, za cenné rady, návrhy a pomoc při řešení diplomové práce. Za obětavou pomoc a trpělivost při zpracování diplomové práce bych chtěl poděkovat panu Ing. Josefu Luřchovi, CSc. Dále bych chtěl poděkovat firmě Kočka, inženýrské technologie, spol. s.r.o za poskytnutí zázemí pro zpracování diplomové práce. V neposlední řadě bych chtěl poděkovat panu Ing. Kalousovi za zajištění klíčových informací a panu Ing. Novotnému, CSc. za pomoc při řešení dílčích částí diplomové práce.

## Obsah

<b>Seznam použitých symbolů a zkratk</b> .....	<b>12</b>
<b>1 Úvod</b> .....	<b>12</b>
<b>2 Chemická těžba uranu ve Stráži pod Ralskem</b> .....	<b>18</b>
2.1 Stručná historie chemické těžby.....	18
2.2 Použitá metoda chemického loužení in-situ.....	21
2.3 Dopad chemické těžby na životní prostředí .....	24
<b>3 Legislativa</b> .....	<b>28</b>
3.1 Legislativa na úseku geologie, ochrany a evidence nerostného bohatství.....	28
3.2 Legislativa na úseku ochrany vod .....	30
3.3 Legislativa na úseku ochrany ovzduší.....	32
3.4 Legislativa na úseku nakládání s odpady .....	33
3.5 Legislativa na úsecích ochrany přírody a krajiny, ZPF, LPF, posuzování vlivů na životní prostředí, prevence závažných havárií a integrovaná prevence a omezování znečištění.....	35
<b>4 Sanace horninového prostředí oblastí ovlivněné chemickou těžbou</b> .....	<b>37</b>
4.1 Cíle a současný stav sanace.....	37
4.2 Prognóza.....	39
<b>5 Technologie zpracování odčerpaných důlních vod z podloží</b> .....	<b>42</b>
5.1 Odpařování kyselých roztoků a separace kamence.....	42
5.1.1 Přepřacování kamence v provozu SLKR II.....	44
5.1.2 Zpracování matečných louhů .....	45
5.2 Neutralizace kyselých roztoků .....	46
<b>6 Odpařování čerpaných roztoků ve Stráži pod Ralskem</b> .....	<b>48</b>
6.1 Princip funkce konvenčních odparek .....	48
6.2 Vznik inkrustací na teplosměnných plochách odparek.....	50
<b>7 Možnosti snížení rychlosti tvorby inkrustací na teplosměnných plochách odparek</b> .....	<b>55</b>
<b>8 Klíčové uzly navrhované technologie</b> .....	<b>57</b>
8.1 Mnohostupňová expanzní odparka .....	57
8.2 Plynová turbína Rolls-Royce RB211 .....	77
8.3 Utilizační kotel.....	78
8.4 Vzduchem chlazené výměníky tepla.....	80
<b>9 Simulace navrhované části technologie v programu ChemCAD 5</b> .....	<b>82</b>
<b>10 Ekonomické aspekty</b> .....	<b>86</b>
<b>11 Závěr</b> .....	<b>90</b>
<b>Seznam použité literatury</b> .....	<b>92</b>
<b>Seznam příloh</b> .....	<b>94</b>

## Seznam použitých symbolů a zkratek

Symbol	Význam	Jednotka
$A_{EXCH}$	Teplosměnná plocha trubky	$m^2$
$A_{I_{ex}}$	Teplosměnná plocha trubek kondenzátoru	$m^2$
$A_{df}$	Teplosměnná plocha trubek koncového ohřívače	$m^2$
$AD_{fd}$	Průřez koncového ohřívače	$m^2$
BTU	British Thermal Unit	-
BD	Šířka koncového ohřívače	m
d	Průměr trubek kondenzátorů	m
d	Ekvivalentní průměr trysky	mm
D	Teplotní rozdíl mezi komorami	K
DB	Spotřeba zemního plynu kanálového hořáku	$m^3/h$
df	Faktor	-
DCHT	Důl chemické těžby	-
Dt	Vnější průměr trubek koncového ohřívače	mm
Dz	Vnější průměr žeber trubek koncového ohřívače	mm
$C_p$	Měrné teplo vody	$kJ/kg.K$
$C_{p_{exh}}$	Měrné teplo spalin	$kJ/kg.K$
HRSG	Heat Recovery Steam Generator	-
H <sub>z</sub>	Výška žeber trubek koncového ohřívače	mm
CHS	Chemická stanice	-
CHÚ	Chemická úprava	-
$L_{12}$	Účinná délka trubek kondenzátoru	m
L <sub>fd</sub>	Celková délka trubek koncového ohřívače	m
LPF	Lesní půdní fond	-
KCV	Kyselé cenomanské vody	-
KTV	Kyselé turonské vody	-
m <sub>l</sub>	Počet trubek kondenzátoru	-
M	Průtočné množství roztoku	kg/s

$M_e$	Průtočné množství spalin	kg/s
$m_{exh}$	Průtočné množství spalin	kg/s
$M_o$	Průtočné množství roztoku na vstupu	t/h
$M_{out}$	Průtočné množství roztoku na výstupu	t/h
$M1$	Průtočné množství roztoku	kg/s
$M2_o$	Průtočné množství roztoku v druhém stupni	kg/s
$M1_o$	Průtočné množství roztoku v nástřiku do prvního stupně	kg/s
$mnz$	Průtočné množství roztoku atomizační tryskou	kg/s
$ML$	Matečný louh	-
$M_s$	Průtočné množství spalin	kg/s
$M\check{Z}P$	Ministerstvo životního prostředí	-
$n$	Počet komor v tělese odparky	-
$NDS$	Neutralizační dekontaminační stanice	-
$Nr_{fd}$	Počet řad trubek koncového ohříváče	-
$Nt_{fd}$	Počet trubek v řadě koncového ohříváče	-
$OSRP$	Obec s rozšířenou působností	-
$o. z. T\acute{U}U$	Odštěpený závod Těžba a úprava uranu	-
$PHO$	Pásmo hygienické ochrany	-
$p_D$	Tlak v proudu destilátu	bar
$p_{CH}$	Tlak v proudu chladicí vody	bar
$p_M$	Tlak v proudu destilátu + chladicí vody	bar
$Q_{duty}$	Teplo dodané koncovými ohříváči	kW
$Q1_{duty}$	Teplo dodané koncovým ohříváčem v prvním stupni	kW
$Q2_{duty}$	Teplo dodané koncovým ohříváčem v druhém stupni	kW
$Q_k$	Tepelný výkon utilizačního kotle	kW
$r$	Výparné teplo vody	kJ/kg
$RL$	Rozpuštěné látky	-
$Rz$	Rozteč žebek trubek koncového ohříváče	mm
$s$	Tloušťka stěny	mm
$SLKR$	Stanice likvidace kyselých roztoků	-

Sz	Tloušťka žeber trubek koncového ohřívače	mm
t	Teplota odpařené vody	°C
t	Tloušťka stěn trubek koncového ohřívače	mm
t1	Rozteč trubek koncového ohřívače	mm
T1	Teplota roztoku na vstupu do koncového ohřívače	°C
T2	Teplota roztoku na výstupu z koncového ohřívače	°C
t <sub>D</sub>	Teplota syté páry v poslední komoře	°C
t <sub>DB</sub>	Teplota spalin na výstupu z kanálového hořáku	°C
t <sub>exh</sub>	Teplota spalin na vstupu do koncového ohřívače	°C
t <sub>exh<sub>out</sub></sub>	Teplota spalin na výstupu z koncového ohřívače	°C
t <sub>kond</sub>	Teplota zkondenzované páry	°C
t <sub>stack</sub>	Teplota spalin na výstupu z komína	°C
t <sub>out</sub>	Teplota syté páry v první komoře	°C
U	Součinitel prostupu tepla	kW/m <sup>2</sup> .K
ÚSVTRS	Ústřední správa výzkumu a těžby radioaktivních surovin	-
V	Množství odpařené vody (destilátu) z roztoku	kg/s, t/h
V1	Množství odpařené vody z roztoku v prvním stupni	kg/s
VD	Výška koncového ohřívače	m
VP	Vyluhovací pole	-
W <sub>fd</sub>	Hmotnostní rychlost spalin	kg/m <sup>2</sup> s
X	Faktor označující poměr koncentrací	-
x <sub>in</sub>	Koncentrace roztoku na vstupu do procesu	% hm.
x <sub>out</sub>	Koncentrace roztoku na výstupu z procesu	% hm.
x <sub>1<sub>out</sub></sub>	Koncentrace roztoku na výstupu do prvního stupně	% hm.
x <sub>5<sub>out</sub></sub>	Koncentrace roztoku na výstupu z pátého stupně	% hm.
ZPF	Zemědělský půdní fond	-
α <sub>kond</sub>	Součinitel přestupu tepla na straně páry	W/m <sup>2</sup> .K
α <sub>varu</sub>	Součinitel přestupu tepla na straně roztoku	W/m <sup>2</sup> .K
λ <sub>stěny</sub>	Součinitel tepelné vodivosti stěny	W/m.K
ξ	Součinitel zúžení při průtoku otvorem	-

$\rho$	Měrná hmotnost roztoku	$\text{kg/m}^3$
$\Delta$	Minimální teplotní rozdíl „PINCH“	K
$\Delta_{l,m}$	Střední logaritmický teplotní spád	K
$\Delta_v$	Nejmenší teplotní přiblížení	K
$\Delta p$	Tlakový rozdíl mezi stupem do trysky a komorou	kPa
$\Delta t_{\min}$	Nejmenší teplotní rozdíl	K

## 1 Úvod

Česká republika vždy patřila k evropským zemím, jejichž prosperita byla velmi závislá na využívání zdrojů nerostných surovin. V současné době však tato skutečnost klade na naši společnost nemalé závazky, jak se vyrovnat se starými zátěžemi po těžebních aktivitách, které zde probíhaly několik století a vrcholily v poúnorovém období v 50. až 80. letech dvacátého století. V tomto období byla těžena ložiska i v takových situacích, kdy zejména způsob jejich využívání byl v přímém rozporu se zachováváním základních funkcí života v kulturní krajině.

Významným aspektem této problematiky, které vyvolává vážné střety i současné dobývání, je skutečnost, že těžba je převážně založena na správních rozhodnutích starých i několik desítek let, původně preferující těžbu nerostných surovin jako nadřazený veřejný zájem. V této souvislosti se pak setkáváme s řadou výjimek, kdy dobývací, ale i těžební prostory zasahují do zóny nejvyšší ochrany chráněných oblastí a do intravilánu obcí.

Omezit či eliminovat rizikovost a často i havarijní stav starých důlních děl, zajistit konsensus mezi původním rozhodnutím a současnými požadavky na ochranu, na využívání území, zajistit rychlou a kvalitní rehabilitaci rozsáhlých – těžbou dotčených až devastovaných ploch i celých regionů - je nejen velkým břemenem pro stát, státní instituce a státní rozpočet, či pro následnické těžební organizace, ale je dosud nedostatečně oceňovaným základem pro získání důvěry veřejnosti pro další aktivity v oblasti dobývání nerostných surovin. A to vše v době, kdy význam nerostných surovin se v tržních podmínkách přesouvá z oblasti veřejného zájmu do oblasti zájmu soukromých těžařů a těžba se pak dostává do střetu se zájmy místních obyvatel a dotčených obcí.

Charakteristika těžbou dotčeného území je výrazně specifická, nejen např. podle charakteru ložiska, technologie těžby, jejího rozsahu nebo pozice ložiska v krajině, ale i podle určitého zaměření posuzovatele. Namátkově lze uvést několik rozdílných pohledů a způsobů členění priorit podle různých aspektů.

- hledisko ochrany přírody a krajiny:
  - narušení chráněných částí přírody
  - trvalá nebo dočasná změna ekosystémů
  - změna krajinného rázu, změny tvaru povrchu
- hledisko ochrany horninového prostředí a ochrany nerostných zdrojů:
  - nevratný zásah do horninového prostředí
  - změna hydrologického režimu podzemních vod
  - změna chemismu vod
  - uvolňování pozemních plynů (metan, radon, CO<sub>2</sub>)
- hledisko životních podmínek obyvatel:
  - zvýšená hluchost, prašnost a dalších emisí
  - blízký kontakt těžebních prostor se sídly – v krajním případě dochází k likvidaci lokální sídelní struktury a technické infrastruktury, doprovázené celkovou změnou funkce území, někdy i celého regionu



- hledisko únosnosti území, kdy rozhodujícím aspektem je vysoká koncentrace zátěže způsobená:
  - velmi intenzivní celkovou těžbou některých komodit (hnědé uhlí, uranové rudy, vápence, šterkopísky)
  - intenzivní těžbou (povrchovou i hlubinnou) různých surovin jejich zpracováním soustředěnou do regionů (Podkrušnohoří, Ostravsko, DP Rožná a Olší, MAPE aj.)
- hledisko současných střetů mezi těžbou nerostných surovin a ochranou životního prostředí, které jsou v rozporu s právními předpisy, týkající se zejména:
  - nevhodné využívání ložiska (např. výběrová těžba nejkvalitnější části ložiska a nedotěženými zásobami v souvislosti s útlumovými programy). Kritický je stav zejména tam, kde jsou cíleně zneprístupňovány kvalitní zásoby nerostných surovin
  - absence plánů sanací a rekultivace
  - neplnění sanačních a rekultivačních podmínek, případně dalších podmínek stanovených v POPD (plán otvírky a přípravy dobývání)
  - zásahy dobývacích prostor do I. a II. zóny CHKO (chráněná krajinná oblast), NPP (národní přírodní památka), CHOPAV (chráněná oblast přirozené akumulace vod), PHO (pásmo hygienické ochrany) I. a II. vnitřního stupně apod.

Z hlediska posuzování současného stavu dobývání nerostných surovin je nezbytné znát rozsah a stav ploch dotčených těžbou a jednoznačné střety dobývacích prostorů s plochami území s vyšším stupněm ochrany.

Ústava ČR vyslovuje odhodlání společně střežit a rozvíjet zděděné přírodní a kulturní dědictví, hmotné a duchovní bohatství ukládá státu dbát o šetrné využívání přírodního bohatství.

Tisíciletá tradice ve využívání nerostných surovin na území České republiky, stejně jako jedinečné fenomény kulturní krajiny s hustým osídlením ve středu Evropy zavazují k citlivému přístupu s výhledem do budoucna, jak pro další využívání nerostných zdrojů, tak i pro ochranu přírodního bohatství a dědictví této země. Stejně jako stát se nemůže zbavit dluhů minulosti, tak i těžební společnosti nepřevzaly pouze exkluzivní právo na využívání suroviny v dobývacích prostorech, ale také plnou zodpovědnost za stav dotčeného území.

## 2 Chemická těžba uranu ve Stráži pod Ralskem

Počátek rozvoje těžby uranové rudy v oblasti Stráže pod Ralskem se datuje koncem 60. let 20. století. Těžbou se zabýval státní podnik s názvem „Ústřední správa výzkumu a těžby radioaktivních surovin“ (ÚSVTRS), který během svého působení prošel výraznou proměnou a dnes ho známe jako DIAMO, s. p..

Kvůli různorodosti uranových ložisek byla těžba uranové rudy v Čechách prováděna řadou dostupných těžebních metod, jejichž výběr závisel na druhu mateční horniny v dané lokalitě. Ve Strážské lokalitě, jako v jediné v České republice, byla těžba uranu prováděna současně dvěma dobývacími metodami:

- klasickou hlubinnou těžbou
- metodou chemického loužení „in-situ“, tzv. chemickou těžbou

Zatím co hlubinnou těžbou získaná ruda se v chemické úpravě nejprve mechanicky rozdružila a následně loužila, při chemické těžbě se uran loužil roztokem kyseliny sírové přímo ve vrstvě horniny pomocí sítě technologických vrtů. Cílem obou metod bylo získání uranové rudy z křídových sedimentů a její úpravy do výsledné formy – uranového koncentrátu.

### 2.1 Stručná historie chemické těžby

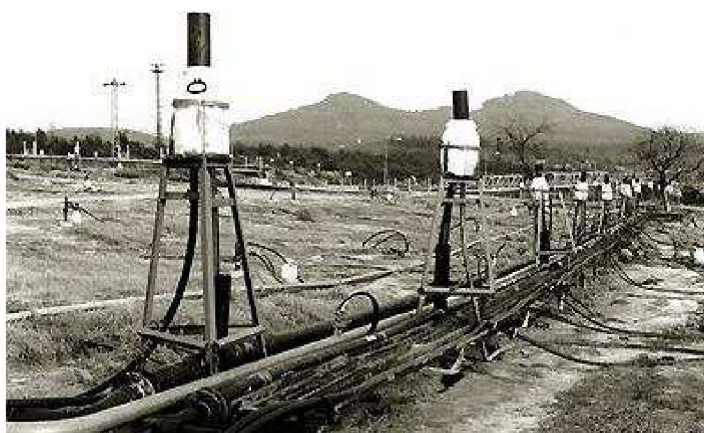
V roce 1963 [1] se v oblasti Hamr - Stráž odhalily územním geofyzikálním měřením vysoké magnetické anomálie, kde byl vyvrtán první zkušební vrt HJ-1 (Hamr na Jezeře-1). Po odhalení anomálie ve vrtu HJ-1 byly v jeho okolí vyhloubeny další zkušební vrty, které potvrdily přítomnost uranu.

První vyluhovací pokusy v terénu při zavádění metody chemického loužení uranu byly zahájeny v letech 1966 až 1970 [2] a probíhaly v okrese Česká Lípa, konkrétně pod Děvínem v Hamru na Jezeře, mezi Širokým kamenem a Děvínem a v centru současného úseku č. 2 – VP 7. Během šesti vyluhovacích pokusů byly postupně ověřovány jak technické parametry aplikovaného zařízení, tak i vlastní metodické postupy – např. byl zkoušen princip chemického loužení, výstroj vrtu a různá loužící činidla. Nejvýznamnější z těchto šesti pokusů byly vyluhovací pokusy číslo tři a šest. V rámci prvního z nich byla jako loužící činidlo vyzkoušena kyselina sírová a 13. 12. 1967 [3] byl odvezen první uranový koncentrát vyrobený chemickou těžbou. Vyluhovací pokus č. 6 byl realizován již v provozním měřítku na ploše o rozloze asi 35 ha pod Kozím hřbetem na ložisku Hamr. Umístění uranového ložiska Hamr - Stráž je zobrazeno na obr 2.1 [4].



Obr. 2.1 Zobrazení polohy a rozsahu uranového ložiska v oblasti Stráže pod Ralskem a české křídové pánve (Bohemian cretaceous basin) na mapě České republiky

Na základě prvních výsledků použité technologie podzemního loužení a některých výhod proti klasickému hornickému způsobu těžby došlo po roce 1971 k velmi rychlému rozšíření chemické těžby. Její produkce postupně nahrazovala úbytky těžby uranu v tradičních revírech a nahradila také podstatnou část výpadku produkce uranu způsobeného havárií na dole Hamr-Sever. Ke konci roku 1975 bylo v provozu 13 vyluhovacích polí (VP 4, 5, 6, 7A, 7B, 8A, 8B, 8C, 8D, 8E, 8F, 9C, 9D) o celkové ploše téměř 210 hektarů. Za následujících pět let přibylo dalších osm vyluhovacích polí (VP 9A, 9B, 10A, 10B, 10C, 12A, 12C a 12D) a celková plocha tím přesáhla 300 hektarů [3]. Podoba vyluhovacích polí je zobrazena na dnes už historické fotografii (obr. 2.2 [5]) z roku 1981.



Obr. 2.2 Historický snímek vyluhovacího pole VP 10A

Na začátku 80. let došlo k velmi podstatné změně v konstrukci štíhlých vrtů. Vrty se vystrojovaly dvojitou pažnicí s ochranou železnou pažnicí přes střední turon. Tím se výrazně zamezilo případným poruchám pažnice a následně i možnosti kontaminace turonských vod. Přes tuto změnu pokračoval rozvoj chemické těžby přibližně stejnou rychlostí a do roku 1985 přibylo dalších sedm vyluhovacích polí (VP 11, 12B, 13A, 13B, 14, 15 a 16). Na vyluhovacím poli VP 15 bylo poprvé úspěšně využito čerpání pomocí ponorných čerpadel z širokoprofilových vrtů. Počet vyluhovacích polí, v ložisku Stráž, se uzavřel v roce 1993, kdy bylo uvedeno do provozu vyluhovací pole VP 26. Celková plocha vyluhovacích polí byla větší než 650 hektarů a počet technologických vrtů – vtláčecích i čerpacích – překročil 7 500 [3].

Úměrně růstu plošného rozsahu vyluhovacích polí se budovaly a rozšiřovaly zpracovatelské kapacity chemických stanic CHS I a CHS II. Za celou dobu těžby v severočeské oblasti (v okrese Česká Lípa) se celkem vytěžilo 26 733 tun uranu, z toho 15 562 tun bylo získáno chemickou těžbou [2].

Rozvoj těžby uranu však nebyl v dostatečné míře doprovázen realizací opatření, která by v dostatečné míře monitorovala dopady tohoto druhu těžby na životní prostředí a okolní přírodu, případně je minimalizovala na přijatelnou míru. Bylo to zapříčiněno zejména postojem tehdejší společnosti, kdy prioritou a jediným ukazatelem bylo množství vytěžené suroviny.

K zásadní změně přístupu k těžbě uranu – ale i ostatních kovů a surovin – došlo až po roce 1989. Veškeré aktivity těžařských společností a podniků byly především posuzovány z hlediska ekonomiky a dopadů jejich provozu na životní prostředí. Tento trend byl výrazně ovlivněn narůstajícím ekologickým cítěním společnosti nejen u nás, ale zejména u našich západních sousedů. Tam byla situace v ČR z tohoto pohledu velmi dobře známa, neboť dopady chemické těžby ovlivňovaly území i mimo naši republiku.

Od roku 1990 se situací kolem chemické těžby začala pravidelně zabývat vláda ČR. První fází bylo usnesení vlády ČR č. 166 ze dne 15. 5. 1991, které formulovalo zásadní stanovisko: „Nerozšiřovat dále plochy vyluhovacích polí dolu chemické těžby uranu do doby komplexního posouzení stavu a stanovení ekologických podmínek dotěžení ložiska, způsobu ukončení těžby a sanace ložiska“ [2]. V rámci privatizace s. p. byl zpracován ekologický audit, který dokumentoval dosavadní dopady těžby na životní prostředí, především na jeho složky – ochranu vod, ochranu ovzduší, ochrany přírody a v oblasti nakládání s odpady.

Pro období 1992 až 1994 bylo usnesením vlády ČR č. 366/1992 stanoveno tzv. přechodné období se zvláštním režimem chemické těžby [2]. Během tohoto období byly připravovány podklady pro rozhodování o budoucnosti chemické těžby uranu na základě výzkumných a vývojových prací ke stanovení způsobu sanace ložiska. Z tehdejších prací vyplynulo, že pro další činnost DIAMO, s. p. je v každém případě nutno odstranit kontaminaci cenomanské a hlavně turonské zvodně, ke které došlo vlivem chemické těžby uranu.

Na základě usnesení vlády ČR č. 244 ze dne 26. 4. 1995 byl v květnu 1995 zpracován návrh koncepce sanace ložiska Stráž po chemické těžbě uranu. Ve smyslu zákona č. 244/1992 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, bylo součástí tohoto návrhu i vyhodnocení dopadu předložené koncepce sanace na životní prostředí. MŽP vydalo podle zákona č. 244/1992 Sb. dne

25. září 1995 souhlasné stanovisko k sanaci chemické těžby. Koncepce sanace, přijatá v roce 1995, spočívala ve vyvedení kontaminantů z podzemí a v jejich následném přepracování na hospodářsky využitelné produkty či ekologickém uložení na povrchu. Uvedená koncepce mohla být realizována různými způsoby. Volba optimálního postupu je ovlivňována průběžně získávanými poznatky z provozu vybudovaných technologických uzlů, aktuálními podmínkami ve výstavbě plánovaných zařízení, vývojem situace v podzemí i dalšími výsledky vývojových a ověřovacích prací [2].

Vzhledem k výše uvedeným důvodům byla chemická těžba uranu na ložisku Stráž ukončena rozhodnutím vlády ČR č. 170 z 6. 3. 1996 k datu 1. 4. 1996 [2]. Ještě v tomto roce bylo započato se sanací důlních polí, při níž je uran exploatován jako vedlejší produkt sanace v množství cca 80 tun/rok [6].

## 2.2 Použitá metoda chemického loužení in-situ

Metoda chemického loužení je vhodná především pro chudší ložiska, která se nacházejí ve vodopropustné hornině ve vodonosné vrstvě, jež je obklopena ze všech stran nepropustnými vrstvami. Při optimální konfiguraci podmínek, tj. souběhu [3]:

- dobré loužitelnosti rudy,
- udržení podbilance roztoků (kdy se z ložiska čerpá více roztoků, než se zpětně vtlačí) a
- vysoké selektivity loužícího média,

má uvedená dobývací metoda řadu výhod oproti klasické hlubinné těžbě. Naproti tomu zde existuje i značné množství nevýhod, na které je nutno brát zřetel. Na základě několika provozních zkušeností lze uvést následující srovnání.

### Výhody loužení in-situ:

- odpadá náročná a zdraví nebezpečná činnost horníků v podzemí, eliminuje se tak riziko ohrožení personálu následkem havárií a ionizujícího zařízení
- těžba má nižší investiční a provozní náklady
- odpadá činnost převozu rudy a jejího zpracování
- při těžbě je menší zabraná plocha a velmi malé množství vytěžené hlušiny → není třeba budovat velká odkaliště, která patří mezi rizikové objekty v procesu zpracování a úpravy rudy

### Nevýhody loužení in-situ:

- nebezpečí úniku loužícího roztoku z ložiska a následující kontaminace spodních vod
- nepředvídatelné účinky loužícího roztoku na horninu ložiska
- vznik jistého množství odpadních kalů a odpadních vod při zpětném získávání loužícího roztoku
- nemožnost obnovy přirozeného stavu loužené zóny po ukončení vyluhování

V této souvislosti je však třeba konstatovat, že na ložisku Stráž nebyla metoda aplikována ve vhodných geologických a hydrogeologických podmínkách a rovněž ne vhodným způsobem:

- jako loužící činidlo byla použita kyselina sírová o koncentraci až 80 g/l [3],
- při loužení nebyla dodržována zásada udržení podbilance roztoků v ložisku, což spolu s vlivem depresního kuželu hlubinné šachty vedlo k neúměrnému rozšíření kontaminace,
- charakter vlastního ložiska není pro svůj úklon a poruchy vhodné k aplikaci chemické těžby.

Technologie chemické těžby byla přesto v té době prosazena. Tehdejší politická situace byla totiž jiná a jiný byl i způsob rozhodování. Těžba uranu patřila mezi strategické cíle a veškerá data a údaje o ní patřily do kategorie tajné či důvěrné.

Aplikace metody podzemního loužení in-situ probíhala v několika krocích:

1. Příprava a vtláčení loužícího roztoku (převážně 2 – 5 % roztoku  $H_2SO_4$ ) prostřednictvím systému technologických vrtů až do rudonosných horizontů (v hloubkách 250 – 350 m), které se nacházejí ve spodní cenomanské vrstvě. Roztok prostupoval porézním horninovým prostředím a loužil složky rud.
2. Roztoky vyluhující uran byly čerpacími vrty vyvedeny na povrch.
3. Doprava loužícího roztoku k vtláčecím vrtům a doprava výluhu od těžebních vrtů do chemické stanice.
4. Zpracování odčerpaných výluhů v chemických stanicích, kde byl z roztoku sorbován uran na tzv. chemický koncentrát uranu. Konečným produktem byl diuranát amonný, známý jako žlutý koláč (Yellow cake).
5. Do již využitých roztoků byly po separaci uranu doplňovány potřebné chemikálie pro další loužení a ty opětovně vtláčeny do podzemí. Tím se dosáhlo významné úspory množství použité vody.

Na obr. 2.3 [7] je uveden zjednodušený model procesu chemické těžby metodou podzemního loužení in-situ a skladba horninového prostředí v Ralské oblasti.

Rozvoj těžby, metodou podzemního loužení, byl neobyčejně rychlý. Prakticky za provozu bylo nutné současně řešit řadu problémů souvisejících s technologií, zejména [8]:

- konstrukci vrtů
- systém čerpání roztoků z vrtů
- optimalizaci skladby vrtných sítí
- chemicko-technologickou problematiku
- koexistenci obou způsobů dobývání
- dopad chemické těžby na životní prostředí



Obr. 2.3 Zjednodušený model metody loužení in-situ

Čerpání se z počátku provádělo výhradně pomocí stlačeného vzduchu na principu tzv. airliftů. Tento metoda čerpání má velmi jednoduchý princip, ale její účinnost není příliš vysoká. Stlačený vzduch je k vrtům přiveden z kompresorovny, dochází ke zpěnění kapaliny ve vrtech, tím k poklesu její hustoty a vynášení roztoku na povrch. Z důvodů značné energetické náročnosti bylo – počínaje vrtem na vyluhovacím poli VP 15 – zavedeno čerpání elektrickými ponornými antikorovými čerpadly zapuštěnými do širokoprofilových těžebních vrtů [8].

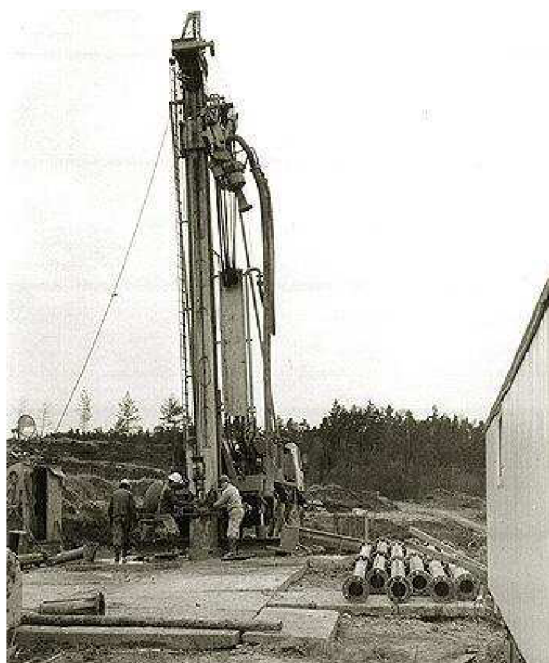
Pro ilustraci celé situace je zde podrobněji uvedena problematika vrtů. V době realizace koncem 60. let se při jejich provádění vycházelo ze zkušeností z provádění vrtů pro geologický a hydrogeologický průzkum. Vrty pro chemickou těžbu musely splňovat ještě několik dalších funkcí, zejména:

- zabraňovat kontaminaci okolní horniny a podzemních vod v turowské zvodni
- a naopak zajistit dobré filtrační vlastnosti v kovonosné cenomanské vrstvě.

Konstrukce vrtů zaznamenaly určitý rozvoj. Původně byly oba druhy vrtů – vrtlačí a čerpací – stejné konstrukce s použitím jílového výplachu na konečnou hloubku a zapažením vrtu pažnicovou kolonou z polyetylénu. Jako vážný problém se ukázalo porušení těsnosti pažnicové kolony, neboť v případě právě její netěsnosti docházelo k propojení obou vodních horizontů –

spodního cenomaského a vrchního turonskeho – a tím ke znečištění turonu loužícím roztokem. Proto se přešlo na dvoustupňové pažení. Nejprve se ocelovými pažnicemi zapažilo turonske souvrství a izolovalo se zapažnicovou cementací. Následně byl vrt dovtán na konečnou délku. Celý vrt se pak propažil polyetylenovými pažnicemi. Rudní poloha byla zapažena perforovanými pažnicemi s filtrem a celý zapažnicový prostor nad zájmovou rudní polohou byl zacementován až na povrch.

Pro řešení racionálního čerpání výluhů se začaly používat tzv. širokoprofilové vrty. Konstrukce vrtů byla poměrně stabilizovaná a odpovídala podmínkám technologie vrtání s použitím nepřímého proplachu. V intervalu propustného turonu byla stanovena povinnost provést dvojitou pažnicovou kolonu. Definitivní pažnicové kolony byly průměrově vázány na čerpací techniku, která byla do vrtu instalována [8]. Způsob jakým se takovýto vrt prováděl je uveden na následující fotografii (obr. 2.4 [5]) z dob chemické těžby.



Obr. 2.4 Vrtání na vyluhovacím poli VP 6

## 2.3 Dopad chemické těžby na životní prostředí

Při zahájení chemické těžby byly obavy, že chemické vyluhování přemění krajinu na mrtvou poušť. Avšak skutečnost byla jiná. Provoz chemické těžby se na povrchu projevoval minimálně, nejvíce existencí objektů a inženýrských sítí. Po čase vše bylo ukryto v hustém březovém, jívovém a borovém, samovolně vzrostlém porostu a každý, kdo navštívil stará vyluhovací pole, měl problém najít vrty a potrubní trasy.

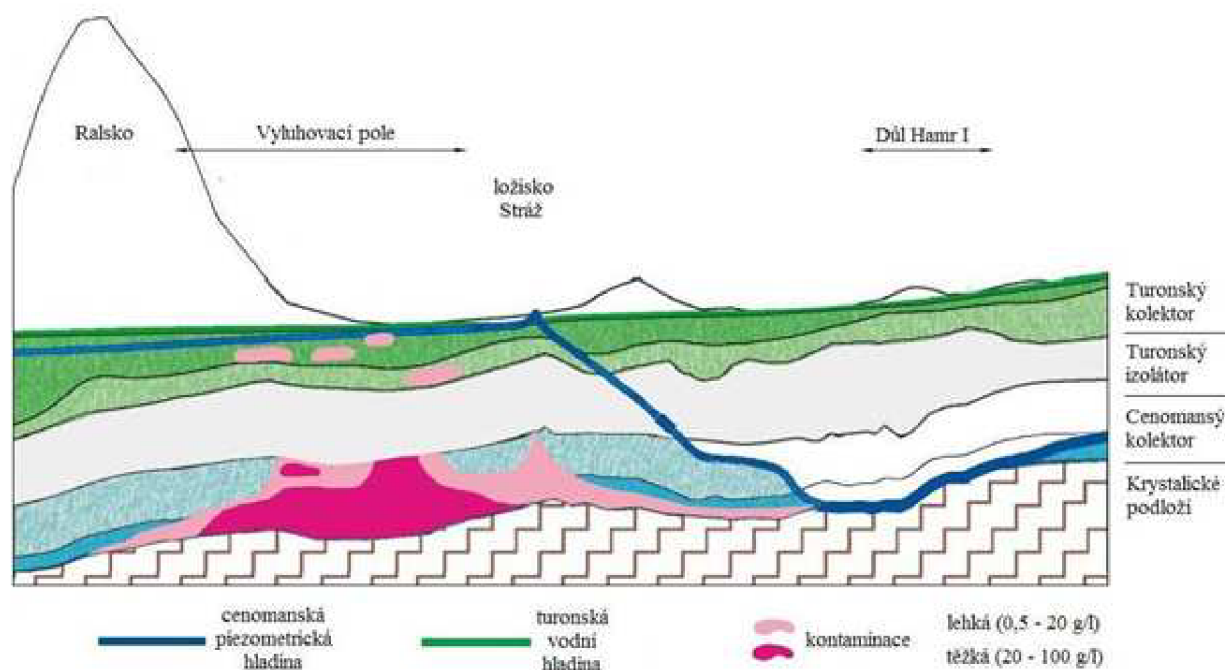


Snaha o co nejnížší dopad vlivu těžby na povrch a životní prostředí při tak velkém plošně rozsáhlém záboru lesního a zemědělského půdního fondu byla aplikována až po více než 10 letech od počátku výstavby vyluhovacích polí, někdy od roku 1981. Mýcení lesů bylo pak prováděno v rozsahu nezbytně nutném pro odvrtání vrtů a umístění technologického zařízení. Průběžně byly vysazovány nové stromky. Jejich počet se přiblížil k číslu 100 000. Zemědělský půdní fond byl částečně využíván na rekultivaci vyluhovacích polí (VP 14, 17, 18, 19, 23 a 4) [8].

Zvětšování rozlohy vyluhovacích polí probíhalo velmi rychle. Nárůst plochy v jednotlivých letech je možno počítat na desítky hektaru a počty odvrtaných technologických vrtů na stovky. Za dobu chemické těžby bylo na ložisku Stráž odvrtáno [9]:

- 2 210 průzkumných vrtů
- 7 684 technologických (těžebních a vtláčecích) vrtů
- a založeno 35 vyluhovacích polí o rozloze 700 hektarů.

Plocha kontaminace včetně tzv. dotčených vod však dosáhla velikosti 24,1 km<sup>2</sup>. Na obr. 2.5 [4] je schematicky znázorněna poloha kontaminace oblasti ovlivněné chemickou těžbou.



Obr. 2.5 Schematický průřez oblasti ovlivněné chemickou těžbou

Chemickou těžbou bylo celkem ovlivněno 370 mil. m<sup>3</sup> podzemních vod [2]. Z toho zůstalo v horninovém prostředí velké množství zbytkových technologických roztoků – cca 186 mil. m<sup>3</sup> v cenomanské a 80 mil. m<sup>3</sup> v turonské zvodni. Pro představu to dohromady odpovídá množství vody, které v sobě jímá přehrada Nechanice (272 mil. m<sup>3</sup>) nebo Slapy (269 mil. m<sup>3</sup>) při maximální hladině v nádrži – což není zrovna zanedbatelné množství.

Do podzemí v severočeské křídové oblasti bylo během celého období chemické těžby uranu vtlačeno následující množství chemických látek [9]:

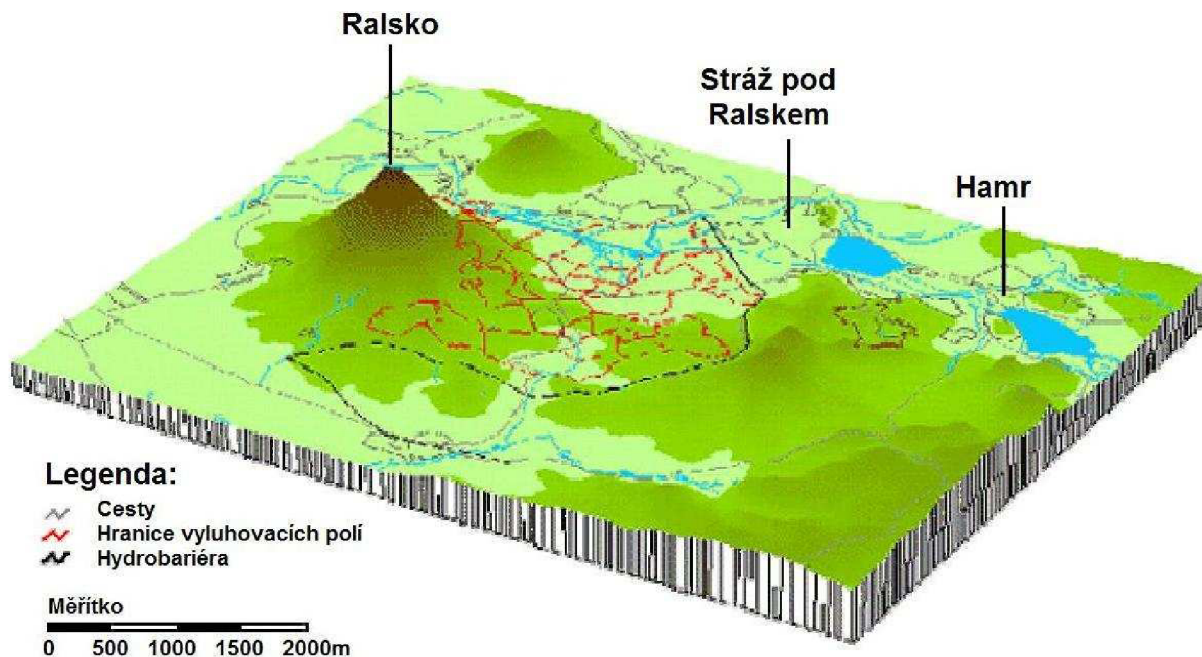
- 4 120 000 tun kyseliny sírové ( $H_2SO_4$ ), která sloužila jako loužící činidlo (z toho 80 % zreagovalo s horninou a 800 mil. tun je zde ve formě volné  $H_2SO_4$ ),
- 313 000 tun kyseliny dusičné ( $HNO_3$ ) využívané jako oxidačního činidla,
- 112 000 tun amoniaku ( $NH_3$ ),
- 26 000 tun kyseliny fluorovodíkové ( $HF$ ), jež se používala k čištění vrtů,
- 1 500 tun kyseliny chlorovodíkové ( $HCL$ ).

V současné době se v podzemí nachází kontaminace v množství odpovídajícím 4,9 mil. tun všech rozpuštěných látek v koncentraci 15 000 - 60 000 mg/l. Nejvýznamnější složkou kontaminace je  $SO_4^{2-}$ , která je v podzemí obsažena v množství cca 3,6 mil. tun [2]. Další hlavní veličiny sledované v životním prostředí jsou uvedeny v tab. 2.1 [9].

Sledovaný tok	Hlavní složky sledované z hlediska životního prostředí
Důlní vody	pH, NL, RL, NEL, AOX, BSK <sub>5</sub> , CHSK <sub>Cr</sub> , N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , F <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , Fe <sub>celk.</sub> , Zn, Ba, <sup>226</sup> Ra, U, Ni, P <sub>celk.</sub> , Be, Cd, As, Mn <sub>celk.</sub> , Ca <sup>2+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Cr <sub>celk.</sub> , <sup>210</sup> Pb, celková alfa a beta aktivita
Povrchové toky	U, <sup>226</sup> Ra, NL, RL, NEL, AOX, N-NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Zn, Ni, BSK <sub>5</sub> , CHSK <sub>Cr</sub> , Na, Ca <sup>2+</sup> , K, Mg <sup>2+</sup> , <sup>210</sup> Pb, F <sup>-</sup> , Fe, Mn, Cl <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , KNK, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , pH
Podzemní vody (turon, cenoman)	pH, KNK, ZNK, RL, NL, SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Cl <sup>-</sup> , F <sup>-</sup> , HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Mg <sup>2+</sup> , Ca <sup>2+</sup> , Na, K, Al, F <sup>2+</sup> , F <sup>3+</sup> , Mn, U, <sup>226</sup> Ra, Zn, Ni, NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>

Tab. 2.1 Monitoring složek životního prostředí

Upřesňujícím geologickým a hydrogeologickým průzkumem bylo zjištěno, že se kontaminace ve spodních vodách šířila jihozápadním směrem a dosáhla 2. ochranného pásma zdroje (PHO – pásmo hygienické ochrany) zásobování města Mimoň pitnou vodou. V jihovýchodním směru byla kontaminovaná spodní voda vzdálena od 2. ochranného pásma jímání pitné vody Dolánky 1,2 – 1,5 km. Z tohoto zdroje je zásobováno město Liberec pitnou vodou v množství 200 l/s. Díky realizování sanačních prací bylo v roce 1998 šíření kontaminace prakticky zastaveno. Ve východním směru bylo zabráněno dalšímu šíření k sousednímu hlubinnému dolu Hamr I provedením tzv. hydrobariéry (viz obr. 2.6 [7]). Její funkce spočívá v tom, že do systému vrtů uspořádaných do jedné linie se průběžně čerpá čistá voda, aby se zabránilo přítoku kontaminované vody do využívané zvodně [10]. Letecký snímek na obr. 2.7 [5] pak ukazuje skutečnou podobu hydraulické bariéry na povrchu.



Obr. 2.6 Znárodnění hranic vyluhovacích polí a hydrobariéry na ložisku Stráž



Obr. 2.7 Letecký snímek hydraulické bariéry

Vzhledem k zmíněným problémům chemické těžby a díky celkovému útlumu těžby uranu bylo v roce 1989 zastaveno další rozšiřování této těžby a od roku 1992 bylo postupně snižováno množství chemikálií zaváděných do podzemí až na úroveň technologického minima (tj. 10 000 tun/rok kyseliny dusičné pro oxidaci ložiska). Ložisko Stráž je částečně vytěženo, k 1. 1. 1998 byly evidovány geologické zásoby 34 896 tun uranu, ale tyto již nejsou vytěžitelné. Riziková analýza z roku 1997 prokázala, že nejnebezpečnějšími složkami roztoků v podzemí je hliník, amonné ionty, beryllium, arzén, fluor a vanad. Riziko radioaktivní kontaminace (působením uranu a thoria) je méně významné ve srovnání s úrovní rizika plynoucí z chemického znečištění [10].

### 3 Legislativa

Problematikou těžby surovin se zabývá několik legislativních předpisů, zákonů a prováděcích vyhlášek [11], které předmětnou činnost blíže specifikují. Těžba uranu, vzhledem na specifika těžené suroviny, představuje určitým způsobem specifickou činnost, i když je prováděna klasickým způsobem – tj. hlubinnou těžbou. Metoda chemickým způsobem sama o sobě se výrazně odlišuje od těžby prováděné klasickým hlubinným způsobem a proto její příprava, provádění i následné zahlazování následků po těžbě, musí být ošetřeno legislativními předpisy respektující všechna její specifika.

Při provádění těžby tímto způsobem musí prováděcí organizace respektovat ještě další zákony, zejména ty, které řeší jednotlivé oblasti ochrany životního prostředí – především oblast ochrany vod, ochrany přírody a krajiny, ochrany ovzduší, nakládání s odpady, problematiku nakládání s chemickými látkami a chemickými prostředky, ochrany lesního i zemědělského půdního fondu a další.

Dalším nezanedbatelným aspektem je téma škod na životním prostředí a jejich sanace. Z povahy společenských změn po roce 1989, které vedly k základní přeměně a reorganizaci vlastnických vztahů, vyplynulo, že transformace vlastnických vztahů se bude týkat otázek životního prostředí, včetně právnických otázek řešení škod na životním prostředí v minulosti.

Privatizace a restituce se jako základní procesy transformace vlastnických a ekonomických vztahů v ČR netýkaly pouze ekonomických otázek, ale byly spojeny se státní ekologickou politikou. Realizace této politiky v praxi byla právně vyjádřena ve vztahu ke škodám na životní prostředí, ve formulaci ustanovení § 6a zákona o podmínkách převodu majetku státu na jiné osoby č. 92/1992 Sb. Tím byla stanovena povinnost, aby součástí privatizačního projektu bylo zároveň zajištěno vyhodnocení závazků těchto podniků z hlediska ochrany životního prostředí – ekologický audit. V rámci tohoto auditu byl posuzován stav privatizovaného podniku ve vztahu k platné legislativě na úseku ochrany životního prostředí a toto zpracování muselo být ověřeno a potvrzeno Ministerstvem životního prostředí.

V následujících kapitolách je velmi stručnou formou uveden přehled platných legislativních předpisů jednotlivých složek ochrany životního prostředí.

#### 3.1 Legislativa na úseku geologie, ochrany a evidence nerostného bohatství

Těžba, prováděná hornickým způsobem, je v praxi v naší republice prováděna podle legislativních předpisů uvedených v následujícím přehledu.

Základní postupy v hornické činnosti jsou specifikovány v několika zákonech.

Na prvním místě je to **ZÁKON č. 44/1988 Sb., o ochraně a využití nerostného bohatství (horní zákon), ve znění pozdějších předpisů**. Účelem tohoto zákona, podle ustanovení §1, je

stanovit zásady ochrany a hospodárného využívání nerostného bohatství, zejména při vyhledávání a průzkumu, otvírce, přípravě a dobývání ložisek nerostů, úpravě a zušlechťování nerostů prováděných v souvislosti s jejich dobýváním, jakož i bezpečnosti provozu a ochrany životního prostředí při těchto činnostech. V dalších ustanoveních tohoto zákona jsou blíže specifikovány základní pojmy týkající se těžby nerostů na ložisku se všemi souvislostmi těžební činnosti i péče o ložisko.

**ZÁKON České národní rady č. 61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o státní báňské správě, ve znění pozdějších předpisů,** který zapracovává příslušné předpisy Evropských společenství a upravuje podmínky pro provádění hornické činnosti a s tím související práce, včetně její bezpečnosti a ochrany zdraví. Rovněž je tímto zákonem řešena otázka organizace a působnost orgánů státní báňské správy.

**ZÁKON České národní rady č. 62/1988 Sb., o geologických pracích, ve znění pozdějších předpisů.** Účelem tohoto zákona je stanovit podmínky pro projektování, provádění a vyhodnocování geologických prací, jejich koordinaci a kontrolu a pro využití jejich výsledků v národním hospodářství, ve vědě a v technice. Geologickými pracemi se podle tohoto zákona rozumí geologický výzkum a geologický průzkum na území ČR, který zahrnuje – kromě dalších činností – také oblast prací, která se bezprostředně týká následků po chemické těžbě uranu: „zjišťování a odstraňování antropogenního znečištění v horninovém prostředí“.

**VYHLÁŠKA Českého báňského úřadu č. 104/1988 Sb., o hospodárném využívání výhradních ložisek, o povolování a ohlašování hornické činnosti a ohlašování činnosti prováděné hornickým způsobem.** Již v úvodních ustanoveních této vyhlášky je zmiňována problematika také chemické těžby, a to takto: Při dobývání výhradního ložiska je nutno používat takové dobývací metody, které umožní vydobýt bilanční zásoby výhradního ložiska s co největší výrubností (tuhých nerostů), popřípadě vytěžitelností (u kapalných a plyných nerostů, jakož i při loužení), s co nejmenšími ztrátami a co nejmenším znečištěním, které jsou technicky i ekonomicky zdůvodněny.

**VYHLÁŠKA Českého báňského úřadu č. 415/1991 Sb., o konstrukci, vypracování dokumentace a stanovení ochranných pilířů, celíků a pásem pro ochranu důlních a povrchových objektů.** Účelem této vyhlášky je stanovení postupu při konstrukci, vypracování dokumentace a stanovení ochranných pilířů, celíků a pásem pro ochranu povrchových a důlních objektů.

**VYHLÁŠKA Českého báňského úřadu č. 172/1992 Sb., o dobývacích prostorech,** která specifikuje zejména způsoby značení, označování, vytýčení dobývacího prostoru a rozsahu zpracování návrhu dokumentace k jeho vyhlášení. Také podrobně vypočítává skladbu této dokumentace, kromě jiného ukládá povinnost výpočtu zásob.

**VYHLÁŠKA Ministerstva hospodářství č. 617/1992 Sb., o podrobnostech placení úhrad z dobývacích prostorů a z vydobytých vyhrazených nerostů,** stanoví povinnosti organizace a specifikuje postupy výpočtu úhrad, vedení evidence a dalších činností v této oblasti.

**VYHLÁŠKA Českého báňského úřadu č. 15/1995 Sb., o oprávnění k hornické činnosti a činnosti prováděné hornickým způsobem, jakož i k projektování objektů a zařízení, které jsou součástí těchto činností,** zejména specifikuje podmínky, za jakých lze toto oprávnění vydat k této činnosti a kdo je oprávněn toto oprávnění vydat.

**VYHLÁŠKA Českého báňského úřadu č. 52/1997 Sb., kterou se stanoví požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při likvidaci hlavních důlních děl.** Tato vyhláška stanovuje požadavky k zajištění bezpečnosti a ochrany zdraví při práci a bezpečnosti provozu při likvidaci hlavních důlních děl, která vyúsťují na povrch a důlních děl do nich ústících při hornické činnosti a při dobývání nevyhrazených nerostů v podzemí.

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 206/2001 Sb., o osvědčení odborné způsobilosti projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce,** která upravuje obory, pro něž se osvědčuje odborná způsobilost projektovat, provádět a vyhodnocovat geologické práce, stanoví doklady potřebné k prokázání odborné způsobilosti, rozsah potřebných znalostí právních předpisů souvisejících s geologickou činností, postup při ověřování odborné způsobilosti a způsob evidence a zveřejňování vydaných rozhodnutí o osvědčení odborné způsobilosti. Rovněž specifikuje, pro které je nutné odbornou způsobilost osvědčovat.

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 282/2001 Sb., o evidenci geologických prací,** která stanoví rozsah evidovaných údajů a postup evidence geologických prací.

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 363/1992 Sb., o zjišťování starých důlních děl a vedení jejich registru,** který je významné zvláště jako podklad pro následné rozhodnutí státních orgánů ve věcech mimo oblast hornické činnosti.

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 364/1992 Sb., o chráněných ložiskových územích,** kde jsou uvedeny postupy na podání návrhu chráněného území, skladba tohoto návrhu a další náležitosti.

### 3.2 Legislativa na úseku ochrany vod

Při těžbě surovin je legislativa na úseku ochrany vod jednou z nejvýznamnějších, neboť ochrana zejména pitné vody, která patří mezi nejdůležitější suroviny, by měla být vždy středem zájmu. Legislativa ochrany vod má již dlouhou tradici, je dlouholetými zkušenostmi ověřena v praxi a poměrně efektivně specifikuje a konkretizuje jednotlivé způsoby a postupy ochrany.

Základním legislativním předpisem na tomto úseku ochrany životního prostředí je **ZÁKON č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).** Z pohledu těžby je hlavním účelem tohoto zákona zejména chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti povrchových a podzemních vod v souladu s právem Evropských společenství. Účelem tohoto zákona je též přispívat k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů.

Zákon upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí, a to v zájmu zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod, bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povodní a sucha.

Z dalších ustanovení tohoto zákona je významné vymezení pojmů (§2) a zejména práva k vodám a právní povaha vod (§3).

Poměrně novým zákonem je **ZÁKON č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)**, upravuje některé vztahy vznikající při rozvoji, výstavbě a provozu vodovodů a kanalizací sloužících veřejné potřebě, přípojek na ně, jakož i působnost orgánů územních samosprávných celků a správních úřadů na tomto úseku. V porovnání se zákonem o vodách se problematiky těžby surovin dotýká pouze okrajově.

Z prováděcích předpisů k oběma výše uvedeným zákonům je nezbytné respektovat při těžbě surovin, zejména v oblasti Stráže pod Ralskem, zejména:

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 85/1981 Sb., o chráněných oblastech přirozené akumulace vod Chebská pánev a Slavkovský les, Severočeská křída, Východočeská křída, Polická pánev, Třeboňská pánev a Kvartér řeky Moravy**, neboť oblast Východočeské křída je bezprostředně ohrožena činností státního podniku DIAMO, o. z. TÚU.

Vyjmenované oblasti, zejména oblast Východočeské křída, která pro své přírodní podmínky tvoří významnou přirozenou akumulaci povrchových a podzemních vod, jsou chráněnými oblastmi přirozené akumulace vod. Hranice chráněných vodohospodářských oblastí uvedených v odstavci 1 jsou vymezeny v příloze tohoto nařízení; mapy chráněných vodohospodářských oblastí jsou uloženy u okresních národních výborů, v jejichž územní působnosti tyto oblasti jsou.

Dalším významným dokumentem, který je nezbytné respektovat, je **NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 61/2003 Sb., o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech**. Toto nařízení v souladu s právem Evropských společenství stanoví zejména ukazatele vyjadřující stav vody ve vodním toku, ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových a odpadních vod, zejména těch, které jsou využívány nebo u kterých se předpokládá jejich využití jako zdroje pitné vody a náležitosti a podmínky povolení k vypouštění odpadních vod. Rovněž vymezuje citlivé oblasti v souladu s právem Evropských společenství.

Kromě těchto uvedených prováděcích předpisů je nezbytné při těžbě respektovat:

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 71/2003 Sb., o stanovení povrchových vod vhodných pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů a o zjišťování a hodnocení stavu jakosti těchto vod**. Toto nařízení stanoví povrchové vody, které jsou vhodné pro život a reprodukci původních druhů ryb a dalších vodních živočichů. Dále toto nařízení upravuje způsob zjišťování a hodnocení stavu jakosti uvedených povrchových vod.

### 3.3 Legislativa na úseku ochrany ovzduší

Základním právním předpisem na úseku ochrany ovzduší je **ZÁKON č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší**, který je plně harmonizován s předpisy EU. Pro praktickou aplikaci ustanovení zákona jsou vydány další prováděcí předpisy ve formě Nařízení vlády ČR, příp. vyhlášek příslušných ministerstev.

**ZÁKON č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší)**, ve znění z. č. 521/2002 Sb., z. č. 92/2004 Sb., z. č. 186/2004 Sb. a z. č. 695/2004 Sb. Zákon stanovuje práva a povinnosti osob, působnost státních úřadů při ochraně vnějšího ovzduší před vnášením znečišťujících látek lidskou činností, zacházení s regulovanými látkami, které poškozují ochrannou ozónovou vrstvu Země a s výrobky, které takové látky obsahují, podmínky pro další snižování látek znečišťujících ovzduší působících nepříznivým účinkem na život a zdraví lidí, zvířat, na životní prostředí a hmotný majetek a nástroje ke snižování množství látek ovlivňujících klimatický systém Země, např. CIU, FU, CO<sub>2</sub> a další.

V zákoně jsou rovněž formulovány povinnosti právnických a fyzických osob, kde je významné zejména ustanovení, že každý je povinen omezovat a předcházet znečišťování ovzduší a snižovat množství jím vypouštěných znečišťujících látek do ovzduší a tam, kde je to technicky možné a ekonomicky přijatelné při stavbě nových zdrojů a rekonstrukci stávajících zdrojů využívat centrální zdroje tepla.

Dále zákon kategorizuje zdroje znečišťování na mobilní a stacionární. Přitom uvádí a formuluje pojem mobilní zdroje jako samohybná a další pohyblivá vozidla a přenosná zařízení vybavená spalovacími motory. Jde o silniční, drážní vozidla a stroje, letadla a plavidla, nesilniční mobilní zdroje (kompresory, buldozery, vysokozdvizné vozíky), zemědělské a lesnické stroje a přenosná nářadí vybavená spalovacím motorem, např. sekačky, pily apod. Naproti tomu, stacionárními zdroji jsou zařízení pro spalování paliv nebo jiná technologická zařízení, která znečišťují nebo mohou znečišťovat ovzduší. Sem náleží šachty, lomy a jiné plochy s možností zapaření, vč. skladů a skládek paliv, surovin, produktů a obdobných činností.

**ZÁKON č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů (zákon o ochraně ovzduší)**, ve znění z. č. 521/2002 Sb., z. č. 92/2004 Sb., z. č. 186/2004 Sb. a z. č. 695/2004 Sb.

**ZÁKON č. 695/2004 Sb., o podmínkách obchodování s povolenkami na emise skleníkových plynů a o změně některých zákonů.**

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 350/2002 Sb., kterým se stanoví imisní limity a podmínky a způsob sledování, posuzování, hodnocení a řízení kvality ovzduší**, ve znění Nařízení vlády č. 60/2004 Sb.

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 351/2002 Sb., kterým se stanoví závazné emisní stropy pro některé látky znečišťující ovzduší a způsob přípravy a provádění emisních inventur a emisních projekcí**, ve znění Nařízení vlády č. 417/2003 Sb.



**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 352/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.**

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 353/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky provozování ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.**

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 354/2002 Sb., kterým se stanoví emisní limity a další podmínky pro spalování odpadu.**

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 112/2004 Sb., o Národním programu snižování emisí tuhých znečišťujících látek, oxidu siřičitého a oxidu dusíku ze stávajících zvláště velkých spalovacích stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 355/2002 Sb., kterou se stanoví emisní limity a další podmínky provozování z ostatních stacionárních zdrojů znečišťování ovzduší emitujících těkavé organické látky z procesů aplikujících organická rozpouštědla a ze skladování a distribuce benzínu.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 356/2002 Sb., kterou se stanoví seznam znečišťujících látek, obecné emisní limity, způsob předávání zpráv a informací, zjišťování množství vypouštěných znečišťujících látek, tmavosti kouře, přípustné míry obtěžování zápachem a intenzity pachů, podmínky autorizace osob, požadavky na vedení provozní evidence zdrojů znečišťování ovzduší a podmínky jejich uplatňování.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 357/2002 Sb., kterou se stanoví požadavky na kvalitu paliv z hlediska ochrany ovzduší.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 358/2002 Sb., kterou se stanoví podmínky ochrany ozonové vrstvy Země.**

**VYHLÁŠKA č. 553/2002 Sb., kterou se stanoví hodnoty zvláštních imisních limitů znečišťujících látek, ústřední Regulační řád a způsob jeho provozování včetně seznamu stacionárních zdrojů podléhajících regulaci, zásady pro vypracování a provozování krajských a místních regulačních rádu a způsob a rozsah zpřístupňování informací o úrovni znečištění ovzduší veřejností.**

**VYHLÁŠKA č. 696/2004 Sb., kterou se stanoví postup zjišťování, vykazování a ověřování množství emisí skleníkových plynů.**

### **3.4 Legislativa na úseku nakládání s odpady**

Při těžbě surovin v rámci hornické činnosti dochází ke vzniku velkého množství odpadů, které významným způsobem ovlivňují krajinný ráz i okolní přírodu. V případě rudného hornictví pak při následné úpravě rud v chemické úpravně vznikají další druhy odpadů, z nichž nemalá část patří mezi odpady kategorie nebezpečný.

Základním předpisem v oblasti nakládání s odpady je **ZÁKON č. 185/2001 Sb., o odpadech**, ve znění pozdějších změn a doplňků. Hlavním cílem zákona je stanovení a dodržování pravidel při nakládání s odpady. Prioritu klade zákon na využívání odpadů před jejich odstraňováním, zejména pokud by se jednalo o ukládání odpadů na skládky (skládkování by mělo být až to poslední, když není jiná možnost odpady využít nebo odstranit jiným způsobem). Velmi závažným a poměrně obtížně a jednoznačně definovatelným pojmem je již samotný termín odpad. V zákoně je odpad definován jako věc movitá, které se osoba zbavuje, nebo má úmysl či povinnost se jí zbavit, a která patří do některé skupiny odpadů, uvedených v příloze č. 1 zákona. Zbavováním se rozumí předávání odpadů k využití, odstranění nebo předání jiné osobě, která je oprávněná provádět sběr a výkup. Povinnost zbavit se odpadu nastává, pokud se nepoužívá ke svému účelu a ohrožuje životní prostředí, nebo byl-li vyřazen pro uplynutí doby k použití – stanoví zvláštní předpisy. Při pochybnostech, zda se jedná o odpad, rozhoduje příslušný krajský úřad, a to na návrh vlastníka nebo některého správního úřadu.

Odpad zařazuje jeho původce nebo oprávněná osoba podle Katalogu odpadů (vyhlášky č. 381/2001 Sb., ve znění vyhlášky č. 503/2004 Sb.). V případě, že není možné odpad jednoznačně zařadit, zařadí ho MŽP na návrh příslušného obecního úřadu obce s rozšířenou působností (OSRP).

Do kategorie nebezpečný se zařadí odpad, když je uveden:

- v Seznamu nebezpečných odpadů (uveden ve vyhl. č. 381/2001 Sb.)
- který je smíšen nebo znečištěn některou ze složek uvedených v Seznamu složek, které činí odpad nebezpečným (příl. č. 5 zákona)
- který je smíšen nebo znečištěn některým z odpadů uvedených v Seznamu nebezpečných odpadů

Nedílnou součástí legislativy na úseku nakládání s odpady jsou související prováděcí předpisy:

**NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství ČR.**

**VYHLÁŠKA Českého báňského úřadu č. 99/1992 Sb., o zřízení, provozu, zajištění a likvidaci zařízení pro ukládání odpadů v podzemních prostorech.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví č. 376/2001 Sb., o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů, ve znění vyhlášky č. 502/2004 Sb.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů (Katalog odpadů), ve znění vyhlášky č. 503/2004 Sb.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě, ve znění vyhlášky 504/2004 Sb.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 384/2001 Sb., o nakládání s polychlorovanými bifenyly, polychlorovanými terfenyly, monometyltetrachlordifenylmetanem, monometyldichlordifenylmetanem, monometyldibromdifenylmetanem a veškerými směsmi obsahujícími kteroukoliv z těchto látek v koncentraci větší než 50 mg/kg (o nakládání s PCB).**

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 237/2002 Sb., o podrobnostech způsobu provedení zpětného odběru některých výrobků, ve znění vyhlášky č. 505/2004 Sb.**

Pro úplnost výčtu je nezbytné uvést ještě také **ZÁKON o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech) č. 477/2001 Sb.**, který je nezbytné rovněž respektovat.

### **3.5 Legislativa na úsecích ochrany přírody a krajiny, ZPF, LPF, posuzování vlivů na životní prostředí, prevence závažných havárií a integrovaná prevence a omezování znečištění**

Pro úplnost uvádím pouze přehled předpisů na tomto úseku ochrany životního prostředí, z nichž některé se důlní činnosti a sanací její následků týkají pouze okrajově:

**ZÁKON č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny** (ve znění zákonného opatření předsednictva ČNR č. 347/1992 Sb.), z. č. 289/1995 Sb., nálezu Ústavního soudu ČR č. 3/1997 Sb., z. č. 16/1997 Sb., z. č. 123/1998 Sb., z. č. 161/1999 Sb., z. č. 238/1999 Sb., z. č. 132/2000 Sb., z. č. 76/2002 Sb., z. č. 320/2002 Sb., z. č. 100/2004 Sb., z. č. 168/2004 Sb. a z. č. 218/2004 Sb. (úplné znění zákona vyhlášené ve Sbírce zákonů pod č. 460/2004 Sb.

**ZÁKON č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu**, ve znění z. ČNR č. 10/1993 Sb., z. č. 98/1999 Sb., (úplné znění zákona č. 231/1999 Sb.), ve znění z. č. 132/2000 Sb., z. č. 76/2002 Sb. a z. č. 320/2002 Sb.

**VYHLÁŠKA Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany ZPF.**

**Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí** a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí. Zákon upravuje posuzování vlivů na ŽP a postup fyzických osob, právnických osob, správních úřadů a územních samosprávných celků při tomto posuzování. Posuzování vlivů na ŽP podléhají v tomto zákoně vymezené záměry, jejichž provedení by mohlo závažně ovlivnit ŽP. Účelem posuzování vlivů na ŽP je získat objektivní odborný podklad pro vydání rozhodnutí, popřípadě opatření podle zvláštních právních předpisů. Tento podklad je jedním z podkladů v řízeních podle zvláštních právních předpisů. Posuzují se vlivy na obyvatelstvo a vlivy na ŽP, zahrnující vlivy na živočichy a rostliny, ekosystémy, půdu, horninové prostředí, vodu, ovzduší, klima a krajinu, přírodní zdroje, hmotný majetek a kulturní památky, vymezené zvláštními právními předpisy<sup>1)</sup> a na jejich vzájemné působení a souvislosti.

**Zákon č. 353/1999 Sb., o prevenci závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami a chemickými přípravky a o změně zákona č. 425/1990 Sb., o okresních úřadech, úpravě jejich působnosti a o některých dalších opatřeních s tím souvisejících, ve znění pozdějších předpisů.** Zákon stanoví systém prevence závažných havárií pro objekty a zařízení, v nichž je umístěna vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek v množství stejném nebo větším, než je množství uvedené v příloze č. 1. Dále zákon upravuje povinnosti právnických osob a fyzických osob, které vlastní nebo užívají objekt nebo zařízení, způsob zařazení objektu nebo zařízení do příslušných skupin podle umístěného druhu a množství vybrané nebezpečné chemické látky nebo chemického přípravku, poskytování informací veřejnosti při prevenci závažných havárií v objektu nebo zařízení, v němž je umístěna vybraná nebezpečná chemická látka nebo chemický přípravek a výkon státní správy na úseku prevence závažných havárií způsobených vybranými nebezpečnými chemickými látkami nebo chemickými přípravky.

Tento zákon se nevztahuje na vojenské objekty a vojenská zařízení, skládky odpadů, silniční, železniční a vodní dopravu mimo objekty a zařízení a na leteckou dopravu, včetně dočasného skladování, nakládky a vykládky během dopravy, přepravu v potrubích, vč. souvisejících přečerpávacích stanic postavených mimo objekt a zařízení a geologické práce, hornickou činnost a činnost prováděnou hornickým způsobem rizika spojená s ionizujícím zářením.

**Zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů, jak vyplývá z pozdějších změn (úplné znění zákona je pod čís. 435/2006 Sb.)** Tento zákon stanovuje povinnosti provozovatelů zařízení, upravuje postup při vydávání integrovaného povolení, zřizuje integrovaný registr znečišťování životního prostředí, upravuje podmínky pro propojení dosavadních informačních systémů v oblasti ŽP, stanovuje působnosti orgánů veřejné správy, upravuje systém výměny informací o nejlepších dostupných technikách a stanovuje sankce za porušení povinností. Zákon se nevztahuje na znečištění způsobené vniknutím radioaktivních látek do ŽP, vypouštění radioaktivních látek a na nakládání s geneticky modifikovanými organismy.

K tomuto zákonu byly vydány prováděcí předpisy:

**Nařízení vlády č. 368/2003 Sb., o integrovaném registru znečišťování.**

**Vyhláška č. 554/2002 Sb., kterou se stanoví vzor žádosti o vydání o integrovaném povolení, rozsah a způsob jejího vyplnění.**

**Vyhláška č. 572/2004 Sb., kterou se stanoví forma a způsob vedení evidence podkladů nezbytných pro ohlašování do integrovaného registru znečišťování.**

## 4 Sanace horninového prostředí oblasti ovlivněné chemickou těžbou

Již od začátku likvidace následků chemické těžby bylo jasné, že sanace kontaminace bude nákladný a dlouhodobý proces, ve kterém bude rozhodujícím faktorem míra vyčištění horninového prostředí a podzemních vodonosných horizontů. Bylo přijato řešení spočívající ve vyčerpání asi 3,5 mil. t kontaminantů z podzemí a v jejich zpracování na povrchu. Výsledkem jsou produkty, které lze využít (např. síran hlinitý) nebo bezpečně uložit (např. solidifikát) a voda vypouštěná do Ploučnice.

Po zjištění podrobnějších údajů o rozsahu kontaminace obou zvodnělých horizontů a mechanismu jejího šíření, byl od roku 1995 zahájen podrobnější hydrogeologický výzkum a průzkum. Avšak získané údaje byly nedostačující pro vyhodnocení jednoho ze základních hydrogeologických problémů této oblasti a to přetoku vod mezi turowskou a cenomanskou geologickou zvodni.

Spodní cenomanská vrstva obsahuje loužící roztoky a vytváří stálý tlak na turowský kolektor, který je v několika vzdálenějších lokalitách využíván jako zdroj pitné vody pro celou oblast Českolipska. Oba horizonty jsou vzájemně odděleny pouze vrstvou polopropustných hornin. Pro udržení kontaminovaných důlních vod v cenomanské zvodni, které obsahují chemikálie po podzemním loužení uranu, odděleně od turowské zvodně a zamezení její kontaminace, čerpá DIAMO, s. p. důlní vody z cenomanu z hloubek až 350 metrů [7].

### 4.1 Cíle a současný stav sanace

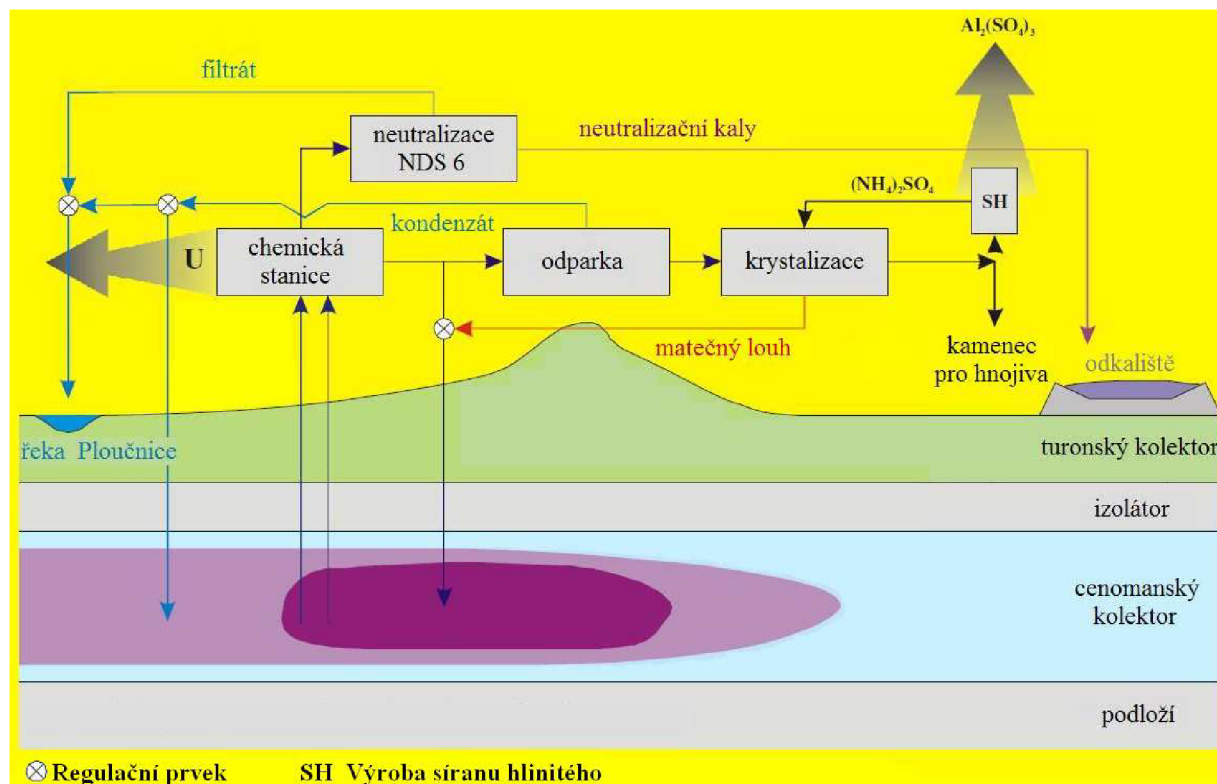
Za hlavní cíle sanace následků po chemické těžbě uranu lze považovat [2]:

- snížení koncentrace kontaminantů v cenomanských a turowských zvodních na úroveň umožňující trvalé využívání turowských vod pro zásobování pitnou vodou ve stávajících lokalitách v severočeské křídě. To znamená, že technologie úpravy těchto vod musí být řešitelná běžnými postupy na úpravu vody používanými ve vodárenství.
- likvidaci všech vrtů a stavebních objektů, včetně instalovaných zařízení v celé oblasti chemické těžby
- začlenění povrchu vyluhovacích polí do ekosystému s ohledem na regionální systémy ekologické stability a plány regionálního rozvoje

Vlastní sanační činnost byla rozdělena na dvě období. V prvním jde pouze o zamezení rozšíření kontaminace do neovlivněných míst ve vertikálním směru, tzn. z cenomanu do turownu. Tohoto cíle je dosaženo vytvořením podbilance roztoků v ložisku. Kontaminace buď není likvidována vůbec, nebo jen v malé míře a její celkový objem v horninovém prostředí se nemění. Druhé období již zahrnuje nejen vytváření podbilancí roztoků, ale také zpracování kontaminantů a postupné snižování podzemní kontaminace až na stanovenou úroveň.

Jako základní přístup v probíhajícím sanačním procesu je použita metoda vyvedení kontaminantů z podzemí - cenomanského kolektoru - a jejich následné přepracování na

hospodářsky využitelné produkty či jejich ekologické uložení na povrchu. Konkrétně se jedná o následující postup, jehož průběh je znázorněn na zjednodušeném schématu (viz obr. 4.1 [4]).



Obr. 4.1 Zjednodušené schéma procesu sanace v současnosti

Zbytkové technologické roztoky jsou z podzemí čerpány na chemickou stanici, kde je z nich separován rozpuštěný uran. Poté je část roztoků vedena do komplexu SLKR I (stanice likvidace kyselých roztoků), který tvoří odpařovací stanice a krystalizace kamence. V odpařovací stanici je roztok koncentrován a následně je z koncentrátu krystalizačním procesem získán kamenec. Část kamence je poté expedována pro výrobu hnojiv a část je přepracována na síran hlinitý a síran amonný. Čistý kondenzát - destilovaná voda - z odparky je z části využíván v technologiích o. z. TÚU jako technologická voda, z větší části je pak při plnění stanovených limitů vypouštěn do veřejné vodoteče - řeky Ploučnice. Matečný louh (ML) – zbytkový roztok po krystalizaci kamence – je v současné době vtlačěn zpět do podzemí. Další část vyčerpaných zbytkových technologických roztoků je po sorpci uranu vedena do neutralizační stanice NDS 6, kde je vyčištěna a následně vypouštěna do řeky Ploučnice. Zbytky po neutralizaci - neutralizační kaly jsou ukládány na odkališti.

Samostatnou kapitolou sanačních prací je sanace turonské zvodně, v níž se nachází cca množství 0,5 % celkové kontaminace [3]. Na její likvidaci bylo využíváno především přímé vtlačení do cenomanské zvodně na vyluhovacích polích nebo vtlačení do hydraulické bariéry. Od roku 2001 se pro likvidaci turonských vod s vyšším obsahem kontaminace využívá neutralizační dekontaminační stanice NDS 6, která byla postupně začleněna mezi sanační technologie a

zpracovává kromě turonských vod také vody odkalištní a částečně i vody cenomanské. Sanace turonu by měla být ukončena před vyčištěním cenomanského kolektoru.

## 4.2 Prognóza

V rámci průzkumných prací byla v roce 2008 vypracována řada simulačních výpočtů, kde jsou zohledněny výsledky ověřovacích prací z let 2005 – 2007. Základním tématem těchto prací řešených v o. z. TÚU Stráž pod Ralskem je příprava nových sanačních technologií, imobilizace kontaminantů in-situ, ověřování stavu horninového prostředí a hodnocení vlivu a vazeb dosud prováděné dekontaminace na stanovené cílové parametry sanace.

Na základě modelových simulací jsou průběžně prováděny korekce scénáře sanace, který zajistí ukončení sanace do roku 2035. Tento scénář lze charakterizovat v následujících třech základních etapách [2]:

### 1. *Etapa 2010 - 2012*

Tato etapa je charakteristická především provozem nové sanační neutralizační technologie NDS ML. Zprovozněním technologie pro likvidaci matečných louhů (NDS ML) dojde k zvýšení množství vyváděných kontaminantů z cenomanské zvodně a podbilance v ploše vyluhovacích polí (VP). Čerpané množství zbytkových technologických roztoků dosáhne úrovně  $5 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ . Bude ukončeno zpětné vtláčení matečných louhů včetně potřebných ředících roztoků po sorpci uranu.

Vzhledem k potřebě zachovat optimální hydraulický režim v cenomanské zvodni bude nezbytně nutné zajistit vtláčení vyčištěných důlních vod do oblasti bývalého dolového pole Dolu Hamr I.

Technologií NDS ML bude ročně možné vyvést až 120 tis. tun rozpuštěných látek (RL). Vedle této technologie bude v provozu i chemická stanice (CHS) – separace uranu – a NDS 6. Provozem NDS 6 bude ročně vyváděno až 20 tis. tun RL.

Kamenec vyráběný z vyčerpaných vod bude přepracován na síran hlinitý a na průmyslová hnojiva. Předpokládá se celková výroba 40 tis. tun kamence za rok.

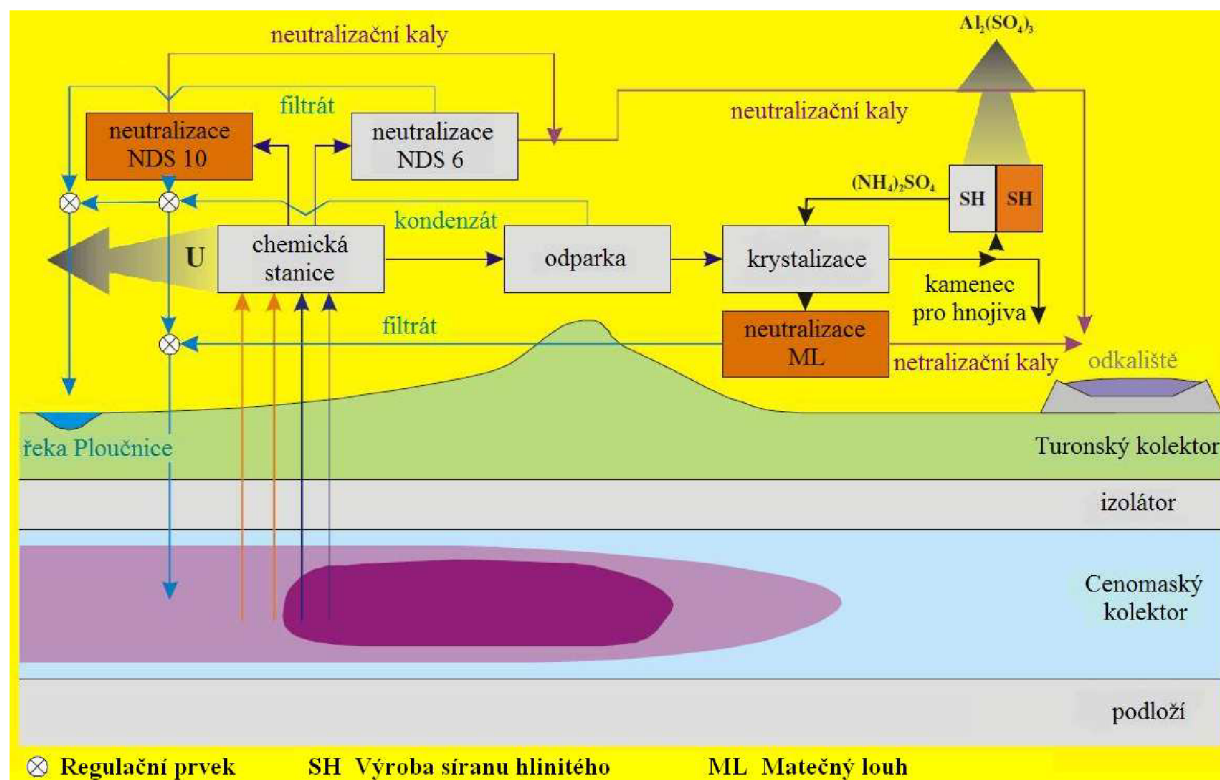
### 2. *Etapa 2013 - 2020*

V průběhu tohoto období se předpokládá významný pokles koncentrace kontaminantů ve zbytkových technologických roztocích, který následně ovlivní dobu provozování SLKR I.

V roce 2013 zahájí provoz neutralizační technologie NDS 10 pro zpracování zbytkových technologických roztoků o nižší koncentraci. Sliv z NDS 10 bude zpětně vtláčen do horninového prostředí v oblasti bývalého Dolu Hamr I. Vzhledem k přirozenému směru proudění podzemních vod jihozápadním směrem se předpokládá v závěrečné fázi sanace pohyb alkalických vod z oblasti dolového pole do VP a do oblasti zasažené rozptylem zbytkových technologických roztoků. Tak bude přirozenou cestou v ložisku podpořen pozitivní imobilizační efekt. Počet provozovaných linek nové sanační technologie NDS 10

bude upraven na základě stanovených cílových parametrů sanace. Předpokladem však je, že v provozu bude minimálně jedna linka.

Předpokládaný průběh sanace po roce 2013 je uveden na následujícím schématu (obr. 4.2 [4]).



Obr. 4.2 Zjednodušené schéma procesu sanace po roce 2013

Koncem této 2. etapy bude ukončena výroba kamencec a další provoz SLKR I bude záviset na míře inkrustace zařízení a chemismu zbytkových technologických roztoků. NDS ML by měla zpracovávat množství  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$  zbytkových technologických roztoků, jejichž složení bude záviset na případném režimu provozu SLKR I.

Kolem roku 2018 bude nezbytné pečlivě vyhodnocovat rychlost stoupání hladiny cenomanské zvodně v ploše Dolu Hamr I a v případě potřeby přesunout vtlačení alkalických roztoků z plochy Dolu Hamr I do plochy VP a do hydrobariéry Stráž. Tímto krokem by měla být zahájena postupná imobilizace kontaminantů v ložisku.

### 3. Etapa 2021 – 2035

Skladba a náplň činnosti v rámci této časově vzdálené etapy bude upřesněna během 2. etapy sanačních prací. Zde jsou pouze uvedeny předpokládané rámcové činnosti.

Po snížení koncentrace rozpuštěných látek v odčerpaných zbytkových technologických roztocích se počítá s ukončením provozu SLKR I a s čerpáním zbytkových roztoků k přímé neutralizaci v technologii NDS ML a NDS 10. Tímto způsobem bude možno po roce 2020



ročně vyvádět až 55 000 tun RL. Ke stabilizaci hydraulické situace v cenomanské zvodni postačí v tomto období podbilance ve výši  $3 \text{ m}^3 \cdot \text{min}^{-1}$ .

Dosud stanovených předběžných cílových parametrů sanace bude dosaženo po roce 2035 vyvedením více než 3 mil. tun RL, což bude spojeno s vyprodukováním a uložením cca 8,5 mil.  $\text{m}^3$  neutralizačních kalů. Jen pro představu to přibližně odpovídá množství rmutu uloženého v odkališti K1 v Dolní Rožínce.

Následně bude zahájena likvidace vrtů, povrchových objektů, technická a biologická rekultivace všech území dotčených těžbou uranu ve Stráži pod Ralskem.

## 5 Technologie zpracování odčerpaných důlních vod z podloží

Sanace horninového prostředí je dlouhodobá a technologicky náročná záležitost. Nejsložitějším a zároveň nejdůležitějším úkolem je zpracování kontaminovaných důlních vod, které byly odčerpány z podloží a jejich vyčištění na úroveň umožňující jejich vypouštění do vod povrchových ve smyslu platného zákona o vodách. Pro realizaci tohoto záměru byly zvoleny dva základní technologické postupy [12]:

- Čerpání a odpaření roztoků, separace kamence hlinito-amonného a jeho přepracování na hospodářsky využitelné produkty, likvidace roztoků po krystalizaci kamence
- Čerpání roztoků a jejich neutralizace v zařízení na povrchu s následným uložením neutralizačních kalů do zabezpečených prostorů

Vedle uvedených dvou hlavních sanačních technologií byly od roku 1996 v provozu TÚU ve Stráži pod Ralskem realizovány další investice využívané při sanaci, např. nově provedené čerpací vrty do turonské zvodně, nové širokoprofilové čerpací vrty do cenomanského horizontu, další monitorovací vrty, expedice kamence aj.

Pomocí matematického modelu byly stanoveny předběžné cílové parametry sanace, tzn. množství a koncentrace látek, které mohou zůstat v kolektoru po ukončení sanace. Přijatelné množství představuje asi 30 % současného stavu. Na základě výpočtů pro různé zbytkové koncentrace byla jako předběžný cílový parametr sanace stanovena průměrná zbytková koncentrace  $8 \text{ g.l}^{-1}$  rozpuštěných látek. Definitivní parametr bude stanoven podle výsledků výzkumných a ověřovacích prací v roce 2010. Dosažení předběžného cílového parametru ve zpracované koncepci sanace předpokládá vyvedení cca 3,4 milionu tun rozpuštěných látek z cenomanského kolektoru. Podle dosavadního průběhu sanace je možno očekávat, že polovinu těchto látek bude možno efektivně vyvést ve formě kamence, pro druhou část se jeví jako nejvhodnější neutralizační technologie, kdy získaný filtrační koláč bude spolu s produktem likvidace matečných louhů z krystalizace kamence ukládán na odkališti a vyčištěný roztok bude z části vypouštěn do vodoteče a část vtlačena zpět do podzemí [12].

Odčerpávání a zpravování důlních vod z podzemí je sice nejdůležitější částí likvidačních prací, ale současně musejí po celou dobu probíhat také ostatní likvidační práce, jako jsou např. likvidace vrtů a dalších nepotřebných objektů na povrchu, průběžné technické a biologické rekultivační práce dotčeného území atd.

### 5.1 Odpařování kyselých roztoků a separace kamence

Jako první sanační technologie zpracování odčerpaných roztoků byla v roce 1996 [3] uvedena do provozu stanice likvidace kyselých roztoků I (SLKR I), tzv. odpařovací stanice, která je zobrazena na obr. 5.1 [9]. Její činnost je nejdůležitější částí pro udržení podbilance v oblasti ovlivněné těžbou.



Obr. 5.1 Stanice likvidace kyselých roztoků

SLKR I zahrnuje tři odpařovací kolony a stupně krystalizace a rekrystalizace kamence. Její činnost je možné velice zjednodušeně popsat takto:

- Roztoky čerpané z vyluhovacích polí jsou na chemické stanici zbaveny uranu a čerpány do SLKR I.
- Produktem SLKR I, je kondenzát, který produkuje odpařovací stanice při zahušťování roztoků do koncentrátu.
- Vypouštěním kondenzátu do vodoteče (Ploučnice) vznikne při zpětném vtlačení koncentrovaných roztoků do plochy vyluhovacích polí potřebná podbilance cenomaských roztoků a zabrání se jejich rozšiřování mimo zájmovou oblast VP.
- Dále SLKR I produkuje síran hlinito-amonný  $\text{NH}_4\text{Al}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  (kamenec) s nominální kapacitou produkce 180 000 tun/rok [13], který vzniká krystalizací ochlazeného koncentrátu a matečné louhy.

V období let 1996 až 2001 byla SLKR I využívána téměř výhradně pro navození hydraulické podbilance. V tomto období bylo do Ploučnice vypuštěno kolem 4,5 mil.  $\text{m}^3$  kondenzátu [3].

Jelikož do roku 2001 nebyly následné technologie přepracování kamence ještě v plné šíři realizovány, tak se kamenec využíval hlavně jako sanační materiál pro odkaliště.

Od roku 2002 byl však zahájen zkušební provoz technologické linky na přepracování kamence SLKR II a v roce 2006 byla linka už v plném provozu.

### 5.1.1 Přepřacování kamence v provozu SLKR II

Kamenec je snadno vodorozpustná sloučenina a není jej tedy možné bez předchozí úpravy volně deponovat. Jedním z možných způsobů úpravy kamence je jeho přepřacování na komerčně využitelné produkty. V technologii SLKR II je využito tepelné dvoustupňové přepřacování kamence na síran hlinitý a v procesu vzniklé odpadní plyny jsou přepřacovány na síran amonný. Síran hlinitý je využíván jako koagulační sloučenina při čištění pitných i odpadních vod a ve výrobě papíru. Síran amonný je dávkován do procesu SLKR I ke zvýšení výtěžnosti krystalického kamence. Vznikající teplo slouží k vytápění Stráže pod Ralskem. Pohled do provozu SLKR II je uveden na následující fotografii (viz obr. 5.2 [9]).



Obr. 5.2 Technologie přepřacování síranu hlinito-ammoného v provozu SLKR II

Tepelné zpracování kamence je založeno na tepelném rozkladu, kdy při teplotě 600–700 °C dojde k odloučení amoniaku jako plynné složky a z procesu vzniká bezvodý síran hlinitý, tedy prodejný produkt. Pouhý tepelný rozklad krystalického kamence není však možný bez jeho předchozí úpravy. Krystalický kamenec obsahuje ve své struktuře 12 molekul krystalické vody a ta způsobuje, že při zahřívání kamenec taje ve vlastní krystalické vodě na vysoce agresivní vazkou kapalinu, která se mění na houževnaté inkrusty zalepující technologické zařízení. Využitá dvoustupňová technologie v prvním stupni dehydratuje krystalický kamenec na bezvodý, tj. zbaví jej zmíněné krystalické vody a nepříjemné vlastnosti přecházejí v taveninu, ve druhém stupni je bezvodý kamenec rozložen na síran hlinitý, odpadní plyny a horké čisté spaliny.

Průchodem chladicího zařízení je síran hlinitý ochlazen z 600 °C na 40 °C a následně dopravován do skladovacích a expedičních sil. Ze sil jsou plněny výsypným zařízením automobilové cisterny odběratele. Odpadní plyny jsou ve vysokoteplotním filtru zbaveny prachu a průchodem Venturiho trubice jsou ochlazeny z teploty 400 °C na 70 °C. Následně je v absorpční jednotce získán roztok siřičitanu amonného, který je dále přepracován na síran amonný. Roztok síranu amonného je čerpán do SLKR I, kde je využit ke zlepšení podmínek v technologii krystalizace kamence. Čisté, horké spaliny o zbytkové teplotě 550 °C jsou odsávány ventilátorem přes předřazený tepelný výměník, který je napojen na rozvody topné soustavy střediska výroby rozvodu tepla. Takto získané teplo je využito pro vytápění areálu o. z. TÚU a města Stráže pod Ralskem. Měsíčně se takto získá až 1200 GJ tepelné energie.

V současné době je možné v této technologii zpracovávat více než 40 t kamence denně, tj vyrábět přibližně 13 t síranu hlinitého a 5 – 8 t síranu amonného za den. Odbyt veškeré výroby je smluvně zajištěn. Stanice je obsluhována třemi zaměstnanci na směně, v nepřetržitém provozu. Řízení výroby je zajištěno řídicími počítači a operátorem na velínu [13].

### 5.1.2 Zpracování matečných louhů

Zbytkový roztok, tzv. matečný louh (ML) nebo též klarát, je po naředění vtlačěn zpět do ložiska. Tímto způsobem je při plném zajištění odbytu kamence možné vyvádět až 20 000 t kontaminantů ročně. Větší efektivitu využití technologie SLKR I v rámci sanace bude možné dosáhnout pouze v případě, kdy budou vyvedeny i kontaminanty obsažené v matečném louhu.

Na základě tohoto požadavku byly zahájeny ověřovací práce na vývoji technologie právě pro odstranění kontaminace zmatečných louhů. Z ověřovaných postupů byla až k realizaci dovedena technologie neutralizace matečných louhů s následným stripováním amoniaku vodní parou.

Tato technologie je založena na dvoustupňové neutralizaci a alkalizaci matečných louhů s postupnou separací vysrážených kontaminantů. Amonný iont přechází alkalizací na vyšší hodnoty pH do formy rozpuštěného amoniaku, což umožňuje jeho stripování (česky též „vyhánění“) vodní parou. Kondenzací vodní páry nasycené amoniakem bude připravována průmyslově využitelná čpavková voda. Kaly odvodněné soustavou kalolisů budou v podobě filtračního koláče prostřednictvím automobilové techniky ukládány do odkaliště. Zbytková alkalita matečného louhu zbaveného kontaminantů bude využívána v technologii NDS 6 popř. v rámci imobilizace kontaminantů in-situ. Realizací technologie pro zpracování matečných louhů vzroste množství vyváděných kontaminantů procesem tepelného zahušlování zbytkových technologických roztoků o více než 120 tis. t ročně [14].

Srdcem nové technologie bude provozní soubor „Neutralizace“, kde bude ve třech linkách a dvou stupních probíhat neutralizace a alkalizace zahuštěných roztoků čerpaných ze SLKR I a dále provozní soubor „Filtrace“, kde bude vzniklá suspenze filtrována celkem osmi kalolisy. Filtrát (nazývaný též sliv) bude čerpán do provozního souboru „Stripování a absorpce amoniaku“, kde z něho bude vodní parou v koloně s vestavbou odstraňován amoniak. Takto vyčištěný filtrát bude čerpán do nově vybudované čerpací stanice umístěné v linii hydrobariery Stráž. Tato nová čerpací stanice, která bude zajišťovat distribuci filtrátu a dalších roztoků, nahradí stávající čerpací

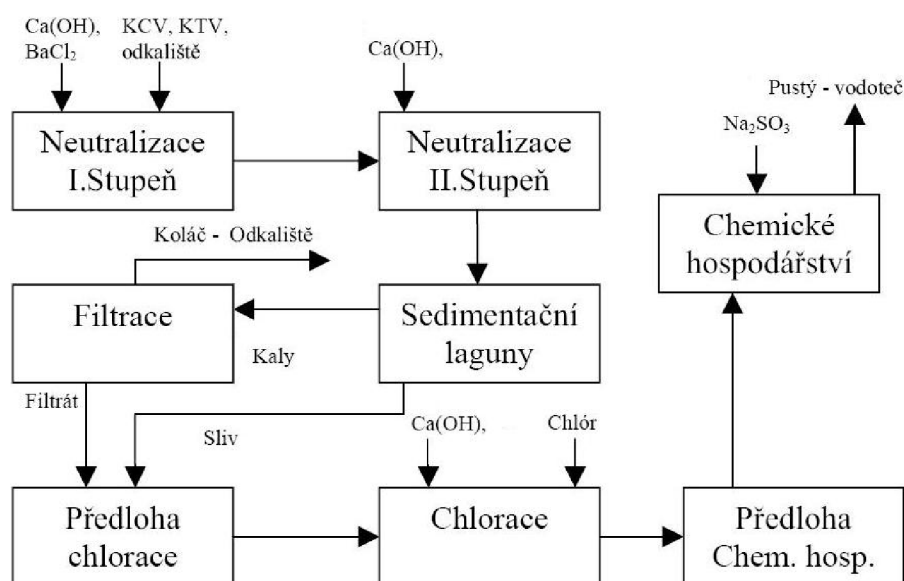
stanici ČS-3. Filtrační koláč bude z kalolisů vynášen pomocí redlerů na nákladní automobily, jimiž bude odvážen k uložení do II. etapy odkaliště.

Technologie „Zpracování matečných louhů“ (označována též jako NDS ML) je technologií uzavírající proces vyvážení kontaminantů prostřednictvím tepelného zahušťování zbytkových technologických roztoků s následnou krystalizací kamence. Zprovoznění stavby je jedním z důležitých kroků k dokončení komplexu sanačních technologií, které umožní dosažení bezpečného stavu v horninovém prostředí zasaženého chemickou těžbou uranu. Do zkušebního provozu by měla být stavba uvedena na přelomu roku 2009 a 2010 [14].

## 5.2 Neutralizace kyselých roztoků

Druhou hlavní technologií pro zpracování důlní vody je neutralizační stanice NDS 6, která byla od roku 2000 trvale využívána pro likvidaci kyselých turonských vod (KTV) z kontaminovaných čoček v oblasti vyluhovacích polí (VP). Po ověřovacích pokusech v letech 2002 a 2003 se zpracováním kyselých cenomanských vod (KCV) a s využitím vod čerpaných z odkaliště bylo zahájeno zpracování KTV, KCV a vod z odkaliště [15].

V souvislosti s úpravou koncepce při sanaci ložiska po chemické těžbě uranu na DCHT se předpokládá vyšší využití neutralizačních technologií. K maximálnímu využití kapacity stávající neutralizační technologie na NDS 6 byla v roce 2005 zahájena rekonstrukce technologie, která byla dokončena v červenci 2006 a od 1. prosince 2006 stanice pracuje na plný výkon. Tzn., že NDS 6 může zpracovávat až 5,5 m<sup>3</sup>/min kontaminovaných vod o celkové solnosti do 10 g/l rozpuštěných látek. Provoz stanice se předpokládá do roku 2035, kdy by mělo být dosaženo předpokládaného cílového parametru sanace, tj. dosažení průměrné zbytkové koncentrace 8 g/l rozpuštěných látek v kontaminovaném cenomanském horizontu ložiska Stráž [15].



Obr. 5.2 Schéma neutralizační technologie NDS 6

Princip technologie NDS 6, který je znázorněn na předchozím schématu (viz obr. 5.2 [15]), spočívá ve dvou-stupňové neutralizaci odčerpaných kyselých roztoků suspenzí vápenného mléka. V prvním stupni je reakce kontaminovaných vod s vápenným mlékem vedena do hodnoty pH cca 7, kde je pro odstranění radia koprecipitací se síranem barnatým dávkován také chlorid barnatý. Pro zajištění dostatečného proreagování směsi postupuje vysrážená suspenze bez oddělení pevné fáze do zracích nádrží, odkud pak vstupuje do druhého stupně neutralizace, kde je dávkováno vápenné mléko do hodnoty pH cca 11,5. Takto vysrážená suspenze natéká do sedimentačních lagun, kde dochází k oddělení pevné a kapalné fáze.

Pevná fáze - neutralizační kaly jsou ze sedimentační laguny přiváděny pomocí kalových čerpadel do kalolisů, kde dochází k filtraci. Filtrační koláč je prostřednictvím soustavy „redlerů“ dopravován na přepravní návěsy, odkud je převážen k uložení na odkaliště CHÚ. Filtrát z kalolisů je zaveden do předlohové nádrže chlorace.

Kapalná fáze - čirý sliv je ze sedimentačních lagun veden přes halu chemického hospodářství rovnou do předlohové nádrže chlorace.

Provoz chlorace je nejsložitější částí technologického procesu. Při tomto procesu dochází k odbourávání amonných iontů reakcí s plynným chlorem za vzniku výchozího media, kterým je kapalný chlor. Upravená voda po dechloraci je z NDS 6 vypouštěna přes nádrž Pustý do vodoteče. Pro vypouštění vod na výpustním profilu Pustý jsou stanoveny „Rozhodnutím“ odborem životního prostředí a zemědělství, limity pro množství a kvalitu vypouštěných vod.

## 6 Odpařování čerpaných roztoků ve Stráži pod Ralskem

Pro odpařování vyčerpaných důlních roztoků jsou v provozu SLKR I instalovány tři identické odparky, které pracují na principu splývajícího filmu. Dodavatelem odparek byla v roce 1996 firma Resources Conservation Company, která fúzovala do GEWPT - RCC Thermal product. Projektovaná konfigurace tohoto zařízení je zapojení všech tří odparek paralelně.

Pro představu o rozměrech takového zařízení, je zde uveden snímek (obr. 6.1 [9]) z provozu SLKR I a venkovní snímek (obr. 6.2 [5]) pořízený z protější budovy.



Obr. 6.1 Filmová odparka



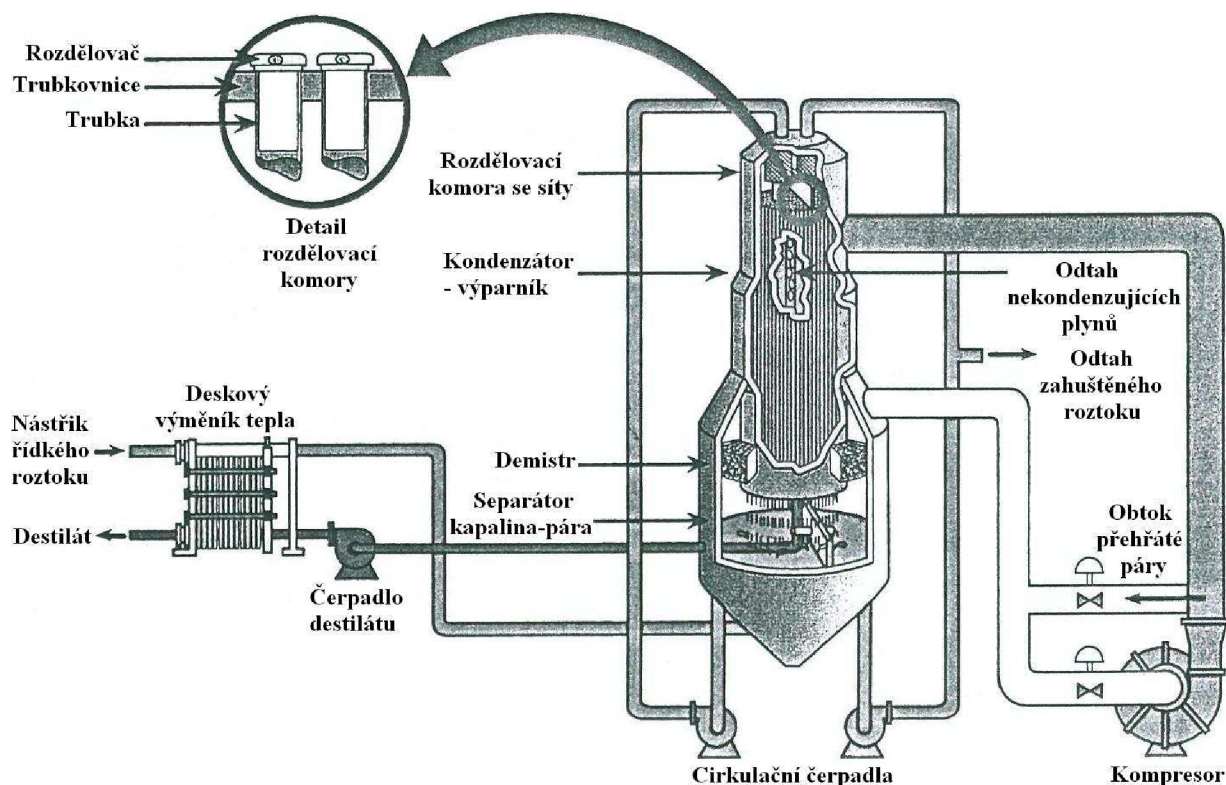
Obr. 6.2 Horní sekce odparek

### 6.1 Princip funkce konvenčních odparek

Jak ukazuje schematický náčrt (obr. 6.3) těleso odparky je vnitřně geometricky rozděleno na dvě sekce. Každá sekce pracuje s nucenou cirkulací roztoku zajišťovanou oběhovým čerpadlem. Řídký roztok je nastříkáván do zádržové komory první sekce. Čerpadlo nasává z této komory roztok a dopravuje jej do horní rozdělovací komory. Proud roztoku je v horní části rozdělovací komory zpomalen a postupně uklidněn sítí, pod kterými se vytvoří klidná hladina roztoku. Tím je zajištěno, aby každou trubkou kondenzátoru odparky proudilo stejné množství roztoku. Trubky kondenzátoru, zaústěné do horní trubkovnice, jsou opatřeny rozdělovačem se dvěma otvory. Aby roztok proudící otvory vytvářel na vnitřním povrchu trubky splývající film, jsou otvory vyoseny,



tak že, roztok vstupuje tangenciálně. Trubky jsou otápěny parou, která na jejich vnějším povrchu kondenzuje. Při toku roztoku splývajícím filmem se vodní podíl odpařuje a tím se roztok zahušťuje. Na spodním konci trubek je dvoufázový tok kapalného roztoku a generované brýdové páry.



Obr. 6.3 Schéma principu vertikální odparky se splývajícím filmem

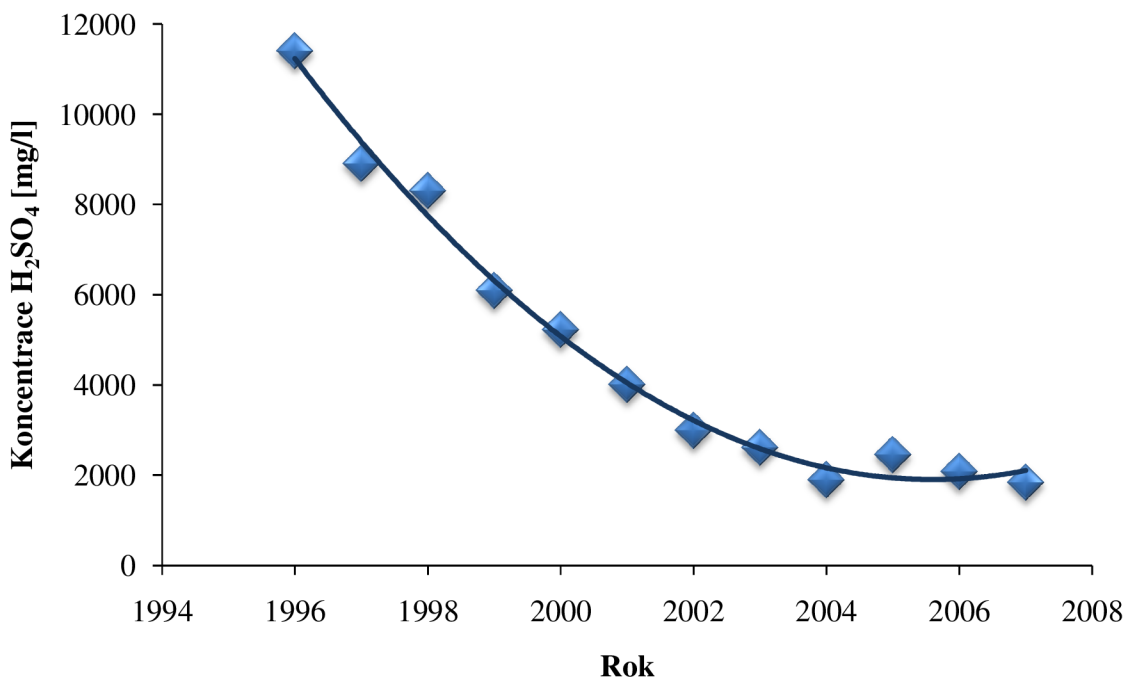
Částečně zahuštěný roztok v první sekci proudí přešlapovými otvory přepážky do zádržové komory druhé sekce. Funkce oběhového čerpadla a rozvaděčů roztoku je stejná jako v první sekci. Zde dochází k dalšímu zahušťování roztoku. Odtah zahuštěného roztoku z odparky je zajišťován potrubní odbočkou ze stoupací trubky na výstupu oběhového čerpadla druhé sekce.

V prostoru pod spodní trubkovnicí se oddělí generovaná brýdová pára od zahušťovaného roztoku a je nasávána kompresorem (3,4 MW) [16] přes demister, kde se zachytí kapičky roztoku. V kompresoru je pára stlačena tak, že teplota se pohybuje kolem hodnoty 130 °C. Aby nedocházelo k únosu kapiček do sání kompresoru, část přehřáté páry vystupující z kompresoru se vrací do sání, takže jsou kapičky odpařeny. Kompresorem stlačená pára je pak zavedena do pláště odparky a stává se parou topnou, takže kondenzuje na vnějším povrchu trubek. Kondenzát nebo vlastně destilát se shromažďuje v prostoru spodní trubkovnice. Odtud je odváděn čerpadlem a hnán do dekového výměníku tepla, kde v protiproudu odevzdá řídkému roztoku určité teplo. Slouží tak jako přehřev nástríku řídkého roztoku do odparky.

## 6.2 Vznik inkrustací na teplosměnných plochách odparek

Na počátku provozování odparek roku 1996 se koncentrace rozpuštěných látek v nástřiku pohybovala kolem 68 g/l, kde nejvýznamnější složkou roztoku je kyselina sírová ( $H_2SO_4$ ), jejíž koncentrace byla cca 11,4 g/l. Další významnou složkou v nástřiku je mimo jiné také vápník (Ca). V odparce tak začalo vznikat jisté množství síranu vápenatého ( $CaSO_4$ ) o malé koncentraci. Vzhledem k tomu, že síran vápenatý je ve vodě prakticky nerozpustný, docházelo vlivem nasycení roztoku k relativně pomalé tvorbě inkrustací na teplosměnných plochách odparek. V těchto podmínkách bylo nutné po určité době provoz odparky odstavit a provést následné čištění. Z tohoto důvodu se muselo ve velice krátké době od začátku provozování přejít k náhradnímu řešení, kdy jsou v chodu vždy jen dvě odparky. Třetí odparka se čistí. Doba trvání mezi čistícími procesy na jedné odparce se pohybovala kolem 3/4 roku.

V průběhu doby provozování odparek, které zpracovávají roztok odebíraný z cenomanského kolektoru, se koncentrace  $H_2SO_4$  postupně snižuje. To je způsobováno ředěním chemických látek v podzemí okolní nekontaminovanou vodou v důsledku „podbilance“ vytvářené čerpáním roztoku. Tyto změny lze ilustrovat grafem (obr. 6.4 [17]), který ukazuje měřené hodnoty koncentrace  $H_2SO_4$  v průběhu čerpání.

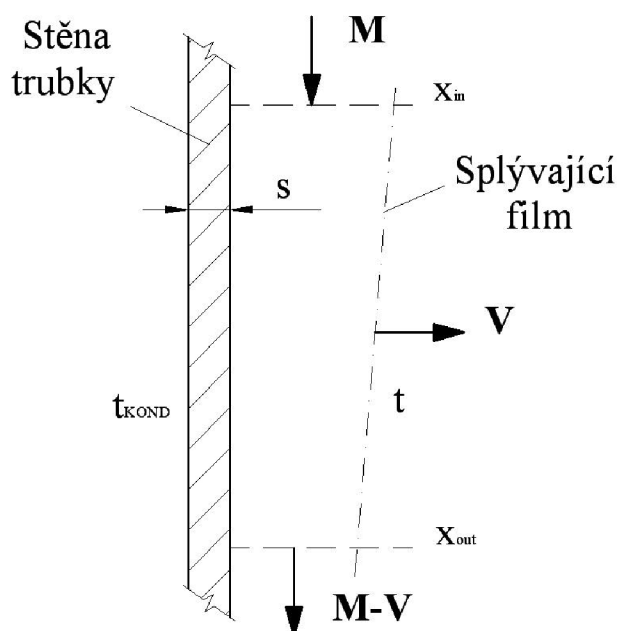


Obr. 6.4 Graf změny koncentrace  $H_2SO_4$  v období od roku 1996 do roku 2008

Podle analýz, prováděných v průběhu roku 2007, koncentrace  $H_2SO_4$  kolísala kolem hodnoty 1,835 g/l. Vzhledem k tomu, že přítomnost  $H_2SO_4$  v roztoku má výrazný vliv na tvorbu inkrustací  $CaSO_4$ , při jejím snížení dochází k rychlému růstu krystalů síranu vápenatého a to zejména v

první sekci odparky. Vzniklé krystaly síranu vápenatého v roztoku jsou oběhovým čerpadlem dopravovány k rozdělovačům, kde postupně zanášejí vstupní otvory. Tento stav je spojen s nedostatečným omočením vnitřního povrchu trubky. Dochází totiž ke ztenčení a následně i potrhání splývajícího filmu. V jednotlivých místech se lokálním odparem zvyšuje koncentrace síranu vápenatého, což je spojeno s nárůstem dalších krystalů  $\text{CaSO}_4$  – inkrustací – na vnitřním povrchu trubek.

Pro lepší pochopení problematiky tvorby inkrustací  $\text{CaSO}_4$  vlivem ztenčení splývajícího filmu je zde uveden bilanční výpočet. Předpokládejme tedy, že roztok proudí po vnitřní stěně trubky o tloušťce stěny  $s$  v průtočném množství  $M$  a koncentraci  $x_{in}$ , který přijímá určité množství tepla vlivem kondenzace topné páry o teplotě  $t_{kond}$  na vnějším povrchu trubky. Dochází tak odpařování vody v množství  $V$  z roztoku ve formě páry o teplotě  $t$  a tím k jeho zahuštění na koncentraci  $x_{out}$ . Grafické znázornění tohoto procesu je uvedeno na obr. 6.5.



Obr. 6.5 Proudění splývajícího filmu po vnitřní stěně trubky

Pro výpočet množství odpařené vody lze napsat rovnici:

$$V = \frac{A_{EXCH}}{r} \left( \frac{1}{\alpha_{kond}} + \frac{s}{\lambda_{stěny}} + \frac{1}{\alpha_{varu}} \right)^{-1} \cdot (t_{kond} - t) \quad (6.1)$$

Při změně průtočného množství roztoku  $M$  se mění součinitel přestupu tepla na straně roztoku  $\alpha_{varu}$  jen málo. Je hlavně závislý rychlosti proudění páry odpařené z roztoku. Součinitel přestupu tepla na straně páry  $\alpha_{kond}$ , tepelná vodivost stěny  $\lambda_{stěny}$  a teplosměnná plocha  $A_{EXCH}$  se v podstatě nemění. Kvůli zjednodušení je pro roztok zvoleno výparné teplo vody  $r$ , které uvažujeme také konstantní. Pak lze tedy říct, že množství odpařené vody je na úseku trubky konstantní. Takže:

$$V = konst. \quad (6.2)$$

Podle hmotnostní bilance můžeme napsat rovnici:

$$M \cdot x_{in} = (M - V) \cdot x_{out} \quad (6.3)$$

ze které vyjádříme výstupní koncentraci zahuštěného roztoku  $x_{out}$ :

$$x_{out} = \frac{M}{M - V} \cdot x_{in} = \frac{\frac{M}{V}}{\frac{M}{V} - 1} \cdot x_{in} \quad (6.4)$$

Předpokládejme, že množství roztoku je např. 2,5 krát větší než množství odpařené vody tedy:

$$\frac{M}{V} = 2,5 \quad (6.5)$$

pak po dosazení vyjde výstupní koncentrace roztoku  $x_{out}$ :

$$x_{out} = \frac{2,5}{2,5 - 1} \cdot x_{in} = \frac{5}{3} \cdot x_{in} \quad (6.6)$$

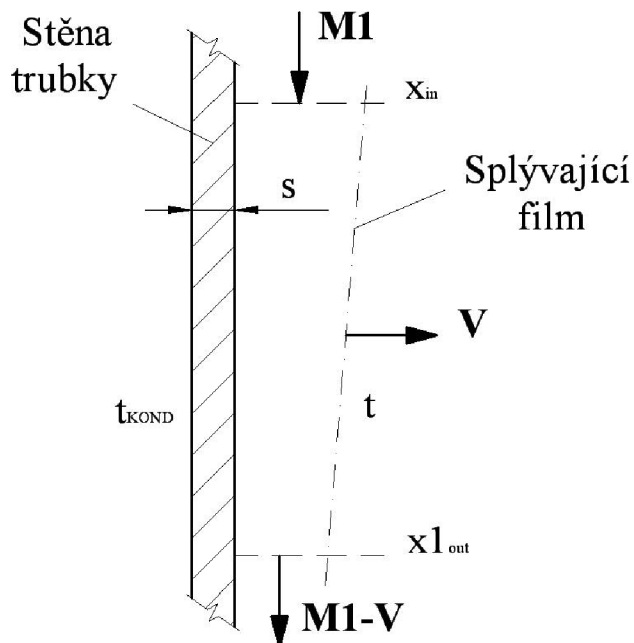
Ovšem při zmenšení tloušťky splývajícího filmu vlivem zanášení vstupních otvorů rozdělovačů, dojde k snížení průtočného množství roztoku na hodnotu  $M1$ , která je např. dvakrát menší než původní. Při stejném množství odpařené vody  $V$  z roztoku a stejné vstupní koncentraci  $x_{in}$  pak dochází k většímu zahuštění, tedy ke zvýšení koncentrace roztoku na výstupu  $x1_{out}$ . Tzn., že:

$$M1 = 0.5M \Rightarrow \frac{M1}{V} = 1,25 \quad (6.7)$$

pak bude koncentrace roztoku na výstupu  $x1_{out}$ :

$$x1_{out} = \frac{M1}{M1 - V} \cdot x_{in} = \frac{\frac{M1}{V}}{\frac{M1}{V} - 1} \cdot x_{in} = \frac{1,25}{1,25 - 1} \cdot x_{in} = 5 \cdot x_{in} \quad (6.8)$$

Grafické znázornění tohoto procesu je uvedeno na obr. 6.6.



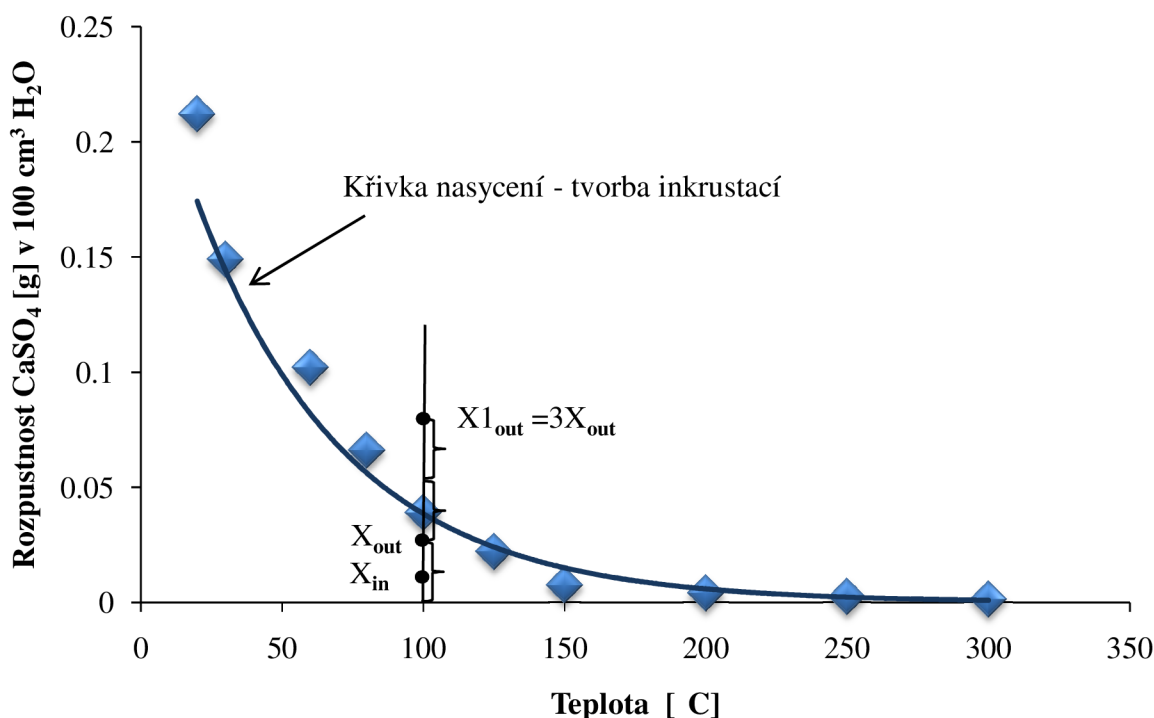
Obr. 6.6 Proudění ztenčeného splývajícího filmu po vnitřní stěně trubky

Když srovnáme výstupní koncentrace obou případů, dojdeme k závěru, že koncentrace roztoku se sníženou tloušťkou splývajícího filmu je třikrát větší než koncentrace prvního případu:

$$\frac{x_{1out}}{x_{out}} = \frac{\frac{5}{3} \cdot x_{in}}{5 \cdot x_{in}} = 3 \Rightarrow x_{1out} = 3 \cdot x_{out} \quad (6.9)$$

Při zahušťování roztoku dochází také ke zvyšování koncentrace síranu vápenatého, jehož závislost rozpustnosti na teplotě je inverzní. Tzn., že při zvyšování teploty má tendenci k rychlejší tvorbě krystalů.

Předpokládejme, že při trojnásobném zvyšování koncentrace roztoku dojde také k zvýšení koncentrace síranu vápenatého na trojnásobek. Jak je vidět na grafu rozpustnosti CaSO<sub>4</sub> (obr. 6.7 [17]), kde je trojnásobné zvýšení koncentrace znázorněno pro teplotu 100 °C, příčina tvorby inkrustací síranu vápenatého by mohla být v úzké souvislosti se ztenčením splývajícího filmu.



Obr. 6.7 Graf závislosti rozpustnosti síranu vápenatého na teplotě

Vzhledem k rychlejší tvorbě inkrustací než v minulém období, vede tento stav k nutnosti častějšího odstavování odparek spojené s procesem čištění.

Čištění zanesených odparek se provádí dvěma následující způsoby:

- mechanicky - průlezem pro údržbu ve spodní části tělesa se musí vlézt dovnitř a krystaly síranu vápenatého doslova odtamtud vysekat nebo vykopat. Nánosy krystalů mohou dosahovat i 1 m<sup>3</sup>.
- chemicko-tepelně - po vyčištění nástřikové komory se do trubek kondenzátoru odparky se pouští proud horké kyseliny dusičné s dalšími chemickými přísadami, čímž by se měly dokonale propláchnout. Cirkulace chemických látek v odparce probíhá stejně jako při zahušťování roztoku důlní vody ovšem bez otápění trubek kondenzátoru parou.

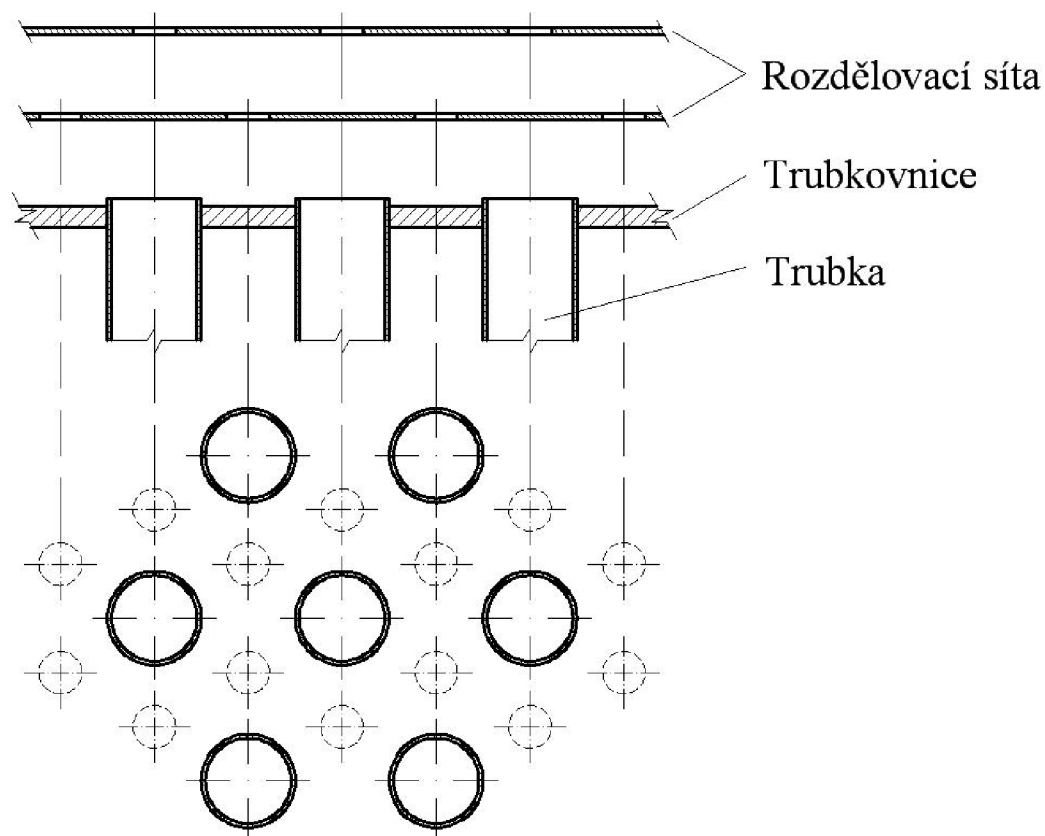
Podle sdělení operátorů v provozu SLKR I však nedochází v procesu čištění k odstranění nánosů v tvorech plastových rozdělovačů, které jsou tímto méně průchodné pro roztok při zahušťování. To by mohlo mít také podstatný vliv na rychlost tvorby inkrustací a následné zanášení a tudíž i na dobu cyklu mezi čištěními, která se nyní zkrátila pro jeden aparát na cca dva měsíce. Dalším důsledkem častého zanášení je dlouhodobé odstavení jedné z odparek, na které se nyní provádí opravy většího rozsahu, což má za následek provoz jen dvou aparátů. V případě, že se na jedné z nich provádí běžné čištění, v provozu je pouze jedna odparka.

## 7 Možnosti snížení rychlosti tvorby inkrustací na teplosměnných plochách odparek

Jak již bylo shora řečeno, v provozu odparek v době bezprostředně po jejich instalaci délky intervalů jejich odstavení v důsledku zanášení teplosměnných ploch byly přijatelné. V tomto období se koncentrace  $H_2SO_4$  pohybovaly kolem 11,4 g/l. Koncentrace kyseliny sírové se však v průběhu provozování snížila na cca 1,835 g/l a tím se změnila i doba odstavení a následného čištění zanesených prostorů odparek.

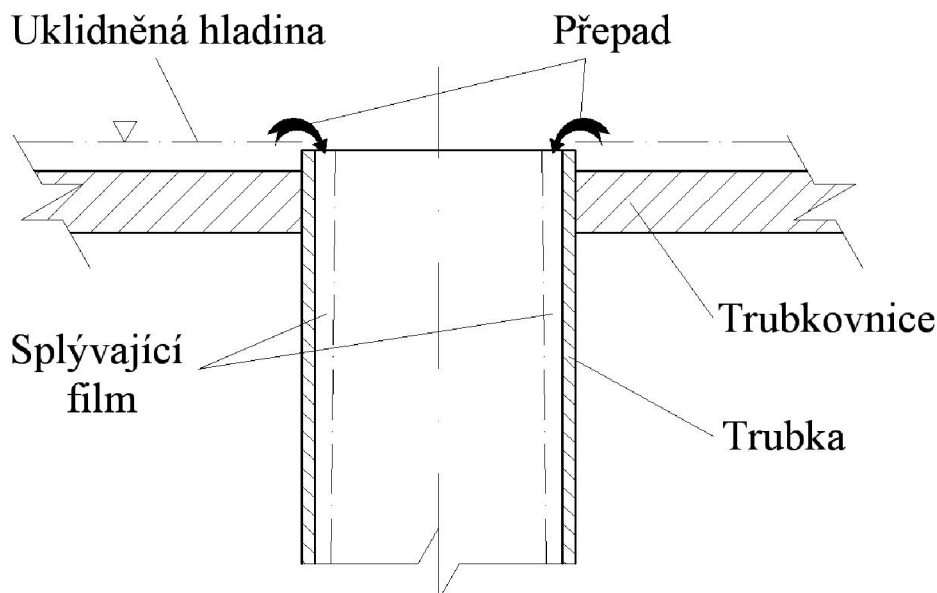
Jedním z možných řešení současného neuspokojivého stavu z hlediska vysoké rychlosti tvorby inkrustací by mohlo být použití jiného způsobu, jakým je roztok rozdělován v nástřikové komoře do trubek kondenzátoru odparky.

Řešení spočívá v odstranění plastových rozdělovačů s tangenciálními otvory, které jsou vsunuty v trubkách kondenzátoru v rozdělovací komoře. Místo nich se nad trubkovnicí kondenzátoru umístí rozdělovací síta v podobě plechů s vyosenými otvory oproti otvorům trubek kondenzátoru, jak je tomu na obr 7.1.



Obr 7.1 Zjednodušené provedení uspořádání sít jiného způsobu rozdělování roztoku

Roztok pak může proudit přepadem přes hranu otvorů jednotlivých sít a následně i přes hranu trubek umístěných v trubkovnici tak, že se na hranách po celém obvodu trubek vytvoří jízky, což umožní rovnoměrné rozdělení množství roztoku do každé trubky kondenzátoru a zároveň bude zajištěna podmínka splývajícího filmu, na jehož principu tyto odparky pracují (viz obr. 7.2).



Obr. 7.2 Detail principu tvorby splývajícího filmu

Protože tím dojde vlastně ke zvětšení otvoru pro proudění roztoku po vnitřních stěnách trubek, zamezí se tím ucívání už na vstupu. Tak by nemuselo nedocházet k přerušení splývajícího filmu, které vede k vytvoření suchého místa vlivem lokálního odpaření na vnitřní stěně trubek a následovně tvorbě dalších krystalů síranu vápenatého. Tohoto způsobu rozdělování roztoku se v praxi běžně využívá. Na tomto místě je nutno podotknout, že se na jiný způsob rozdělování roztoku upozornilo už v roce 2006.

Ovšem výrazné zlepšení nejen v technologickém procesu odpařování důlních vod ale i ekonomické přínosy může přinést dále popsaná instalace vícestupňového koncentrátoru v upořádání mnohostupňové expanzní odparky (Multiple-effect multi-stage flash evaporator), kterým, jak je tomu v návrhu uvedeno, mají být stávající odparky nahrazeny.

Těchto zařízení se běžně využívá pro odsolování mořské vody destilací. Mnohostupňové expanzní odparky se vyznačují malou měrnou spotřebou topné páry, tj. počet kg topné páry potřebných k odpaření 1 kg vody. Zatímco při konvenčním zapojení odparkových těles se tato hodnota pohybuje kolem 1,1 kg/kg, pro vícestupňovou expanzní odparku je často nižší než 0,1 kg/kg. Tudíž nahrazením vícestupňové expanzní odparky za stávající již instalované odparky lze očekávat výrazné snížení spotřeby elektrické energie (3 x 3400 kW) pro zahušťování roztoku důlní vody.



## 8 Klíčové uzly navrhované technologie

Nová technologie odpařování roztoku důlní vody je navržena tak, aby splňovala minimálně podmínky stávajícího provozu odparek. Původně projektovaný výkon jednoho tělesa konvenční odparky je určen množstvím zpracovaného roztoku, tedy množstvím nátoky do odparky, které činí  $146 \text{ m}^3/\text{hod}$  a množstvím odpařené vody o velikosti  $125 \text{ m}^3/\text{hod}$ . Aktuální výkon je však vlivem zanášení  $125 \text{ m}^3/\text{hod}$  nátoky do odparky a  $100 \text{ m}^3/\text{hod}$  odpařené vody neboli horkého destilátu. Koncentrace roztoku v nástřiku do odparek je  $55 \text{ g/l}$  rozpuštěných látek, která je zvýšena vlivem zahuštění na hodnotu  $210 \text{ g/l}$ , což znamená, že se roztok zahušťuje čtyřikrát.

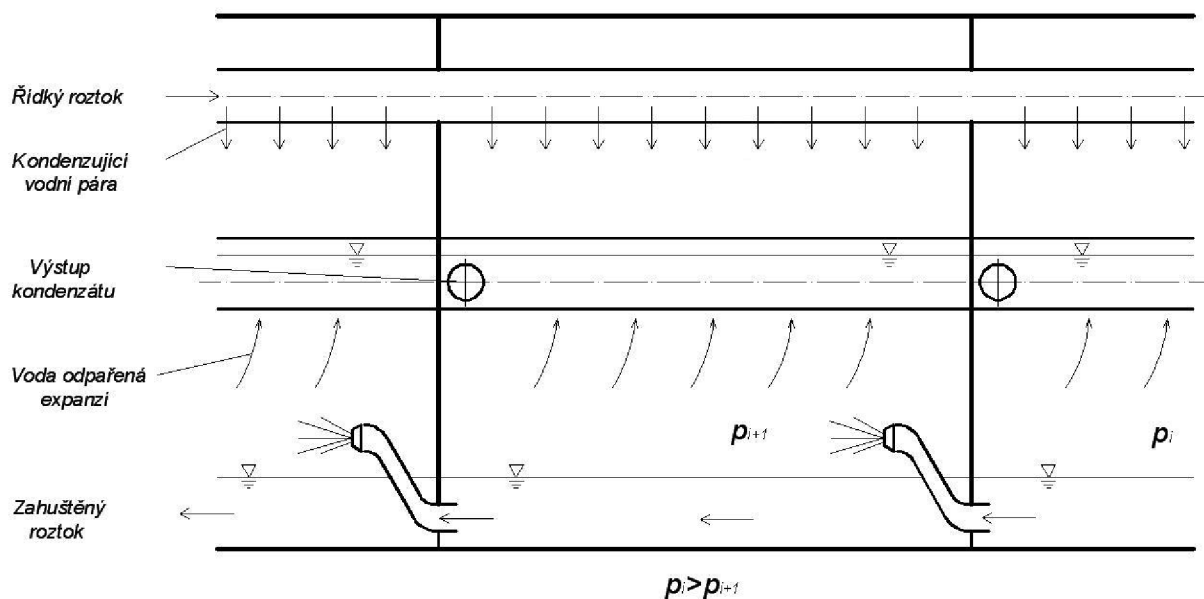
Abychom byli při návrhu mnohostupňové expanzní odparky tak říkajíc na bezpečné straně, je zvolena vstupní koncentrace roztoku v nástřiku do odparky v hodnotě  $25 \text{ g/l}$ , pro případ, že by se koncentrace rozpuštěných látek v průběhu provozu snížila. Pro zjednodušení se uvažuje, že hodnota  $25 \text{ g/l}$  přibližně odpovídá  $0,025 \%$  hm. Jinak by bylo nutné koncentraci roztoku v  $\%$  hm. přepočítat pro příslušnou hustotu každé složky a jejich množství, ve kterém jsou v roztoku obsaženy. Jako výstupní koncentrace je zvolena hodnota  $250 \text{ g/l}$  rozpuštěných látek (tedy  $0,25 \%$  hm.). Ostatní aparáty navrhované technologie jsou tomuto požadavku přizpůsobeny.

### 8.1 Mnohostupňová expanzní odparka

Pro případ zahušťování čerpaného roztoku důlní vody o koncentraci  $25 \text{ g/l}$  rozpuštěných látek ( $x_{\text{in}} = 0,025 \%$  hm), je zvoleno pět expanzních stupňů uspořádaných do série. Až na první stupeň, kde jsou použity dva aparáty v paralelním zapojení kvůli velkému množství nástřiku, obsahuje každý stupeň jeden odparkový aparát s dvanácti komorami. Aby bylo dosaženo požadovaných podmínek koncentrování roztoku, tak by hodnota koncentrace roztoku na výstupu průchodem všemi pěti stupni neměla být nižší než  $250 \text{ g/l}$  ( $x_{\text{out}} = 0,25 \%$  hm.). Z čehož vyplývá, že se roztok zahustí celkem desetkrát.

Kvůli osvětlení funkce mnohostupňové odparky je zde nejprve popsán princip, na kterém toto zařízení pracuje. Princip funkce odparky je také naznačen na následujícím obrázku (obr. 8.1 [16]) a to jednoho stupně představovaného jednou komorou.

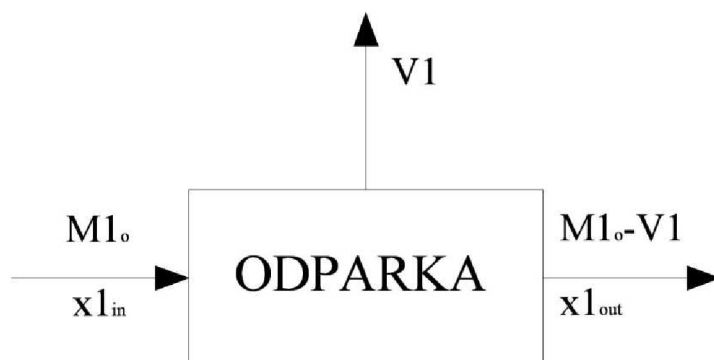
Řídký roztok proudí trubkami umístěnými v horní části expanzní komory a je ohříván kondenzací vodní páry generované expanzí (Flash) při výtoky zahušťovaného roztoku z trysek. Expanzní komory jsou řazeny za sebou a to tak, že řídký roztok je postupně ohříván v protiproudu se zahušťovaným roztokem, který expanduje v komorách. Kondenzovaná voda, která stéká z povrchu trubek ohřívajícího řídkého roztoku, je zachycována koryty a dále odváděna mimo komoru co by destilát. Jak je na obrázku naznačeno, tlak se v komorách postupně snižuje a to vždy při expanzi zahušťovaného roztoku v další komoře.



Obr. 8.1 Princip expanzní odparky na schématu jedné komory

Z popisu procesů, které probíhají v expanzní komoře, je užitečné si povšimnout, že zahušťování roztoku odparem vody neprobíhá na teplosměnné ploše jako tomu je u odparek konvenčních. Voda se v expanzní komoře odpaří při průtoku horkého roztoku škrťacími tryskami a expanzí do prostoru, kde je tlak nižší. Nedochází tedy přímo ke kontaktu zahušťovaného roztoku s varným otápeným povrchem, takže nemůže docházet k lokálnímu zvýšení koncentrace na teplosměnné ploše s následnou možnou krystalizací. Vodní pára, která vzniká škrćením, je párou topnou. Ta potom kondenzuje na povrchu trubek, kterými v kapalné fázi proudí řídký roztok a tím ho ohřívá na vyšší teplotu, ale jeho koncentrace se přitom nezvyšuje.

Nástřik roztoku do prvního stupně je volen v množství  $M1_o = 98,0$  kg/s, pro srovnání se stávajícími odparkami to odpovídá hodnotě  $352,8$  m<sup>3</sup>/hod. Pro zjištění množství odpařené vody  $V1$  se využije hmotnostní bilance z obr. 8.2.



Obr. 8.2 Hmotnostní bilance odparky prvního stupně

$$M1_o \cdot x1_{in} = (M1_o - V1) \cdot x1_{out} \Rightarrow V1 = M1_o \cdot \frac{x1_{out} - x1_{in}}{x1_{out}} \Rightarrow V1 = M1_o \cdot X \quad (8.1)$$

kde je vztah mezi koncentracemi označen jako faktor **X**, jehož hodnotu získáme pomocí tepelné bilance odparky.

$$V1 = M1_o \cdot \frac{C_p \cdot (t_D - t_{out})}{r} \Rightarrow (t_D - t_{out}) = \frac{X \cdot r}{C_p} \Rightarrow X = \frac{C_p \cdot (t_D - t_{out})}{r} \quad (8.2)$$

$$X = \frac{4,2 \cdot (295 - 105)}{2100} = 0,38$$

kde pro zjednodušení je opět uvažováno  $r = 2100$  kJ/kg jako výparné teplo vody (ne roztoku) a  $C_p = 4,2$  kJ/kg.K jako měrné teplo vody (ne roztoku), které se v závislosti na teplotě nemění. I když je tomu ve skutečnosti naopak.

Teplota  $t_D = 295$  °C je teplota syté páry v poslední komoře a  $t_{out} = 105$  °C je teplota syté páry v první komoře.

Po dosazení za **X** do rovnice hmotnostní bilance bude výpočet množství odpařené vody **V1**:

$$V1 = 98 \cdot 0,38 = 37,24 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

a výstupní koncentrace roztoku zahuštěného v prvním stupni  $x1_{out}$ :

$$X = \frac{x1_{out} - x1_{in}}{x1_{out}} \Rightarrow x1_{out} = \frac{x1_{in}}{1 - X} \quad (8.3)$$

$$x1_{out} = \frac{0,025}{1 - 0,38} = 0,04$$

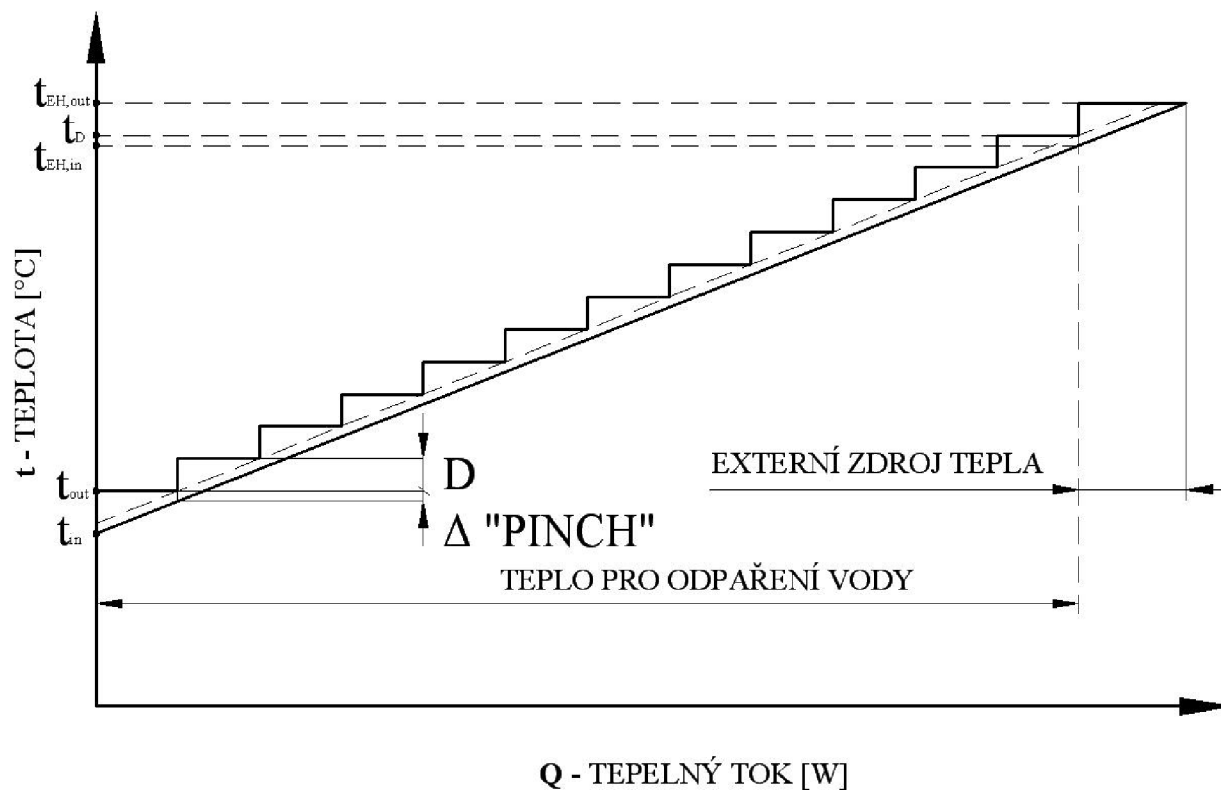
Jak již bylo shora řečeno, každý aparát obsahuje dvanáct komor ( $n = 12$ ). Pomocí tohoto údaje lze spočítat, jaký bude teplotní rozdíl mezi jednotlivými komorami **D**.

$$D = \frac{t_D - t_{out}}{n - 1} \quad (8.4)$$

$$D = \frac{295 - 105}{12 - 1} = 17,273 \text{ K}$$

To znamená, že se teplota roztoku průchodem trubek, na kterých kondenzuje pára, bude vždy v každé komoře zvyšovat o hodnotu cca 17 °C. Takže nástřík roztoku o teplotě cca 83 °C se průchodem první komorou ohřeje na teplotu 100 °C vlivem kondenzace expandované páry o

teplotě 105 °C na trubkách kondenzátoru. Další důležitou veličinou je minimální teplotní rozdíl, tzv. „PINCH“, který je nutno udržet mezi teplotou ohřívacího média (pára) a teplotou ohřívajícího média (roztok). Hodnota „PINCH“ je určena na  $\Delta = 5$  K. Tak je to také znázorněno na následujícím grafu (obr. 8.3).



Obr. 8.3 Tepelná bilance každého odparkového aparátu

Protože je počet komor a teplota roztoku (syté páry) v první i poslední komoře u každého aparátu stejná, bude tepelná bilance stejná pro všechny stupně.

Jak je v popisu principu funkce expanzní odparky uvedeno, pro oddělení vody ve formě páry od roztoku prostřednictvím expanzních trysek je potřeba nejprve teplotu roztoku zvýšit na určitou hodnotu. K tomu to z části slouží průchod roztoku trubkami kondenzátoru, jehož teplosměnná plocha  $A_{1ex}$  je dána následujícími veličinami:

- množství nástřiku  $M_{1o} = 98,0$  kg/s
- měrné teplo vody  $C_p = 4,2$  kJ/kg.K
- teplota syté páry v poslední komoře  $t_D = 295$  °C
- teplota syté páry v první komoře  $t_{out} = 105$  °C
- součinitelem prostupu tepla  $U = 1,8$  kW/m<sup>2</sup>.K
- počet komor jednoho stupně  $n = 12$
- nejmenší teplotní rozdíl „PINCH“  $\Delta = 5$  K

$$A1_{ex} = \frac{M1_o \cdot C_p \cdot (t_D - t_{out})}{U \cdot \left( \frac{t_D - t_{out}}{2 \cdot (n - 1)} + \Delta \right)} \quad (8.5)$$

$$A1_{ex} = \frac{98,0 \cdot 2 \cdot (295 - 105)}{1,8 \cdot \left( \frac{295 - 105}{2 \cdot (12 - 1)} + 5 \right)} = 3,186 \cdot 10^3 \text{ m}^2$$

kde součinitel prostupu tepla  $U$  je vyhodnocen ze součinitelů přestupu tepla při kondenzaci páry a konvekci v trubce a vedení tepla stěnou trubky. Vztah:

$$\frac{t_D - t_{out}}{2 \cdot (n - 1)} + \Delta \quad (8.6)$$

vyjadřuje střední teplotní rozdíl v jedné komoře.

Při zvolené účinné délce trubek  $L_{12} = 36,0$  m (tzn. délka jedné komory je 3 m) a vnějšího průměru trubek kondenzátoru  $d = 0,06$  m lze spočítat počet trubek  $m1$  obsažených v kondenzátoru tělesa prvního stupně.

$$m1 = \frac{A1_{ex}}{\pi \cdot d \cdot L_{12}} \quad (8.7)$$

$$m1 = \frac{3,186 \cdot 10^3}{\pi \cdot 0,06 \cdot 36} = 469,52$$

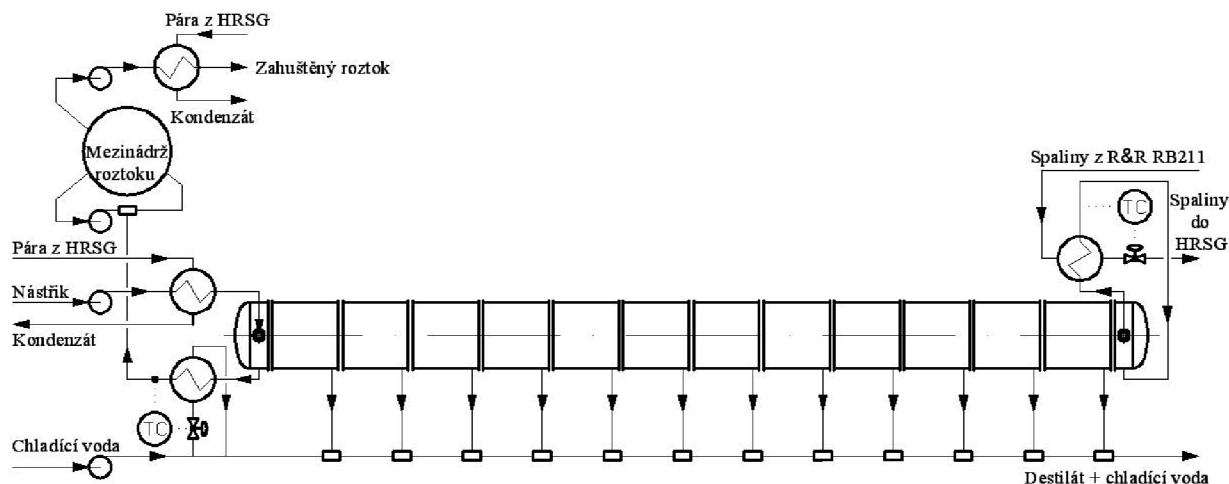
Jelikož se množství roztoku vlivem odpařování vody snižuje, zmenšuje se tak i potřebná teplosměnná plocha kondenzátoru. Pro výrazné zjednodušení výroby, jsou rozměry trubkovnice a umístění trubek pro všechny stupně navrženy stejně. Z toho vyplývá, že pro zachování stejného počtu trubek všech stupňů je volena rozdílná účinná délka trubek kondenzátoru a tím i celková délka aparátů jednotlivých stupňů.

Aby mohl roztok zpětně proudit kaskádou expanzních komor, musí se jeho teplota zvýšit na potřebnou hodnotu. K tomu je určen příhřev pomocí externího ohřívače (End heater), který dodá roztoku potřebné teplo  $Q1_{duty}$ . To je možné spočítat podle vztahu:

$$Q1_{duty} = M1_o \cdot C_p \cdot \left( \frac{t_D - t_{out}}{(n - 1)} + \Delta \right) \quad (8.8)$$

$$Q1_{duty} = 98,4 \cdot 2 \cdot \left( \frac{295 - 105}{(12 - 1)} + 5 \right) = 9,167 \cdot 10^3 \text{ kW}$$

Znázornění celkového uspořádání jednoho stupně odpařování řídkého roztoku je zobrazeno na následujícím schématu (obr 8.4).



Obr. 8.4 Technologické schéma konfigurace expanzní odparky

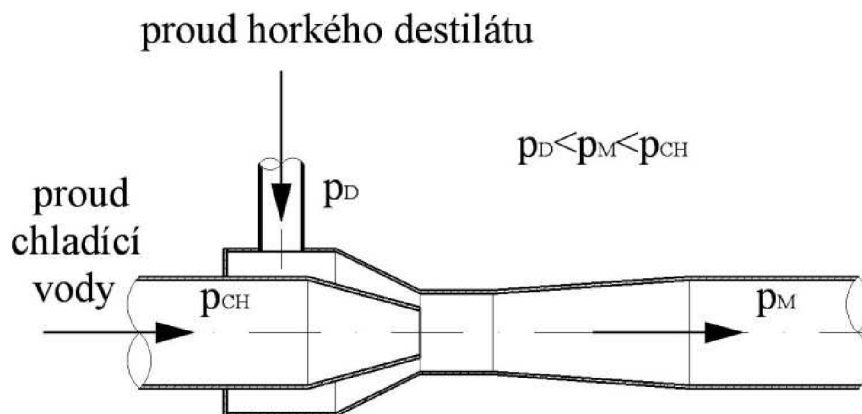
Roztok o teplotě 10 °C je dodáván odstředivým čerpadlem do vertikálního kondenzátoru, kde je v protiproudu přehříván parou z utilizačního kotle na teplotu 95 °C s rezervou cca 12 K. Takže vstupní teplota nástríku do odparky je 83 °C, kde je postupně ohříván průchodem trubkami kondenzátorů umístěných v jednotlivých komorách.

Pro uvažovanou aplikaci je hodnota teploty roztoku na vstupu do první expanzní komory cca 83 °C a na výstupu z poslední expanzní komory 290 °C. Externím ohřevčem je nutné zvýšit teplotu roztoku na vstupu do poslední komory při jeho zpětném proudění kaskádou expanzních komor. Tato teplota je určena, tak aby po expanzi v tryskách byla rovna teplotě sytosti, která koresponduje tlaku v této komoře. Pro zajištění proudění roztoku v kapalně fázi je nutné, aby tlak dostatečně převyšoval hodnotu, která odpovídá teplotě sytosti. V uvažovaném případě je teplota volena v hodnotě cca 312 °C, tudíž tlak by měl být vyšší než 101,5 bar.

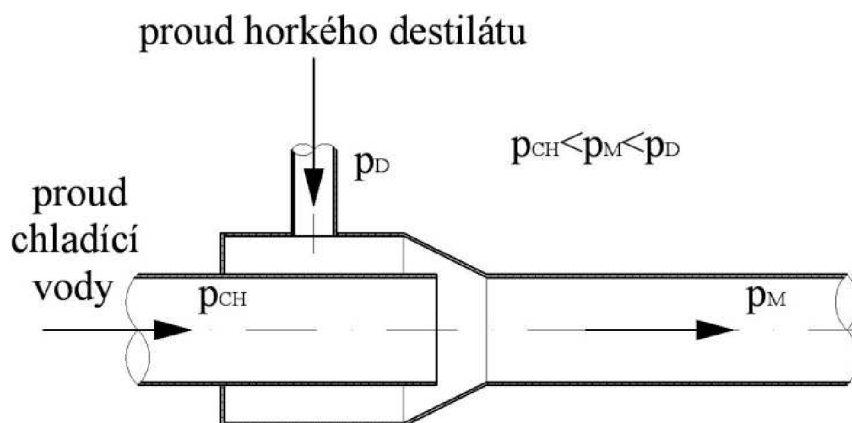
U mnohostupňových expanzních odparek, používaných pro odsolování mořské vody, je obvyklé použití externí páry v ohřevči řídkého roztoku před jeho zpětným vstupem do poslední expanzní komory. Pro zvolenou teplotu 312 °C by se ovšem požadavek na tlak topné páry, vedené z kotelny, pohyboval kolem hodnoty 110 bar. Z tohoto důvodu je navržen ohřev řídkého roztoku v koncovém ohřevči (End heater) přímo spaliny z plynové turbíny. Koncový ohřev pracuje na principu tepelného výměníku - spaliny - roztok. Spaliny jsou po výměně tepla odváděny do utilizačního kotle (Heat recovery steam generator), kde se slouží k výrobě páry.

Zkondenzovaná voda odváděná z jednotlivých expanzních komor má teplotu, která se rovná teplotě sytosti páry pro tlak v příslušné expanzní komoře. Pro poslední expanzní komoru je tlak 80 bar a odpovídající teplota sytosti 295 °C. Pro první expanzní komoru je teplota kondenzátu i sytosti 105 °C, čemuž odpovídá tlak 1,2 bar. Aby nedocházelo k vypařování kondenzátu, vlastně destilátu, při expanzi na atmosférický tlak z jednotlivých expanzních komor, je postupně strháván proudem chladicí cirkulační vody. Chladicí voda je vedena sběrným potrubím rychlostí od nástríku cca 4 m/s ze společné nádrže čerpadlem, které navýší její tlak na 4 bar. Pro dokonalé smíchání destilátu s chladicí vodou jsou použity ejektory, které umožní přítok destilátu s nižším tlakem  $p_D$  do proudu chladicí vody, jak je tomu na obr. 8.5. Tlak po smíchání obou proudů je

navýšen pomocí difuzoru na hodnotu  $p_M$ . Na obr. 8.6 je pak znázorněn opačný případ, kdy tlak chladicí vody  $p_{CH}$  je nižší než tlak destilátu. Směs chladicí vody s destilátem o konečné teplotě 65 °C je odvedena do vzduchem chlazeného výměníku tepla, kde se sníží její teplota na 40 °C.

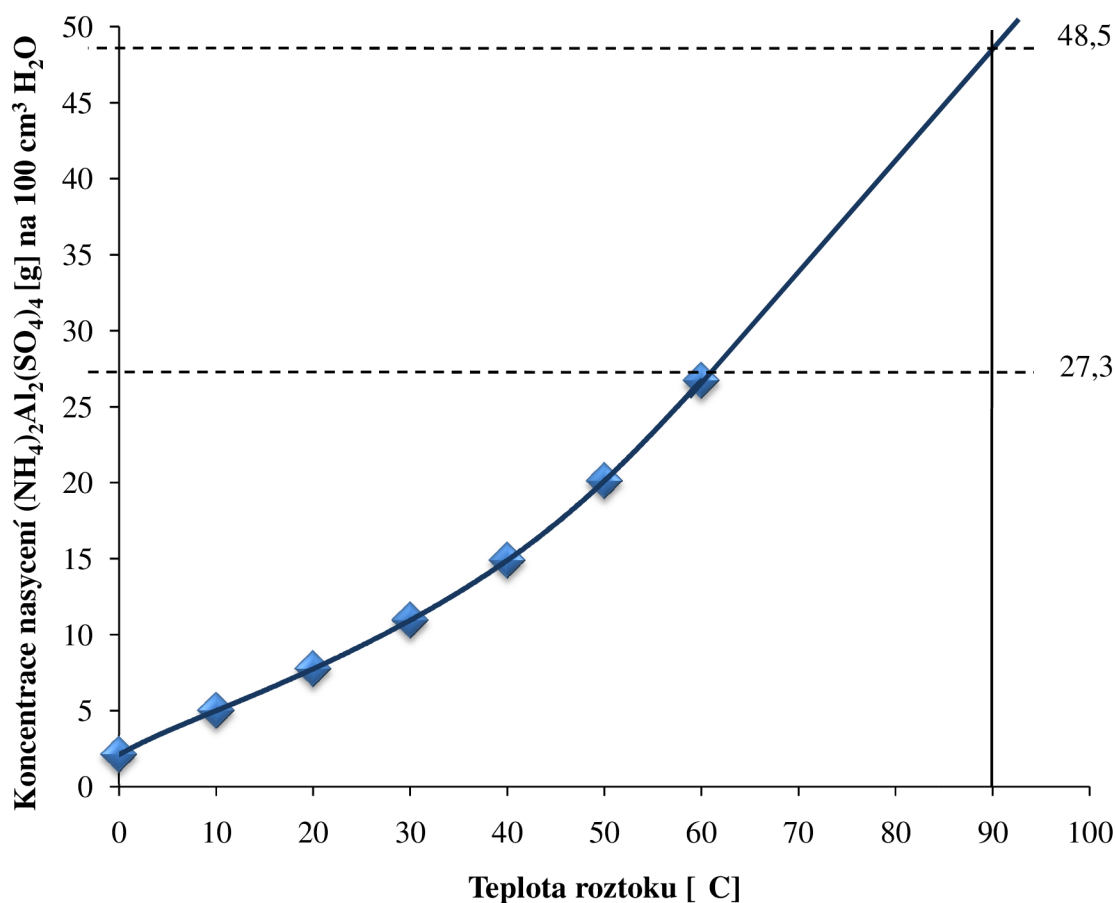


Obr. 8.5 Přítok horkého destilátu o nižším tlaku do proudu chladicí vody



Obr. 8.6 Přítok horkého destilátu o vyšším tlaku do proudu chladicí vody

Chladicí voda je také využita pro snížení teploty zahuštěného roztoku na výstupu z odparky z hodnoty 105 °C na 90 °C, aby nedocházelo v mezi-nádržích k odpařování vlivem snížení tlaku průchodem potrubí. Avšak teplota roztoku je dostatečně vysoká, proto aby, při jeho zahuštění na konečnou koncentraci 0,273 % hm., nevznikaly krystaly síranu hlinito-amonného. Jak je z grafu na obr. 8.7 [18] patrné, roztok o teplotě 90 °C by začal krystalizovat až při koncentraci 0,485 % hm. Z čehož plyne, že máme dostatečnou rezervu.



Obr. 8.7 Graf závislosti rozpustnosti síranu hlinito-amonného na teplotě

Pro proces chlazení zahuštěného roztoku je použit výměník tepla se zkroucenými trubkami (Twisted Tube technology), který se vyznačuje nejen vysokým přenosem tepla ale také nízkými tlakovými ztrátami. Ochlazený roztok je do mezi-nádrží nasáván čerpadlem přes ejektor, kterým proudí roztok o vyšším tlaku cirkulační smyčkou přes mezi-nádrž. Z mezi-nádrže je pak roztok čerpán do dalšího stupně a je také před vstupem do odparky předeřtát na teplotu 95 °C ve vertikálním kondenzátoru, zkrátka stejný postup jako tomu bylo na začátku procesu prvního stupně odpařování.

Podrobný výpočet jednotlivých parametrů aparátu každého stupně je uveden v příloze č. 1, který je proveden v programu MathCAD 13.

Parametry pro provoz všech pěti stupňů jako jednoho celku jsou uvedeny v tab. 8.1.

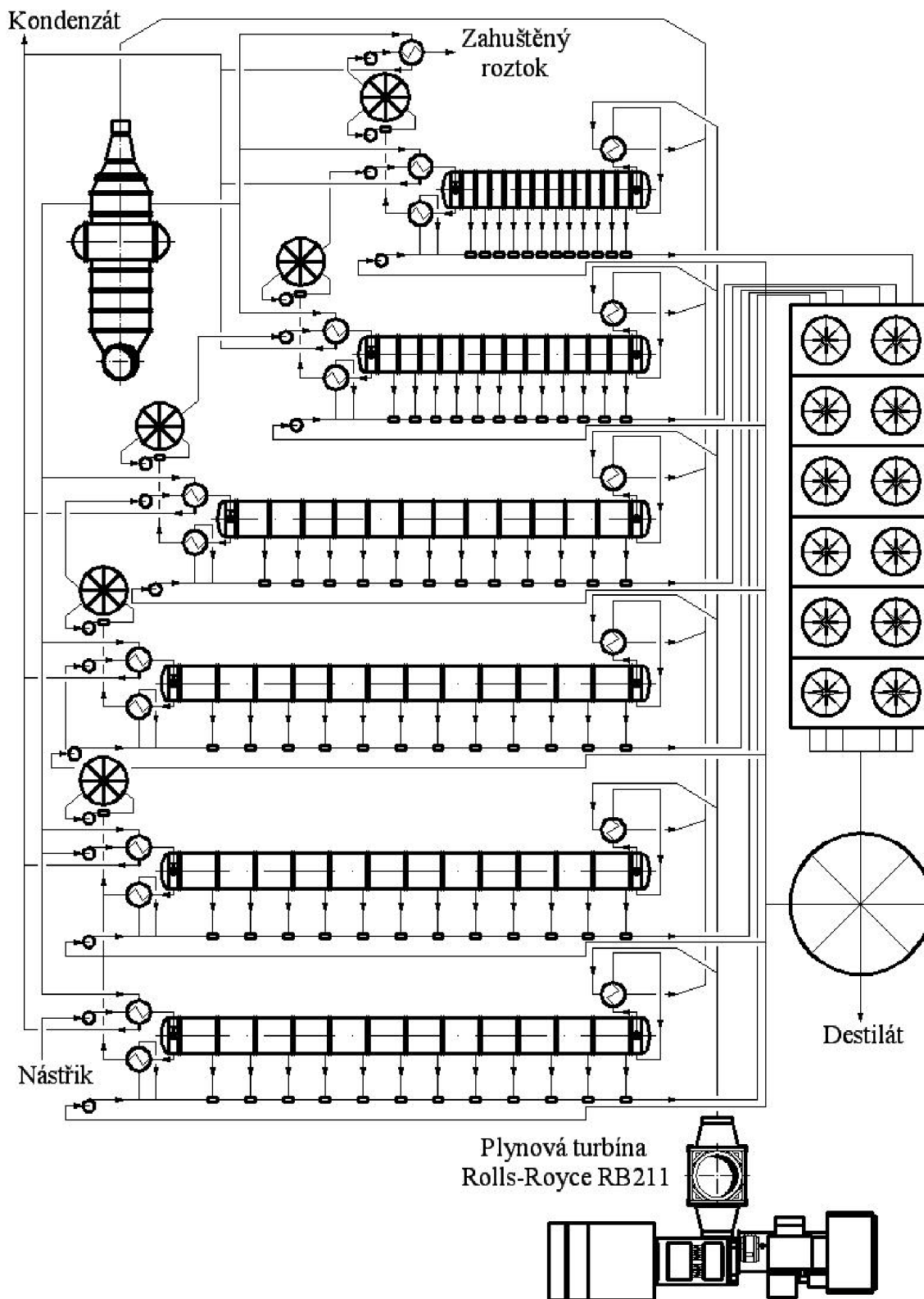


Parametr	Hodnota	Jednotka
Vstupní průtočné množství nástřiku $M_o$	352,8	t/hod
Výstupní průtočné množství roztoku $M_{out}$	32,321	t/hod
Průtočné množství kondenzátu (destilátu) $V$	320,479	t/hod
Hmotnostní koncentrace rozpuštěných látek na vstupu $x_{in}$	25,0	g/l
Hmotnostní koncentrace rozpuštěných látek na výstupu $x_{out}$	273,0	g/l
Celkové teplo dodané koncovými ohříváči $Q_{duty}$	$2,191 \cdot 10^4$	kW

Tab. 8.1 Parametry provozu všech pěti stupňů

Následující schéma (obr. 8.8) představuje návrh zapojení všech aparátů navrhované technologie. Jak je ze schématu patrné, celkový nástřik řídkého roztoku důlní vody je v prvním stupni rozdělen na dva proudy o stejném průtočném množství. Každý proud je paralelně zpracováván v jednom tělese. Koncentrace vystupujícího roztoku je zvýšena, průtočné množství je dáno nástřikem zmenšeným o množství odpařeného kondenzátu. Tento částečně zahuštěný roztok je veden do dalšího tělesa druhého stupně. Schéma ukazuje, že na výstup druhého stupně ještě navazuje třetí, čtvrtý a pátý stupeň v sérii. Každý tento stupeň je tvořen jedním tělesem. Výstup z posledního stupně, kde průměrná koncentrace rozpuštěných látek v roztoku je 273 g/l (0,273 % hm.), je nástřikem pro krystalizátory.

Schéma představuje nejen možnou konfiguraci expanzních odparek, ale také využití plynové turbíny Rolls-Royce RB211, která poskytuje ohřívací médium (spaliny) do koncových ohříváčů. Plynová turbína zároveň vyrábí elektrickou energii o výkonu 30,73 MW. Dalším aparátem je utilizační kotel (Heat Recovery Steam Generator), do něhož proudí spaliny, které po výměně tepla s řídkým roztokem v koncovém ohříváči mají ještě dostatečnou teplotu zvýšenou zařazením kanálových hořáků pro výrobu topné páry o teplotě 165 °C a tlaku 6 bar využívané k předehevu nástřiku do každého odparkového tělesa. Pro chlazení celého procesu je využito cirkulační chladicí vody (vlastně destilátu), která se na vstupní teplotu do nádrže musí ochladit ve vzduchem chlazeném výměníku tepla.



Obr. 8.8 Technologické schéma konfigurace všech aparátů

Protože hlavním aparátem navrhované technologie pro odpařování roztoku důlní vody je mnohostupňová expanzní odparka, je zde uvedeno konstrukční uspořádání tohoto zařízení v podobě jedné komory. Komory každého aparátu jednotlivých stupňů jsou pro zjednodušení jejich výroby geometricky identické. Konstrukční uspořádání této komory prezentuje uvedeny náčrt (obr. 8.9).

Každá komora je tvořena ocelovým pláštěm a vnitřní vestavbou. Na obou koncích aparátu je upevněna nástříková komora s odtahovou komorou, které jsou od sebe odděleny jednoduchou přepážkou.

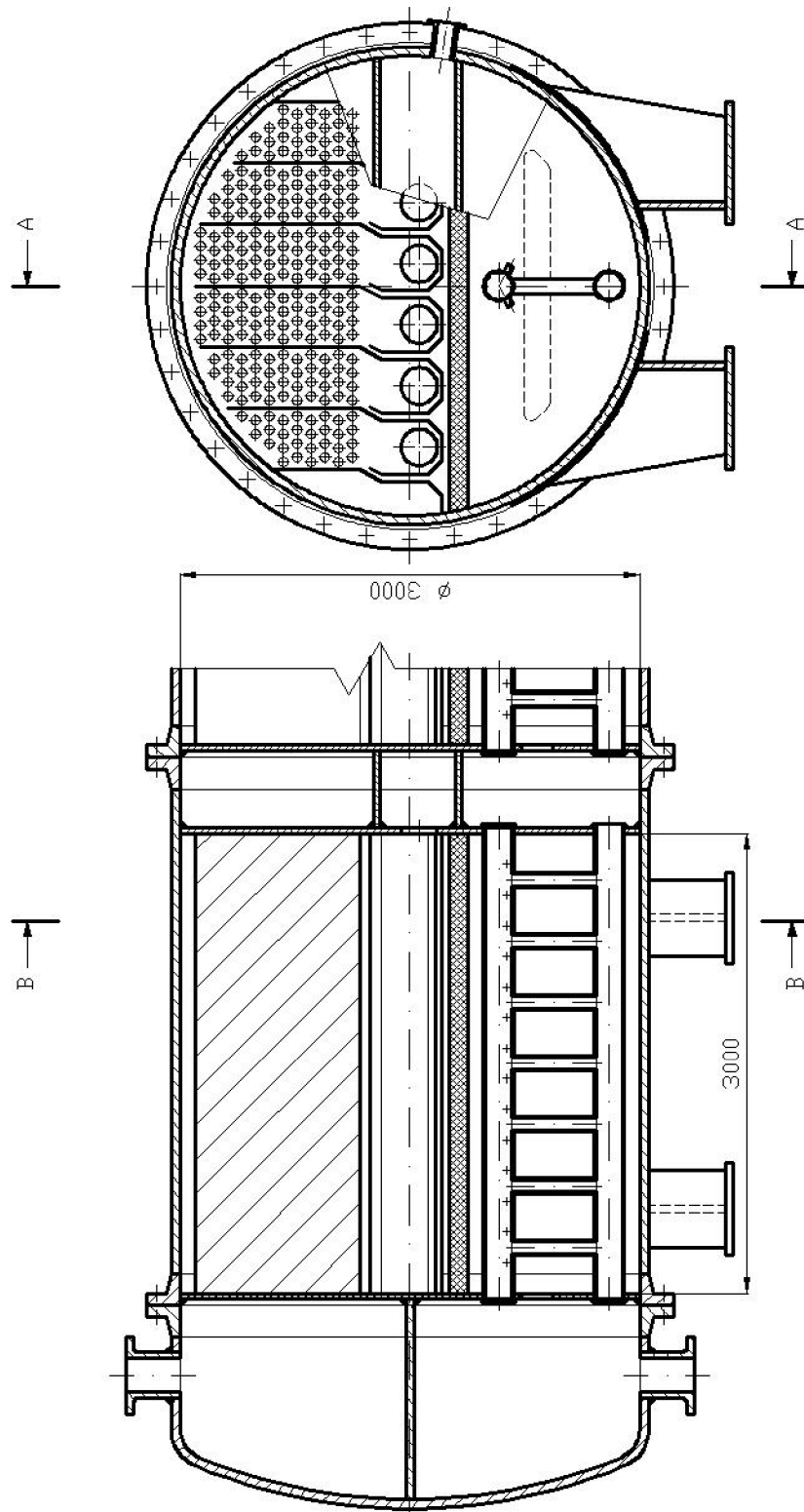
Trubky kondenzátoru, kterými proudí roztok, jsou upevněny v trubkovnicích v horní části komory, kde jsou uspořádány do skupin. Pod každou skupinou je umístěno sběrné koryto kondenzátu. Veškerý kondenzát z expanzní komory je vyveden hrdlem přes oddělený meziprostor. Zahušťovaný roztok proudí do trubky o větším průměru s jedním zaslepeným koncem a je přepouštěn do trubky stejného průměru osazené atomizačními tryskami, která je zaslepena na obou koncích. Tyto rozváděcí trubky jsou umístěny ve spodní části expanzní komory a jsou též upevněny v trubkovnicích. Orientace trysek je směřována šikmo dolů pro lepší oddělení kapalně fáze (roztok) od plynné (pára). Aby nedocházelo k únosu kapiček do kondenzační části, je pod koryty kondenzátu umístěn demister. Přetok zahušťovaného a řídkého roztoku mezi sousedními expanzními komorami je navržen jako průtok oddělenými prostory mezi trubkovnicemi komor přes jízek.

Důležitým hlediskem při výběru konstrukčních materiálů je skutečnost, že se jedná o vysoce korozivní prostředí a to při teplotách vyšších než 300 °C. V následující tabulce (tab. 8.2 [17]) jsou uvedeny hodnoty nejvýznamnějších složek roztoku.

Složka	hodnota	jednotka
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	35,150	g/l
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	1,835	g/l
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	0,995	g/l

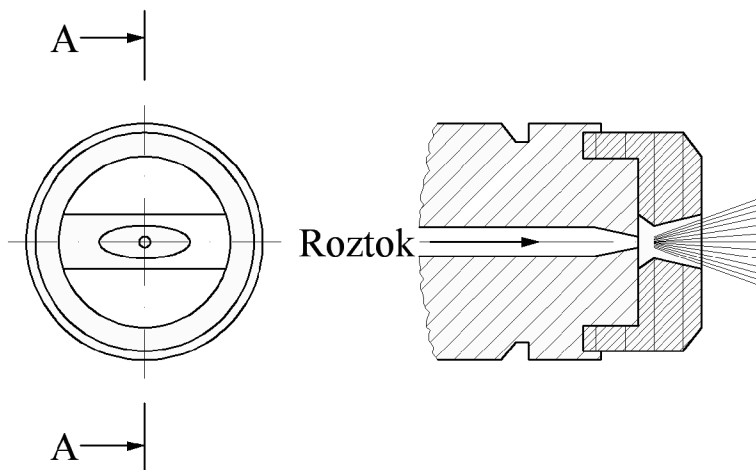
Tab. 8.2 Nejvýznamnější složky roztoku důlní vody

V těchto podmínkách je pro trubky v kondenzátoru nejvhodnější použít trubky ocelové vyložené olovem. Toho by se dalo využít i v koncovém ohřívaci a vertikálním kondenzátoru. Pro trysky se jeví vhodným materiálem tantal jakožto kov s nízkou rychlostí korozních úbytků. Pro ostatní části expanzní komory, které přichází do styku s kyselým roztokem lze doporučit materiál ušlechtilé oceli s protikorozními ochrannými povlaky. V oblasti vyšších teplot to mohou být např. kyselinovzdorné smalty, vrstva olova anebo i teflon. Pro teploty nižší lze použít např. fenolformaldehydové pryskyřice anebo pryž z butylkaučuku.



Obr. 8.9 Konstrukční provedení expanzní komory (rozměry 1. a 2. stupně)

Jak bylo výše uvedeno, roztok v kapalně fázi vstupuje do expanzní komory průtokem atomizačními tryskami. Přitom se na výstupu roztoku otvorem trysky vytváří nestabilní film, který je dále dispergován do malých kapiček. Velikost kapiček, která je významná pro účinné oddělení odpařené vody způsobené poklesem tlaku nasycení, je zejména určována rychlostí roztoku vystupujícího z otvoru trysky. Tvar rozprašovacího kužele je dán geometrií výstupního otvoru. Pro účely expanze v komoře je výhodný tvar vějíře, který se vytvoří uspořádáním trysky, jak je naznačeno na obr. 8.10.



Obr. 8.10 Atomizační tryska

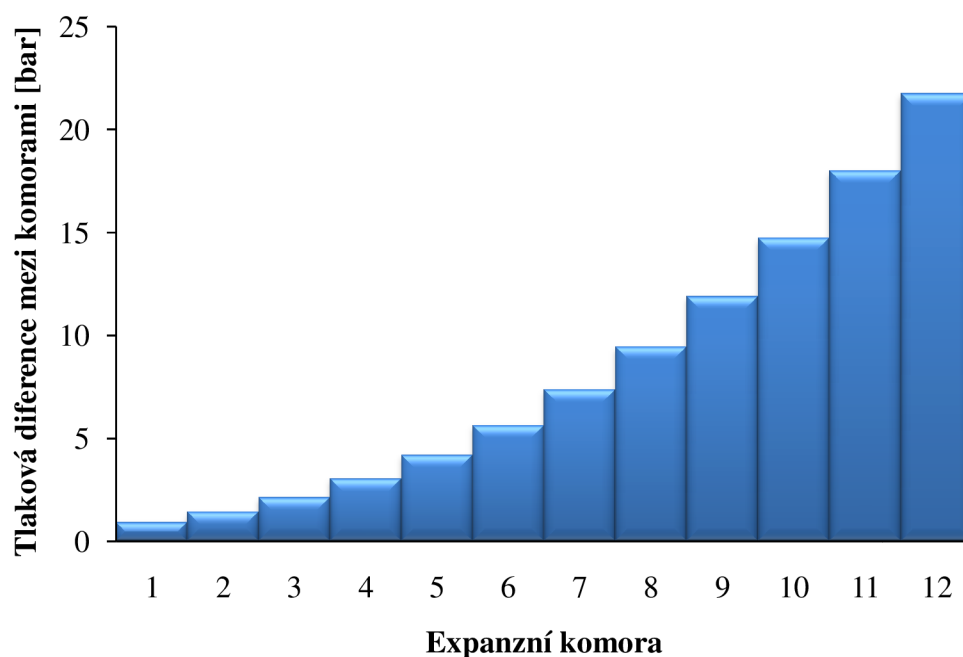
Průtočné množství roztoku lze kvantifikovat na základě rozdílu mezi tlakem roztoku na vstupu do trysky a tlakem v expanzní komoře, ekvivalentním průměrem otvoru trysky  $d$ , měrnou hmotností roztoku  $\rho = 990 \text{ kg/m}^3$  a součinitelem zúžení při průtoku otvorem  $\xi = 0,65$ . Výpočtový postup je v podstatě stejný jako při dimenzování měřící clony. Tedy:

$$mnz = \pi \cdot \xi \cdot d^2 \cdot \sqrt{\frac{\rho \cdot \Delta p}{8 \cdot 10^9}} \quad (8.9)$$

Pro tlakovou diferenci v první komoře  $\Delta p = 1,473 \cdot 10^3 \text{ kPa}$  je zvolen ekvivalentní průměr otvoru trysky  $d = 11 \text{ mm}$ . Takže průtočné množství roztoku tryskami v první komoře bude:

$$mnz = \pi \cdot 0,65 \cdot 11^2 \cdot \sqrt{\frac{990 \cdot 1,473 \cdot 10^3}{8 \cdot 10^9}} = 3,335 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

Na základě informací o rozdílu tlaků mezi sousedními komorami (viz sloupcový graf na obr. 8.11) a průtočného množství roztoku do jednotlivých komor lze vyhodnotit potřebný počet trysek v jednotlivých komorách.



Obr. 8.11 Teplotní diference mezi jednotlivými komorami

Výsledky výpočtu počtu trysek každé komory jednoho tělesa pro zvolený průměr výstupního otvoru trysek uvádí následující tabulka (tab. 8.3).

Expanzní komora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Počet trysek d = 11 mm	15	16	17	19								
Počet trysek d = 13 mm					15	17	19	22				
Počet trysek d = 19 mm									12	14	17	20

Tab. 8.3 Počty trysek jednotlivých komor v jednom tělese

Vzhledem k tlakovým diferencím průchodem roztoku expanzními komorami a tlakovým ztrátám, které roztok získá průchodem celé expanzní odparky včetně koncového ohřívače, bude nutné pro čerpání nástřiku do odparek použít čerpadlo, které dokáže zvýšit tlak roztoku nejméně na 105 bar a zároveň odolávat vysokým teplotám a korozivnímu prostředí. Jako nevhodnější typ se zatím jeví odstředivé vícestupňové čerpadlo, které splňuje podmínky dopravovaného množství 49,0 kg/s.

Podle schématu zobrazeného na obr. 8.4, koncové ohřívače (End heaters) fungují jako externí zdroj tepla pro ohřev roztoku před vstupem do poslední komory expanzní odparky. Podobně jako při průchodu roztoku kondenzátorem každé komory odparky i zde je teplota roztoku navýšena o cca 16 °C. Toho je docíleno ohřevem proudícího roztoku trubkami ohřívače pomocí proudu horkých spalin z plynové turbíny.

Pro zvětšení teplosměnné plochy a tím dosažení co největšího přestupu tepla jsou trubky koncových ohřívačů navrženy jako žebrované. Opět kvůli jednoduchosti výroby budou trubky všech koncových ohřívačů stejné.

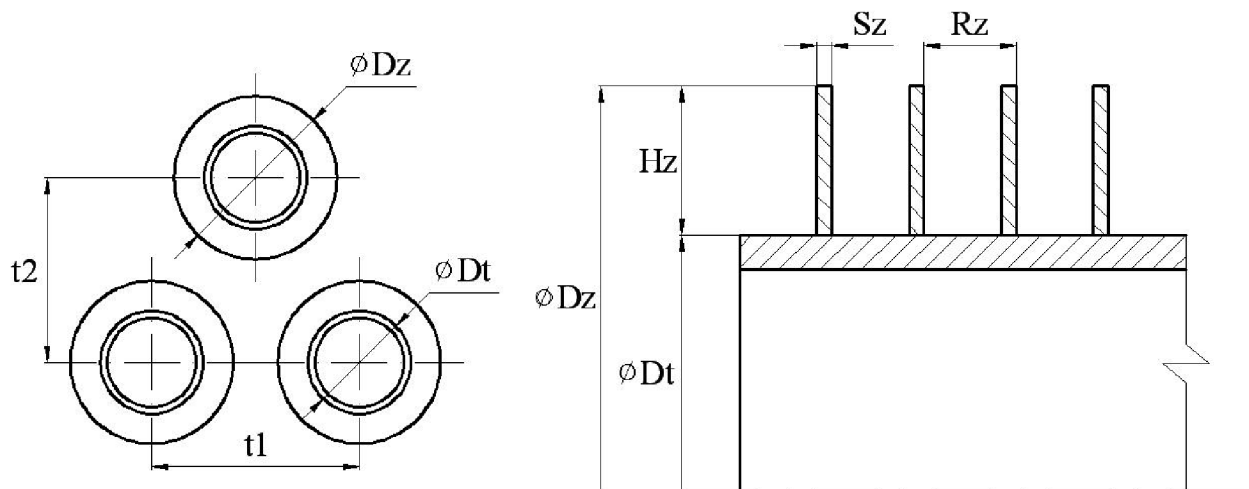
- výška žeber  $H_z = 13,0$  mm
- tloušťka žeber  $S_z = 1,3$  mm
- rozteč žeber  $R_z = 8,0$  mm
- vnější průměr trubek  $D_t = 44,5$  mm
- tloušťka stěn trubek  $t = 3,0$  mm
- rozteč trubek  $t_1 = 90,0$  mm

Podle uvedených rozměrů se dopočítá vnější průměr žeber  $D_z$ :

$$D_z = D_t + 2 \cdot H_z \quad (8.11)$$

$$D_z = 44,5 + 2 \cdot 13 = 70,5 \text{ mm}$$

Označení těchto rozměrů je znázorněno na obr. 8.12.



8.12 Žebrované trubky

Kvůli jednoduchosti výroby jsou navrženy i rozměry všech koncových ohřívačů stejně. Protože potřebný tepelný výkon pro ohřátí roztoku před vstupem do poslední komory odparky je u každého stupně jiný, tak aby se dosáhlo předání požadovaného tepla, musí tomu odpovídat velikost teplosměnné plochy. Proto je navržen v ohřívači každého stupně jiný počet řad trubek. Jelikož je první stupeň rozdělen na dva paralelně zapojené aparáty, kde každý aparát musí mít vlastní externí ohřívač, tzn., že množství nástřiku je rozděleno do dvou proudů, největší tepelný výkon je tedy třeba dodat ohřívačem v druhém stupni, protože průtočné množství na jeden aparát je zde nejvyšší. Z toho vyplývá, že pro návrh rozměrů všech ohřívačů postačí výpočet parametrů druhého stupně.

Podle výpočtu uvedeného v příloze č. 1., pro druhý stupeň odpařování, platí následující charakteristiky toku:

- měrné teplo vody  $C_p = 4,2 \text{ kJ/kg.K}$
- průtočné množství roztoku  $M_a = M_0 = 60,76 \text{ kg/s}$
- teplota roztoku na vstupu do koncového ohřívače  $T_1 = t_D = 290 \text{ °C}$
- teplo potřebné pro předehřev roztoku  $Q_{2,duty} = 5,684 \cdot 10^3 \text{ kW}$
- teplota spalin na vstupu do koncového ohřívače  $t_1 = t_{exh} = 508 \text{ °C}$
- teplota spalin na výstupu z koncového ohřívače  $t_2 = t_{exh,out} = 309,713 \text{ °C}$

Pomocí tepelné bilance se dopočítá teplota roztoku ohřátého průchodem ohřívače  $T_2$ :

$$T_2 = T_1 + \frac{Q_{2,duty}}{M_a \cdot C_p} \quad (8.12)$$

$$T_2 = 290 + \frac{5,684 \cdot 10^3}{60,76 \cdot 4,2} = 312,273 \text{ °C}$$

Průtočné množství spalin  $M_e$  je pak dáno faktorem  $df$ , který se spočítá:

$$df = \frac{t_1 - t_2}{Q_{2,duty}} \cdot C_{p,exh} \cdot m_{exh} \quad (8.13)$$

$$df = \frac{508 - 309,713}{5,684 \cdot 10^3} \cdot 1,2 \cdot 92,1 = 3,856$$

kde:

- průtočné množství spalin  $m_{exh} = 92,1 \text{ kg/s}$
- měrné teplo spalin  $C_{p,exh} = 1,2 \text{ kJ/kg.K}$

$$M_e = m_{exh} \cdot df^{-1}$$

$$M_e = 92,1 \cdot df^{-1} = 23,887 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad (8.14)$$

Součinitel prostupu tepla  $U$  je odhadnut na hodnotu  $30 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$  a střední logaritmičtý teplotní spád  $\Delta_{l,m}$  je spočítán aproximací:

$$\Delta_{l,m} = \frac{(t_2 - T_1) + (t_1 - T_2)}{6} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{(t_2 - T_1) + (t_1 - T_2)} \quad (8.15)$$

$$\Delta_{l,m} = \frac{(309,713 - 290) + (508 - 312,273)}{6} + \frac{2}{3} \cdot \sqrt{(309,713 - 290) + (508 - 312,273)}$$



$$\Delta_{l,m} = 77,317 \text{ K}$$

Pomocí těchto parametrů už se dá určit předběžná teplosměnná plocha **A<sub>fd</sub>**, která je korelována hodnotou 0,9 pro křížový tok, jinak by se jednalo o protiproud.

$$A_{fd} = \frac{10^3 \cdot Q_{2,duty}}{0,9 \cdot \Delta_{l,m} \cdot U} \quad (8.16)$$

$$A_{fd} = \frac{10^3 \cdot 5,684 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 77,317 \cdot 30} = 2,723 \cdot 10^3 \text{ m}^2$$

Celková délka trubek je pak **L<sub>fd</sub>** = 4,392.10<sup>3</sup> m a předběžná hmotnostní rychlost spalin **W<sub>fd</sub>** je zvolena na hodnotu 8,0 kg/m<sup>2</sup>s.

Průřez **AD<sub>fd</sub>** celého koncového ohřívače je určen následovně:

$$AD_{fd} = \frac{\frac{M_e}{W_{fd}}}{1 - \left( \frac{Dt + \frac{2 \cdot Hz \cdot Sz}{Rz}}{t1} \right)} \quad (8.17)$$

$$AD_{fd} = \frac{\frac{23,887}{8,0}}{1 - \left( \frac{44,5 + \frac{2 \cdot 13 \cdot 1,3}{8}}{90} \right)} = 6,38 \text{ m}^2$$

Podle zvolené šířky koncového ohřívače **BD** = 2800 mm se dopočte výška ohřívače **VD**:

$$VD = \frac{Ad_{fd} \cdot 10^6}{BD} \quad (8.18)$$

$$VD = \frac{6,38 \cdot 10^6}{2800} = 2,279 \cdot 10^3 \text{ mm}$$

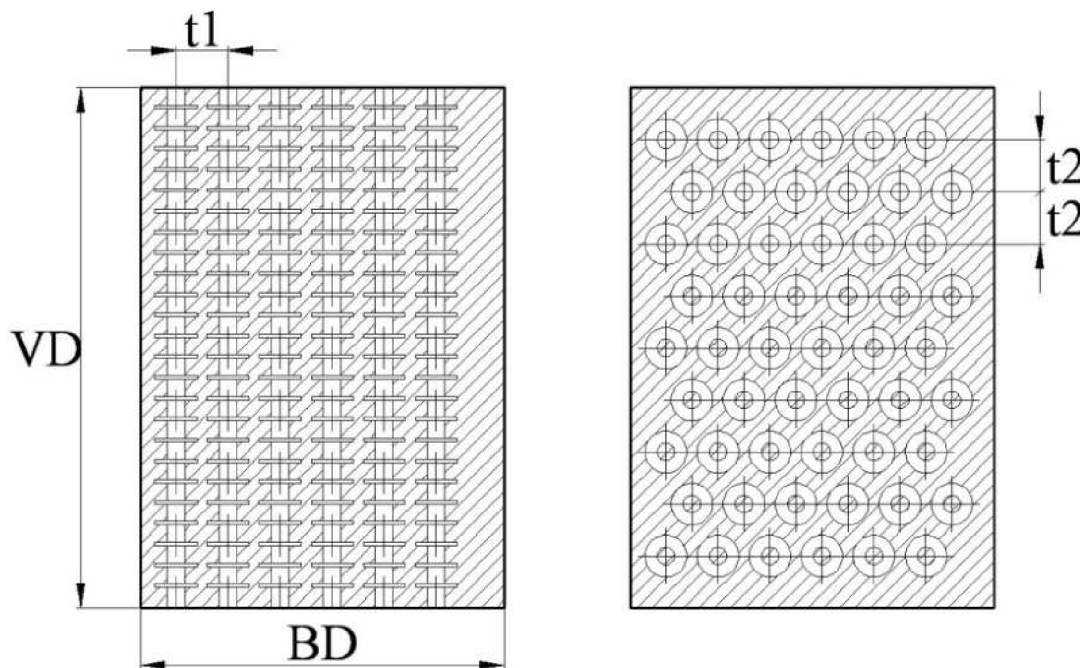
Výška **VD** je ale zvolena 4 m, čímž jsou výrazně sníženy tlakové ztráty.

Podrobný výpočet zbývajících údajů je uveden příloze č. 1. Počet trubek v řadě bude pro všechny stupně **N<sub>td</sub>** = 32, ale počet řad trubek bude pro každý stupeň jiný, což je dáno potřebným tepelným výkonem ohřívačů. Konkrétní počet trubek ohřívače pro jednotlivé stupně je rozepsán v následující tabulce (tab. 8.4).

Stupeň	Počet řad trubek
1.	28
2.	34
3.	22
4.	14
5.	9

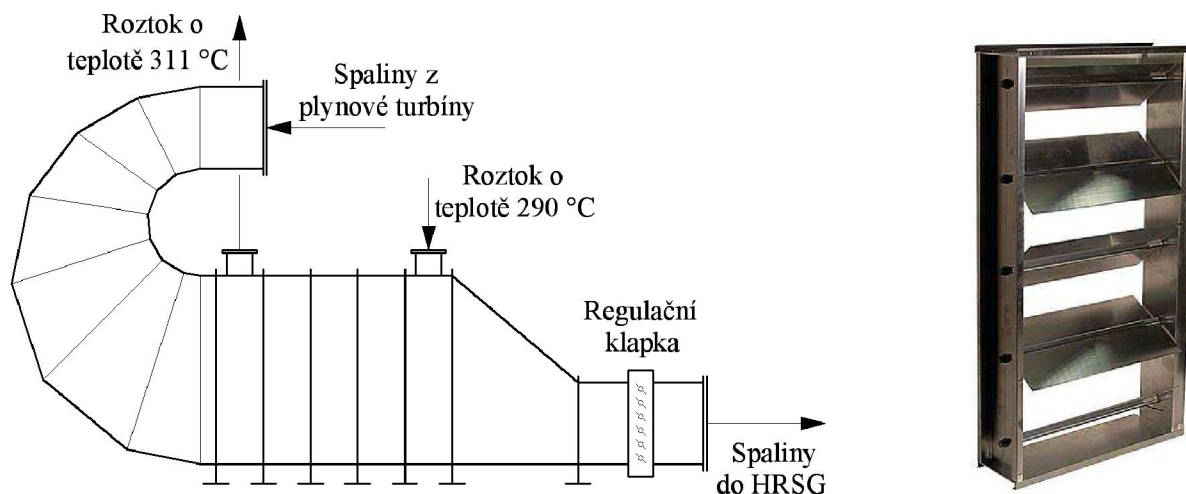
Tab. 8.4 Počet řad trubek každého stupně

Uspořádání trubek je znázorněno na obr. 8.13, kde vyšrafovaná část představuje prostor pro tok spalin.



Obr. 8.13 Uspořádání trubek

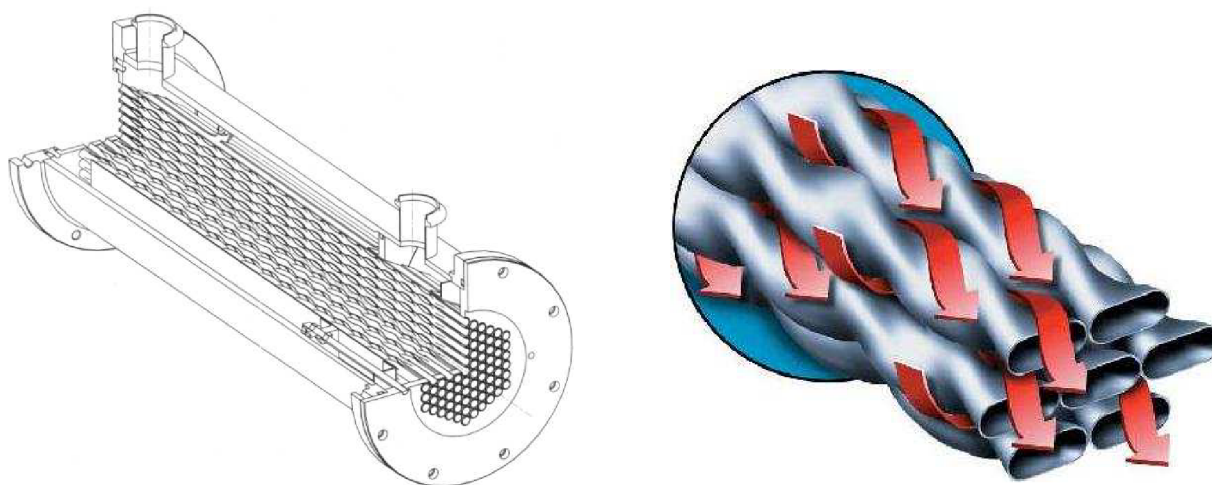
Obr. 8.14 zobrazuje tvar celého koncového ohřívače, kde jsou naznačeny žaluziové regulační klapky (Control dampers) a skutečnou podobu regulačních klapek. Jejich nastavením se řídí průtočné množství spalin a tím předané teplo roztoku, tedy i jeho výstupní teplota. Žádaná teplota má přímou vazbu na tlak roztoku. Je nutné, aby nedocházelo k varu před vstupem roztoku do poslední expanzní komory. Skutečná podoba takových to žaluziových klapek je uvedena na obr. 8.15 [19].



Obr. 8.14 Koncový ohřivač s žaluziovými regulačními klapkami

Jak je v popisu schématu konfigurace expanzní odparky (obr. 8.4) uvedeno, teplota sytosti zahuštěného roztoku na výstupu z expanzní odparky má hodnotu 105 °C, čemuž odpovídá tlak sytosti 120,8 kPa. Zahuštěný roztok dále proudí do skladovací mezi-nádrže, kde je udržována teplota 90 °C, aby vlivem snížení tlaku průchodem potrubí nedocházelo k odpařování roztoku. Tudíž aby mohl zahuštěný roztok proudit do mezi-nádrže, musí nejprve projít výměníkem tepla, kde odevzdá potřebné teplo chladící vodě.

Konkrétně pro případ tělesa druhého stupně platí, že průtočné množství zahuštěného roztoku má hodnotu 30,38 kg/s, čemuž odpovídá odvedené teplo 2912,0 kW. Vstupní teplota chladící vody je 40 °C. Zahuštěný roztok proudí trubkami výměníku tepla. Přestože zahuštěný roztok je do mezi-nádrže nasáván ejektorem, vzniká zde jistá tlaková ztráta při průchodu výměníkem. Aby byla tlaková ztráta co nejmenší, byl pro tento servis vybrán výměník tepla s tzv. „zkroucenými“ trubkami (Heat exchanger - Twisted Tube technology). Následující model (obr. 8.15 [20]) ilustruje konstrukční uspořádání a detail „zkroucených“ trubek takového výměníku.



Obr. 8.15 Konfigurace výměníku tepla - Twisted Tube technology

Vlivem tvarování trubek nastává turbulentní proudění již při nízkých rychlostech média a to jak uvnitř tak i mezi „zkroucenými“ zploštěnými trubkami. To je charakterizováno Reynoldsovým číslem, jehož hodnota se pohybuje kolem 100. Zatím co pro trubky hladké odpovídá hodnota Reynoldsova čísla 2300. Důsledkem jsou vysoké hodnoty součinitelů přestupu tepla při nízkých tlakových ztrátách. Tyto charakteristiky lze významně ovlivnit tvarováním trubek.

Pro chladič zahuštěného roztoku je výhodné, aby proudil v trubkách. Materiál trubek je možné vybrat z některých druhů oceli odolávající korozi. Plášť výměníku tepla může být vyroben z uhlíkaté oceli. Správným uspořádáním vstupu do prostoru mezi zkroucenými trubkami lze docílit rovnoměrného podélného proudění v celém průřezu pláště a tím i dobrého využití celé teplosměnné plochy.

Základní charakteristiky chladiče - výměníku tepla typu Twisted Tube - zahuštěného roztoku jsou souhrnně uvedeny v následující tabulce (tab. 8.5).

Charakteristika	Hodnota		Jednotka
Teplosměnný výkon	2912,0		[kW]
Teplosměnná plocha	79,798		[mm <sup>2</sup> ]
Průměr trubek	20,0		[mm]
Počet trubek	474,14		[-]
Délka trubek	3000,0		[mm]
Média	Roztok	Chladicí voda	
Vstupní teplota	105	40	[°C]
Výstupní teplota	90	51,5	[°C]
Průtočné množství	37,671	50,0	[kg/s]
Tlaková ztráta	0,868	0,405	[kPa]

Tab. 8.5 Charakteristiky výměníku tepla - Twisted tube technology

Naopak teplota řídkého roztoku před vstupem do odparky je potřeba zvýšit. Navýšení teploty se provede pomocí kondenzačních výměníků tepla neboli kondenzátorů (Condensers).

Pro první stupeň předpokládáme teplotu roztoku čerpaného z podzemí kolem 10 °C, která se průchodem kondenzátoru navýší na 95 °C. V dalších stupních je roztok čerpán z mezi-nádrže, takže jeho vstupní teplota do kondenzátoru je 90 °C a výstupní 95 °C. Výstupní teplota 95 °C je volena s jistou rezervou cca 12 K oproti navrhované teplotě nástřiku do první komory odparky každého stupně.

## 8.2 Plynová turbína Rolls-Royce RB211

Jak již bylo shora řečeno, ohřívací systém koncových ohříváčů (End heaters) bude zásobován spaliny ze spalovací plynové turbíny, jejímž výrobcem je společnost Rolls-Royce. Typové označení plynové turbíny je RB211 model 6761. Výstupní parametry spalin z plynové turbíny jsou převzaty přímo z katalogu společnosti Rolls-Royce:

- průtočné množství spalin  $m_{exh} = 92,1$  kg/s
- teplota spalin  $t_{exh} = 508$  °C
- měrné teplo spalin  $Cp_{exh} = 1,2$  kJ/kg.K

Teplotu spalin  $t_{exh_{out}}$  průchodem koncových ohříváčů je pak možno zjistit pomocí tepelné bilance aparátu pro výše zjištěný tepelný tok  $Q_{duty} = 2,191 \cdot 10^4$  kW:

$$Q_{duty} = m_{exh} \cdot Cp_{exh} \cdot (t_{exh} - t_{exh_{out}}) \Rightarrow t_{exh_{out}} = t_{exh} - \frac{Q_{duty}}{m_{exh} \cdot Cp_{exh}} \quad (8.10)$$

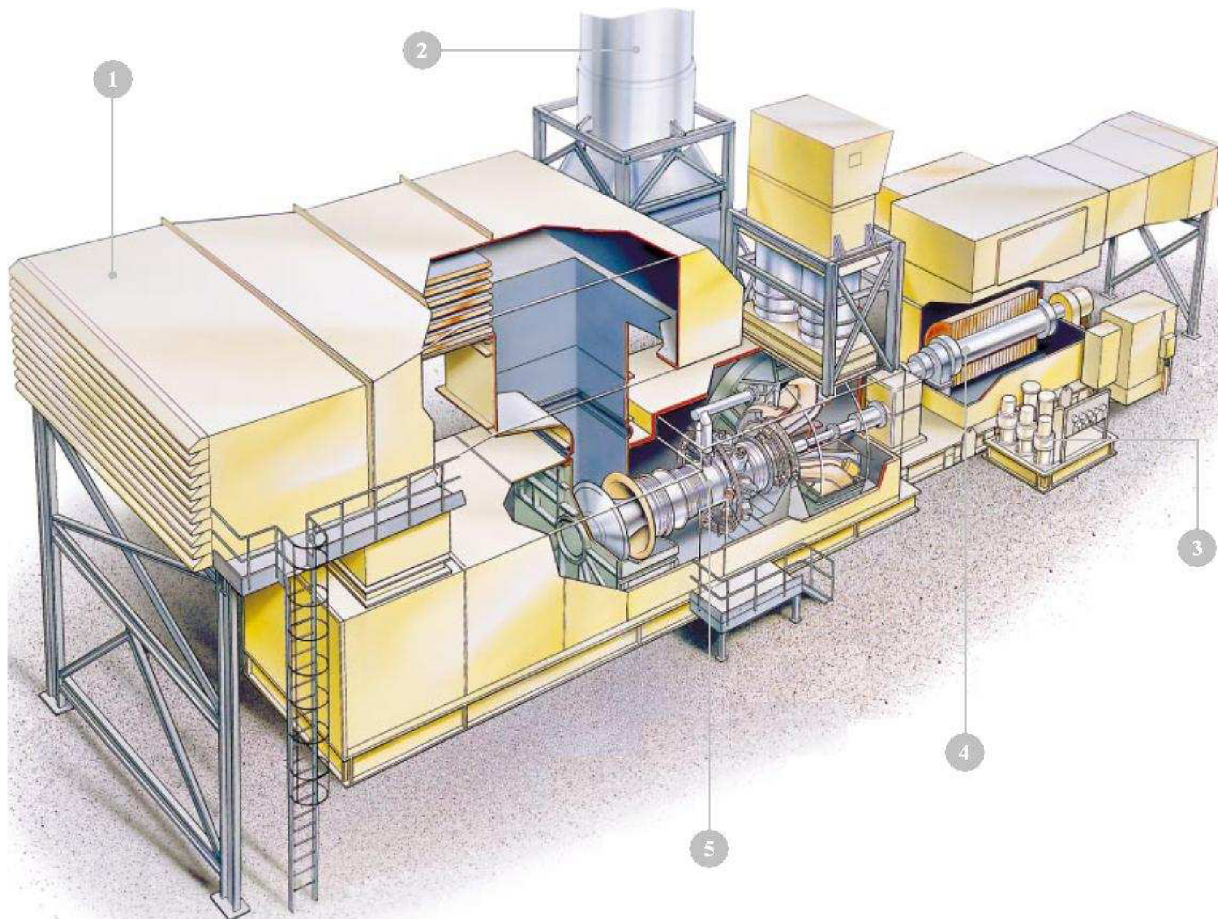
$$t_{exh_{out}} = 508 - \frac{2,191 \cdot 10^4}{92,1 \cdot 1,2} = 309,713 \text{ °C}$$

Takže spaliny na výstupu z koncových ohříváčů budou mít teplotu cca 310 °C, což je dostatečná teplota pro výrobu páry v utilizačním kotli (HRSG).

Konfigurace plynové turbíny Rolls-Royce RB211 je zobrazena na obr. 8.16 [21], kde je vidět, že se tento tzv. Generating set skládá z několika následujících částí:

1. část - Okolní vzduch je nasáván ventilátory do filtru, kde probíhá čištění vzduchu. Pak je vzduch zchlazen a aerodynamicky upraven na spalovací vzduch, který dále pokračuje do kompresoru. Tento úsek slouží také k tlumení hluku.
2. část - Při startování (6 min.) turbíny ze studena je potřeba nejprve roztočit turbínu externím zdrojem (elektromotor) na cca 35 % nominálních otáček. Pak už je v turbínovém prostoru dostatek vzduchu o tlaku (třeba 10 bar), které je dostatečné ke vstříknutí paliva a jeho zapálení. Aby při startu nemusel pracovat kompresor na takový výkon pro překonání protitlaku v kanálu, je proud vzduchu odtahován do komína.
3. část - Jak je z modelu patrné, tato část slouží jako zásoba paliva, maziva a dalších přídavných zařízení.
4. část - V dobře zaizolovaném sektoru se nachází generátor pro výrobu elektrické energie o výkonu 30,73 MW, odkud jde pak 28,9 MW do sítě. Úsek obsahuje i chladicí a mazací generátorový systém.
5. část - Nejdůležitější částí v navrhované technologii je část turbínová, kde dochází ke spalování paliva (zemní plyn) se stlačeným vzduchem z kompresoru. Tím dochází

k roztáčení turbíny a následně pak i elektrického generátoru, který je přes převodovku propojen s hřídelí plynové turbíny. Převodovka slouží k regulaci otáček generátorové hřídele. I tato část je velmi dobře zvukově i tepelně zaizolována.



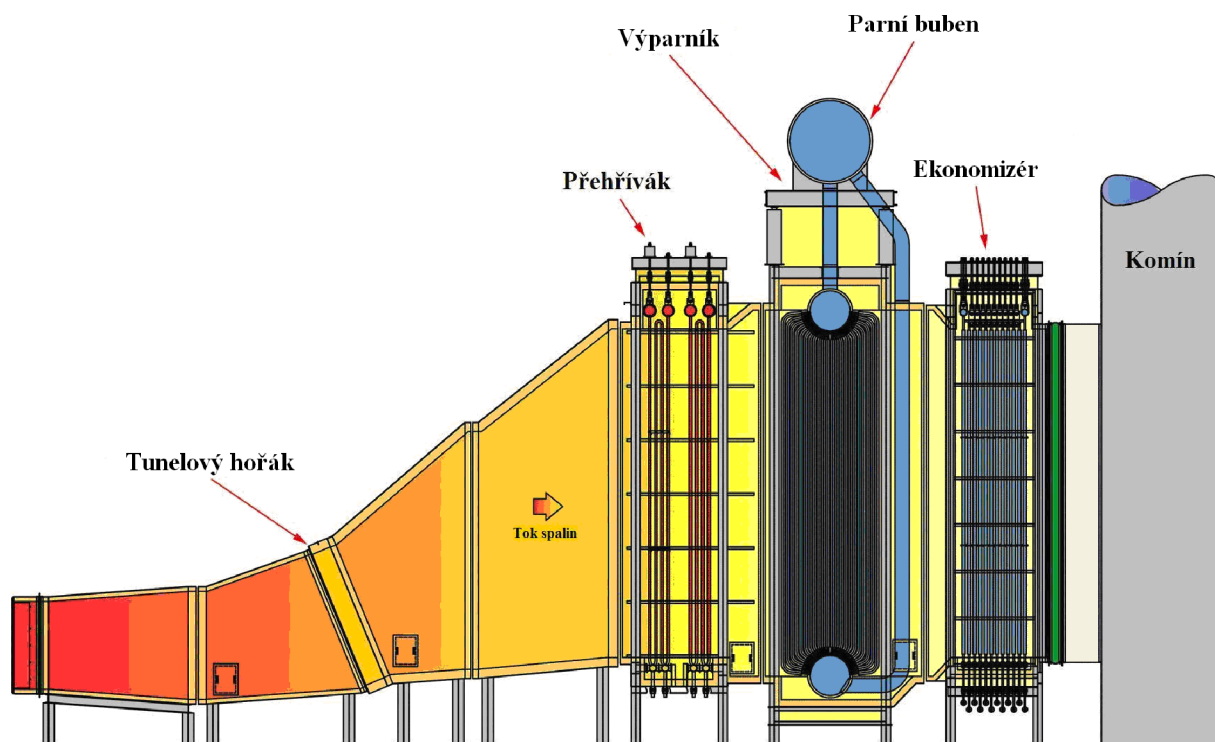
Obr. 8.16 Konfigurace plynové turbíny Rolls-Royce RB211

### 8.3 Utilizační kotel

Kotel na odpadní teplo neboli utilizační kotel (Heat Recovery Steam Generator dále už jen HRSG) je v podstatě výměník tepla, který využívá teplo přijaté ze spalin pro generování páry. HRSG nemá vlastní spalovací zařízení, proto jsou do něj spaliny přiváděny z energetického zařízení - spalovací turbíny. Spaliny produkované spalovací turbínou mají poměrně nízkou teplotou 508 °C, která je ještě snížena průchodem koncových ohřívačů na hodnotu cca 310 °C. Další charakteristikou spalin produkovaných plynovou turbínou je jejich vysoký obsah kyslíku (přebytek vzduchu cca 3,5). V takovém případě je nutno jejich teplotu zvýšit instalací tzv. tunelového hořáku (Duct burner), který při spalování přídatného plynného paliva spotřebovává přebytečný kyslík a tím snižuje množství nevyužitelného ztrátového tepla.

Spaliny proudí o průtočném množství  $M_s = 92,1 \text{ kg/s}$  kanálem k tunelovému hořáku, kde je jejich teplota navýšena na hodnotu  $t_{DB} = 590 \text{ °C}$ , odkud pokračují do první části HRSG přehříváku (Superheater). Odtud proudí do výparníku (Evaporator) a následně pak do ekonomizéru (Economiser). Ochlazený proud spalin průchodem všech částí sníží svoji teplotu na hodnotu  $t_{stack} = 136,866 \text{ °C}$  a pak je odtažován a komínem vypouštěn do ovzduší.

Konfigurace takového zařízení je představeno na obr. 8.17 [22].



Obr. 8.17 Horizontální utilizační kotel

Při spotřebě zemního plynu  $DB$  v tunelovém hořáku:

$$DB = M_s \cdot C_{p_{exh}} \cdot \left( \frac{t_{DB} + t_s}{2} \right) \cdot (t_{DB} - t_s) \cdot 3,6 \cdot (35,6 \cdot 10^{-3}) \quad (8.19)$$

$$DB = 92,1 \cdot 1,059 \cdot 10^3 \cdot \left( \frac{590 + 309,713}{2} \right) \cdot (590 - 310,713) \cdot 3,6 \cdot (35,6 \cdot 10^{-3})$$

$$DB = 2,833 \cdot 10^3 \frac{m^3}{hod}$$

má HRSG tepelný výkon  $Q_k$  pro výrobu páry:

$$Q_k = M_s \cdot C_{p_{exh}} \cdot \left( \frac{t_{DB} + t_{stack}}{2} \right) \cdot (t_{DB} - t_{stack}) \cdot 10^{-6} \quad (8.20)$$

$$Q_k = 92,1.1,059 \cdot 10^3 \left( \frac{590 + 136,866}{2} \right) \cdot (590 - 136,866) \cdot 10^{-6} = 44,34 \text{ MW}$$

kde  $C_{p_{exh}}$  je měrné teplo spalin v hodnotě  $1,059 \cdot 10^3$  kJ/kg.K

Aby probíhala výměna tepla mezi spalinami a vodou resp. párou, nesmí v žádném bodě dojít k překřížení teplotních profilů a musí existovat dostatečný teplotní rozdíl, který vytváří hnací sílu přenosu tepla. Množství generované páry a výstupní teplotu spalin pak zásadně ovlivňuje volba minimálního teplotního rozdílu „PINCH“  $\Delta t_{min} = 15$  K (rozdíl teploty spalin na výstupu z výparníku a teploty sytosti napájecí vody) a minimálního teplotního přiblížení „APPROACH“  $\Delta_v = 10$  K (rozdíl teploty napájecí vody na mezi sytosti a vstupu do výparníku). Pro jejich určení lze použít hodnoty uvedené v tab. 8.5 [23].

Teplota spalin na vstupu [°C]	$\Delta t_{min}$ [K]		$\Delta_v$ [K]
	Hladké	Žebrované	
650 – 1000	70 – 85	15 – 33	20 - 40
370 – 650	45 - 70	5 – 15	5 - 20

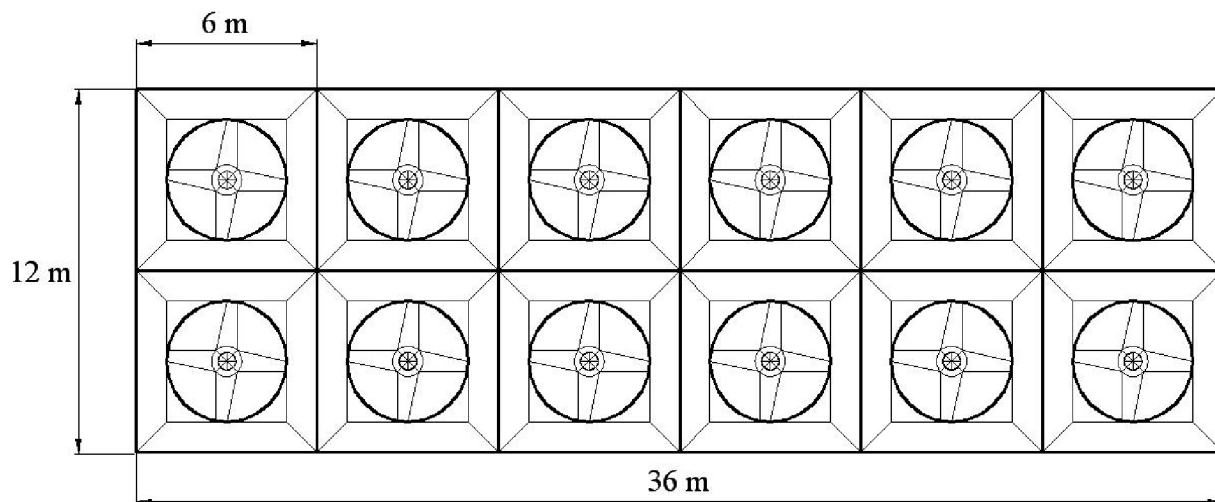
Tab. 8.5 Doporučené hodnoty teplotního přiblížení

Podrobný výpočet procesu v HRSG je uveden v příloze č. 1. Množství generované páry  $M_p$  v HRSG je cca 70 t/hod o tlaku 6 bar a teplotě 165 °C, která je dále využívána pro přehřev roztoku před vstupem do první komory jednotlivých odparek každého stupně nebo v jiném procesu.

## 8.4 Vzduchem chlazené výměníky tepla

Chladící vodu (destilát), které se průchodem cirkulačního chladícího okruhu zvýší teplota 65 °C, je potřeba pro svoje opětovné využití zchladit na vstupní teplotu do nádrže chladící vody, což odpovídá hodnotě 40 °C. Pro tento účel jsou vybrány vzduchem chlazené tepelné výměníky, jejichž konfigurace je zjednodušeně naznačena na obr. 8.18.

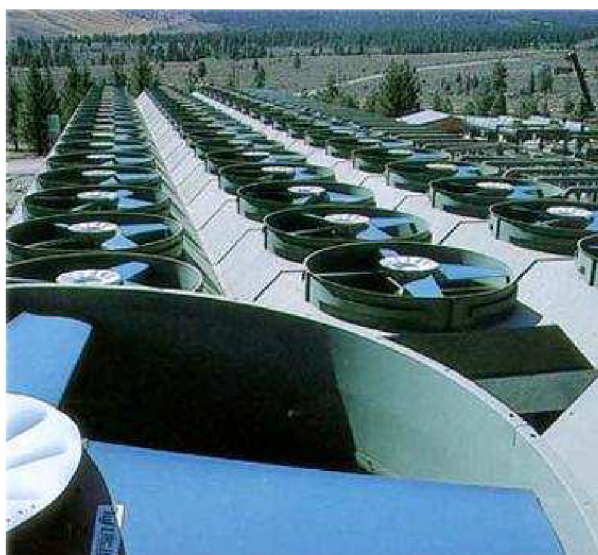




Obr. 8.18 Konfigurace vzduchem chlazených výměníků

Okolní vzduch použitý jako chladicí médium o teplotě asi 20 °C je nasáván ventilátory do mezitrubkového prostoru výměníku tepla, na jehož výstupu je po tepelné výměně s proudícím destilátem teplota vzduchu 51,3 °C. Chladicí výkon ventilátorů je 40,0 MW. Trubky výměníku jsou voleny pro lepší přenos tepla žebrované o průměru trubek 25,0 mm s počtem žeber 390 na jeden metr. Každý svazek, tzn. dva výměníky, o celkových rozměrech 12,0 m x 6,0 m x (3 x 2,0 m) viz obr. 8.18, bude obsahovat 8 řad trubek. Celkové uspořádání vzduchem chlazených výměníků bude obsahovat 6 svazků, kde na každý svazek budou dva ventilátory o průměru 4,5 m. Příkon motorů všech ventilátorů je 340,0 kW. Hmotnost celého zařízení je pak 2403,0 tun.

Pro vizuální představu je zde uvedena fotografie takového zařízení (viz obr. 8.19 [24]).



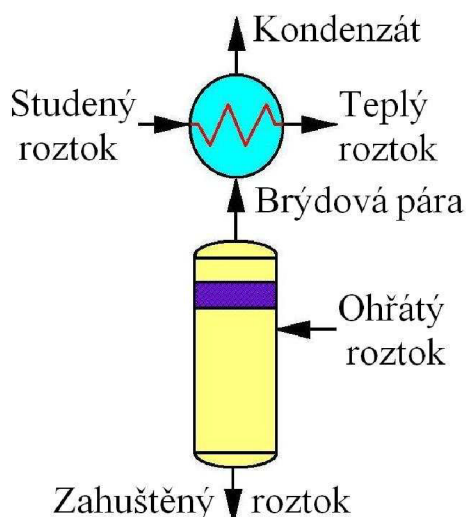
Obr. 8.19 Vzduchem chlazený výměník tepla

## 9 Simulace navrhované části technologie v programu ChemCAD 5

Je obvyklé, že pro analýzy rozsáhlejších chemicko-technologických uspořádání jsou využívány simulační systémy. Zde je pro tento účel využito programu ChemCAD 5.

Pro simulaci procesu navrhované technologie byla vybrána jen její část a to v podobě prvního stupně odpařování, který v sobě zahrnuje dvě tělesa expanzních odparek, kvůli dříve zmíněnému velkému množství nástřiku. Ke každému tělesu odparky také přísluší odpovídající koncový ohříváč, kondenzační výměník tepla tzv. kondenzátor a tepelný výměník se „zkroucenými trubkami“ (Twisted Tube technology). Protože ChemCAD 5 ve svojí databázi požadované aparáty neobsahuje, bylo nutné je nasimulovat pomocí aparátů dostupných.

Podle principu skutečné expanzní odparky je každá expanzní komora pomyslně rozdělena na vrchní kondenzační část a spodní expanzní část. Z tohoto faktu se musí vycházet i při modelování expanzní odparky v ChemCADu. Jako horní kondenzační část jedné expanzní komory je zvolen výměník tepla (Heat exchanger). Pro spodní expanzní část se jeví jako nevhodnější víceúčelový expandér (Multipurpose flash). Způsob zapojení expanzní komory je znázorněn na obr. 9.1.



Obr. 9.1 Expanzní komora (Heat exchanger + Flash)

Specifikace expandéru (Flash Mode) je zvolena na expanzi, kde nastavený tlak odpovídá vždy tlaku v příslušné expanzní komoře (viz tab. 9.1). Tím se docílí rozdělení kapalné (roztok) a plynné (brýdová pára) fáze. Tepelný výměník (kondenzátor) je specifikován pouze tak, aby výstupní proud z mezitrubkového prostoru byl v kapalné fázi, tzn., že bod odpaření je nastaven na nulovou hodnotu (0,001).

Komora	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Tlak [bar]	1,2	2,1	3,5	5,6	8,7	12,9	18,5	25,9	35,3	47,2	61,9	79,9

Tab. 9.1 Tlak příslušné komory

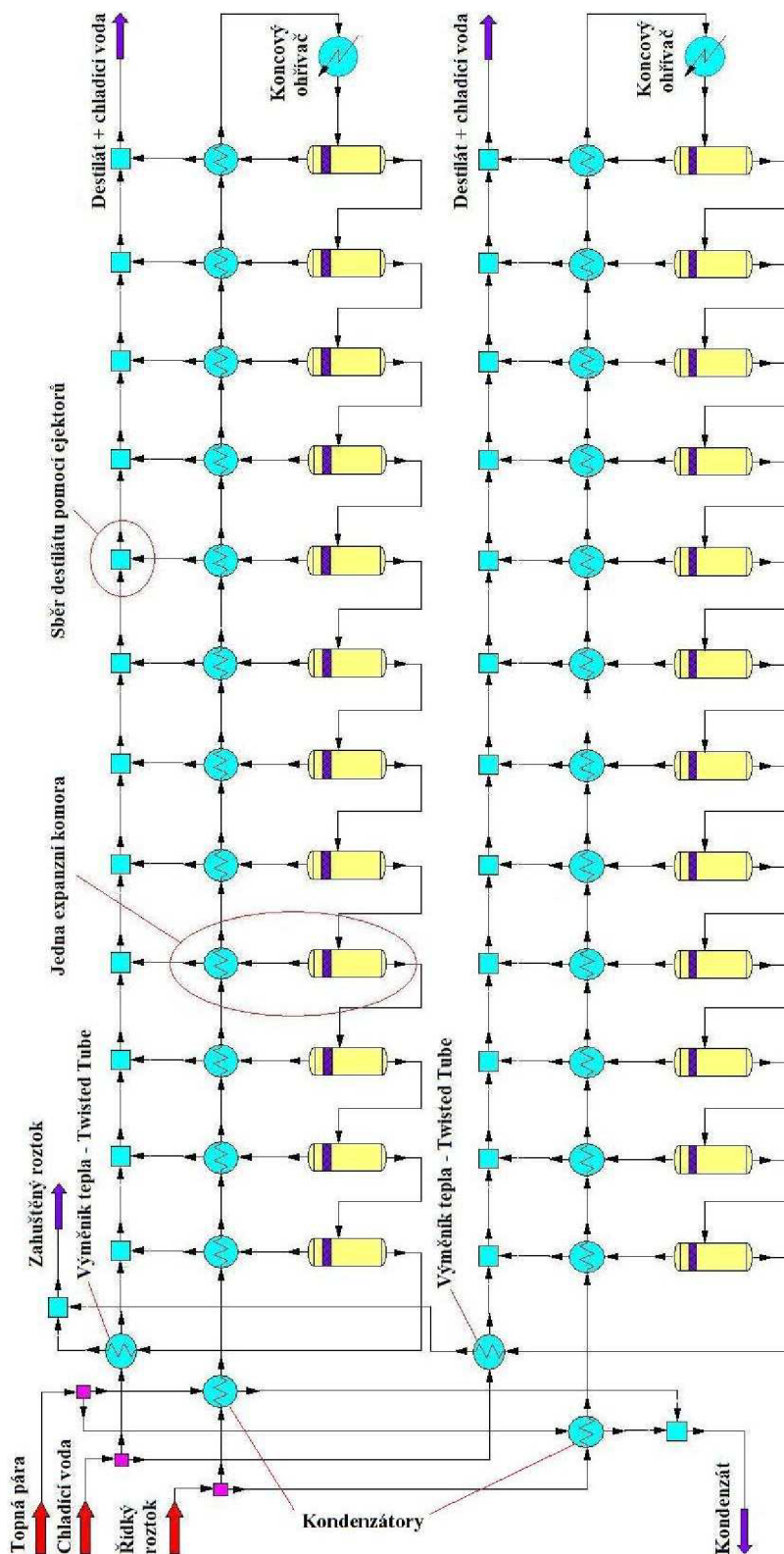
Níže prezentované schéma (obr. 9.2) představuje konfiguraci prvního stupně odpařování se dvěma paralelně zapojenými expanzními odparkami, kde každou tvoří dvanáct expanzních komor. Jak je ze schématu patrné, nástřík vstupující do prvního stupně je rozdělen na dva proudy. Průtočné množství každého proudu je  $176,4 \text{ m}^3/\text{hod}$ . Tlak v nástříku musí převyšovat hodnotu součtu tlakových ztrát, které získá při zpětném proudění kaskádou expanzních komor včetně průchodu koncovým ohřívacem. Takže tlak řídkého roztoku je nastaven na hodnotu 105 bar.

Teplota nástříku je  $10 \text{ }^\circ\text{C}$ . Protože čerpaný roztok obsahuje celou řadu složek (rozpuštěných a nerozpuštěných látek), jejichž koncentrace není jednoznačně známa, vychází se z faktu, že kromě vody je zde obsažena v největší koncentraci kyselina sírová. Jako tomu bylo u návrhového výpočtu v 8. kapitole i zde bude vstupní koncentrace látek, které jsou reprezentovány kyselinou sírovou, na hodnotě  $0,025 \text{ } \%$  hm. Zbytek tedy bude voda ( $0,975 \text{ } \%$  hm.).

Před vstupem řídkého roztoku do první komory expanzní odparky je nutné jeho teplotu zvýšit. Pro tento účel je zvolen výměník tepla, kde jediná jeho specifikace je výstupní teplota řídkého roztoku a to o hodnotě cca  $83 \text{ }^\circ\text{C}$ . Jako ohřívací médium slouží topná pára. Její teplota je nastavena na  $158,832 \text{ }^\circ\text{C}$  o tlaku 6 bar a průtočné množství páry je voleno tak, aby při spuštění výpočtu došlo ke konvergenci. Pára je rozdělena pomocí rozdělovače (Divider) do dvou proudů o stejných parametrech.

Řídký roztok o příslušných parametrech vstupuje do první komory expanzní odparky a průchodem všemi kondenzátory je ohřát na teplotu cca  $250 \text{ }^\circ\text{C}$ . Aby mohl zpětně proudit expanzními částmi komor, je třeba jeho teplotu zvýšit až na hodnotu cca  $312 \text{ }^\circ\text{C}$ . K tomu postačí jednoduchý tepelný výměník neboli koncový ohříváč, jehož jedinou specifikací bude výstupní teplota roztoku. Roztok potom průchodem všemi komorami sníží svojí teplotu až na  $105 \text{ }^\circ\text{C}$ , čemuž odpovídá tlak sytosti 1,2 bar.

V návrhu slouží mezi-nádrže pro uskladnění zahuštěného roztoku před vstupem do dalšího stupně. Aby nedocházelo v mezi-nádržích k odpařování roztoku, je nutné jeho teplotu snížit. Za účelem co nejnižších tlakových ztrát při vysokém přenosu tepla je zvolen k ochlazení roztoku tepelný výměník se „zkroucenými trubkami“ (Twisted Tube), jehož chladícím médiem je voda. Chladicí voda o teplotě  $40^\circ\text{C}$  a tlaku 3 bar je vedena ze společné nádrže v průtočném množství, zvoleném tak, aby při jeho rozdělení v druhém rozdělovači (Divider) bylo dostatečné k ochlazení roztoku a zároveň i kondenzátu (destilátu) vedeného výstupním proudem z mezitrubkového prostoru kondenzátorů každé komory. Pro sběr destilátu je zvolen směšovač (Mixer) bez jakékoliv specifikace.



Obr. 9.2 Schéma konfigurace expanzní odparky

Výstupní parametry odpařovacího procesu pro první stupeň jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 9.2).

Parametr	Hodnota	Jednotka
Výstupní koncentrace RL	0,0417	% hm.
Teplo dodané koncovými ohříváči	31,961	MW

Tab. 9.2 Výstupní parametry prvního stupně (ChemCAD)

Pro srovnání je zde uvedena tabulka (tab. 9.3) výstupních parametrů stejného procesu z návrhového výpočtu provedeného v programu MathCAD.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Výstupní koncentrace RL	0,0403	% hm.
Teplo dodané koncovými ohříváči	9,167	MW

Tab. 9.3 Výstupní parametry prvního stupně (MathCAD)

Jak je z porovnání tabulek zřejmé, obě výpočtové metody se shodují pouze ve výstupní koncentraci rozpuštěných látek. V případě tepla dodaného koncovými ohříváči by odlišnost hodnot mohla být způsobena větším rozdílem teplot roztoku na vstupu a výstupu, což v ChemCADu činí cca 62 K, zatím co v MathCADu je to cca 22 K. Také se musí vzít v potaz řada z jednodušší provedená v návrhovém výpočtu (např. konstantní měrné teplo a to vody a ne roztoku nebo výparné teplo opět vody a ne roztoku) nebo v simulaci (např. roztok kyseliny sírové). Nejdůležitějším parametrem je však výstupní koncentrace roztoku, která při stejných vstupních podmínkách obou výpočtových metod vychází přibližně stejná.

Kompletní procesní schéma a výpis výstupních dat proudů simulace v ChemCADu je uveden v příloze č. 2.

## 10 Ekonomické aspekty

Pro vyhodnocení realizovatelnosti projektu technologie takového rozsahu ale nestačí pouze návrhový výpočet nebo jeho ověření. Aby bylo možné dané problematice dobře porozumět, bude nejlepší celou situaci, jako je tomu v běžné realitě, vyhodnotit v penězích. Nakonec se nadarmo neříká, že peníze jsou až na prvním místě.

V tak krátkém časovém intervalu a v rámci této diplomové práce ale není možné zpracovat, jaké by byly investiční náklady takového projektu, jejich návratnost nebo dokonce porovnání s investičními náklady původní technologie.

Jen pro ilustraci je zde uvedeno srovnání nákladů na provoz stávající odpařovací technologie s návrhem mnohostupňové odparky v konfiguraci s plynovou turbínou.

Z návštěvy v o. z. TÚU ve Stráži pod Ralskem můžeme o stávajícím provozu SLKR I říct, že se nijak nepodílí na výrobě energie ať už tepelné nebo elektrické, která by se dala exportovat do jiného provozu nebo do veřejné sítě. Jediným známým parametrem je spotřeba elektrické energie kompresorů, které slouží k výrobě topné páry a cirkulačních čerpadel, které dopravují roztok ze zádržové komory do rozdělovací.

Jak už bylo dříve zmíněno, v provozu SLKR I se nachází tři odparky, z nichž každá ve své konfiguraci obsahuje kompresor a dvě cirkulační čerpadla. Příkon každého kompresoru je 3,4 MW a každého čerpadla 0,2 MW. Ale vzhledem k obtížím se zarůstáním odparek inkrustacemi síranu vápenatého, jsou v provozu většinou jen dvě odparky, tudíž i jen dva kompresory a čtyři čerpadla. Tzn., že náklady na provoz konvenčních odparek můžeme vyhodnotit, jako je tomu v tab. 10.1.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Příkon jednoho kompresoru	3,4	MW
Příkon dvou kompresorů	6,8	MW
Příkon jednoho cirkulačního čerpadla	0,2	MW
Příkon čtyř cirkulačních čerpadel	0,8	MW
Celková spotřeba elektrické energie	7,6	MW
Cena za odběr elektrické energie	2 800	Kč/MWh
Náklady na celý provoz za hodinu	21 280	Kč/hod
Roční provozní doba	7 500	hod
Náklady na celý provoz za rok	159 600 000	Kč/rok

Tab. 10.1 Parametry provozu konvenčních odparek

Navržená technologie v sobě nezahrnuje zařízení s tak velkými energetickými nároky, spíše naopak. Konfigurace nové technologie obsahuje spalovací plynovou turbínu, což je zařízení, které spalováním zemního plynu elektrickou energii vyrábí. GenSet s plynovou turbínou Rolls-Royce RB211 model 6761 generuje elektrickou energii s výkonem 30 730 kW. Část jeho výkonu je spotřebována pro vlastní chod turbíny a zbytek, který činí 28 900 kW, může být využit pro potřeby celého o. z. TÚU nebo může být distribuován do rozvodné sítě. V realitě by se jednalo o první případ, ale pro srovnávací účely budeme uvažovat, že se 28 900 kW bude dodávat do sítě.

Hlavním odběrovým faktorem je spotřeba zemního plynu ať už pro spalovací turbínu nebo kanálové hořáky (Duct burners), které jsou součástí utilizačního kotle. Provozní parametry spalovací turbíny Rolls-Royce RB211 jsou uvedeny v tab. 10.2.

Parametr	Hodnota	Jednotka
ISO výkon	30,73	MW
Export el. výkonu do sítě	28,9	MW
Tepelný výkon	8 790	BTU/kWh
Účinnost	38,8	%
Spotřeba paliva	79,14	MW
Výhřevnost zemního plynu	35	MJ/m <sub>N</sub> <sup>3</sup>
Spotřeba zemního plynu	8 140,47	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /hod

Tab. 10.2 Parametry provozu plynové turbíny Rolls-Royce RB211

Spotřeba zemního plynu pro provoz utilizačního kotle (HRSG) a energetické nároky ostatních zařízení a následně celého provozu jsou v tab. 10.3. Opět vzhledem k rozsahu celé navrhované technologie není možné, aby byly objasněny veškeré náležitosti týkající se každého zařízení. Proto za největšího odběratele elektrické energie můžeme, kromě plynové turbíny samotné, v tuto chvíli považovat motory ventilátorů vzduchem chlazených výměníků, jejichž celkový příkon je 340 kW.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Spotřeba zemního plynu HRSG	2 833	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /hod
Příkon motorů ventilátorů	340	kW
Celková spotřeba zemního plynu	10 973,47	m <sub>N</sub> <sup>3</sup> /hod
Skutečný export el. výkonu do sítě	28,56	MW

Tab. 10.3 Provozní parametry ostatních zařízení a celého provozu

Předpokládané ceny za odběr zemního plynu a výkup elektrické energie, které jsou určovány Energetickým regulačním úřadem ČR, jsou zaznamenány tab. 10.4. Jedním faktorem při

vyčíslení ceny za výkup elektrické energie vyrobené spalovací turbínou je skutečnost, že se jedná o kombinovanou výrobu elektřiny a tepla. Cena za výkup by proto mohla být navýšena o příspěvek, který je účtován územně příslušnému provozovateli regionální distribuční soustavy. Dalším faktorem je, že se jedná o oblast, která spadá do sektoru vypořádání se starými zátěžemi, což by mohlo také příznivě ovlivnit cenu za výkup elektrické energie.

Vzhledem k tomu, že okolnosti kolem výkupní ceny za vyrobenou elektrickou energii použitím spalovací turbíny a v této oblasti nejsou jednoznačně známy, budeme pro jistotu předpokládat cenu za výkup v rozmezí od 2,50 Kč/kWh do 3,70 Kč/kWh.

Parametr	Hodnota	Jednotka
Předpokládaná cena za odběr zemního plynu	9,52	Kč/m <sub>N</sub> <sup>3</sup>
Nižší cena za výkup el. energie	2 500	Kč/MWh
Vyšší cena za výkup el. energie	3 700	Kč/MWh

Tab. 10.4 Provozní parametry ostatních zařízení

Platby za odběr zemního plynu a tržby za elektrickou energii exportovanou do rozvodné sítě pro oba mezníky mohou být vyhodnoceny následovně (viz tab. 10.5 a tab. 10.6).

Parametr	Hodnota	Jednotka
Tržby za export el. energie s nižší cenou za výkup	71 400	Kč/hod
Poplatky za odběr zemního plynu	104 467,43	Kč/hod
Rozdíl	- 33 067,43	Kč/hod
Roční provozní doba	7 500	hod
Náklady na provoz	248 005 725	Kč/rok

Tab. 10.5 Poplatky a tržby za provoz nové technologie

Parametr	Hodnota	Jednotka
Tržby za export el. energie s vyšší cenou za výkup	105 672	Kč/hod
Poplatky za odběr zemního plynu	104 467,43	Kč/hod
Rozdíl	1 204,57	Kč/hod
Roční provozní doba	7 500	hod
Roční přínos	9 034 275	Kč/rok

Tab. 10.6 Poplatky a tržby za provoz nové technologie



Z tab. 10.5 je zřejmé, že při výkupní ceně 2,50 Kč/kW by provozní náklady na novou technologii byly cca 1,5 krát vyšší. Ale při porovnání nákladů stávajících odparek (viz tab. 10.1) s navrhovanou technologií (viz tab. 10.6), kde je cena za výkup el. energie 3,70 Kč/kW, můžeme vyhodnotit celkový rozdíl nároků na jejich provoz, který činí 168 634 275 Kč/rok. Na tomto místě už je vhodné uvést, že investiční náklady navrhované technologie by se mohly pohybovat kolem hodnoty 2,1 mld. korun, kde 300 mil. korun (záznam z roku 2000) by byly náklady na výstavbu GenSetu plynové turbíny Rolls-Royce RB211.

Dalším aspektem kladně ovlivňující chod celého podniku je možnost produktivnější výroby kondenzátu nebo vlastně destilátu vzhledem k větším zpracovatelským kapacitám nové technologie odpařování. Protože je v dnešní době kvalitní užitkové nebo i pitné vody spíše nedostatek, s jejím využíváním by se mělo nakládat co možná nejekonomičtěji. V o. z. TÚU se nachází více technologií souvisejících se sanací horninového prostředí. Například je to provoz neutralizační stanice NDS 6 nebo neutralizační stanice na zpracování matečných louhů, která je právě ve výstavbě. Stěžejní surovinou těchto neutralizačních stanic je právě kvalitní užitková voda, jež se využívá pro výrobu vápenného mléka.

Však největší ekonomickou ztrátou stávajícího provozu oproti novému návrhu je fakt, že zařízení nepracuje podle předpokládaných parametrů, což nepříznivě působí na celou ekonomiku státního podniku Diamo.

## 11 Závěr

Těžba uranové rudy chemickým způsobem - loužením „in situ“ - v oblasti Stráže pod Ralskem byla zahájena zhruba před 40-ti lety a trvala cca 27 let do roku 1996. Uran byl získáván loužením kyselinou sírovou přímo v horninovém prostředí, odkud byl získaný roztok následně dopravován na povrch a přepracován do uranového koncentráту, známého pod názvem žlutý koláč (Yellow Cake).

Hlavní negativní stránkou a vlastně i příčinou ukončení těžby uranu chemickým způsobem byl při masívní kontaminaci cenomanského kolektoru následný průsak do turonskeho vodního horizontu. Vzhledem k tomu, že turowský kolektor je hlavním zdrojem pitné vody pro město Mimoň a Liberec, došlo jeho kontaminací k ohrožení veřejného zásobování pitnou vodou. Celkově bylo kontaminováno území o rozloze 24,1 km<sup>2</sup> včetně tzv. dotčených vod v objemu cca 370 mil. m<sup>3</sup>. Uvedená rozloha představuje pouze oblast s prokázanou kontaminací. Není tedy vyloučené, že skutečná ohrožená oblast může být mnohem rozsáhlejší. Hlavním kontaminantem byla kyselina sírová v množství cca 4 mil. tun, dále pak v menším množství např. kyselina dusičná, amoniak, kyselina fluorovodíková a kyselina chlorovodíková. Příčinou kontaminace byl nesprávný způsob aplikace metody chemického loužení ve složitých geologických a hydrogeologických podmínkách a podcenění možných rizik.

V roce 1996 byla přijata řada opatření ke zmírnění následků chemické těžby uranu na životní prostředí (např. hydraulická ochranná bariéra, sanační těžba kontaminovaných vod atd.) a v roce 1998 bylo konstatováno, že šíření kontaminace bylo prakticky zastaveno. Následná opatření spočívají ve vyčerpání cca 3,5 mil tun kontaminantů z podloží, jejich zpracování na povrchu s cílem získat dále využitelný produkt (síran hlinitý) a zbytky ukládat na odkaliště.

Pro realizaci tohoto záměru byla vybudována chemická stanice na separaci uranu a komplex likvidace kyselých roztoků, který je tvořen odpařovací stanicí a krystalizací kamence. V současnosti je budován komplex neutralizace matečných louhů a připravují se další opatření.

Těžištěm problematiky, na kterou je diplomová práce zaměřena, je řešení problému spojeného se vznikem inkrustací síranu vápenatého na teplosměnných plochách odparek, sloužící k navození hydraulické podbilance v podzemí. Nárůst rychlosti tvorby inkrustací má úzkou souvislost se snižující se koncentrací kyseliny sírové v roztoku čerpaného odparkami během období 1996-2009, čímž způsobuje stále rostoucí provozní obtíže a ekonomické ztráty.

V rámci diplomové práce byla navržena a rozpracována dvě řešení tohoto problému.

První opatření, které lze realizovat okamžitě, spočívá v jiném systému rozvodu nástřiku do trubek kondenzátoru stávajících odparek a představuje snahu zvýšit efektivitu stávajícího technologického zařízení.

Druhé, které má charakter studie, zcela zásadním způsobem mění stávající koncepci technologie odpařování, neboť rozpracovává odlišný princip zahušťování vstupních medií pomocí mnohastupňové expanzní odparky.

Navržená technologie vychází ze zkušeností z odsolování mořské vody se zárukou odstranění problémů spojených s inkrustacemi. Návrh je zpracován na stávající potřeby z hlediska potřebných výkonových kapacit, koncentračních parametrů vstupních a výstupních medií. Navíc výrazně příznivě řeší ekonomickou stránku procesu tím, že je do systému vložena plynové spalovací turbína, z níž odvedené odpadní teplo je využíváno v dalším procesu. Zařízení zastává funkci kogenerační energetické jednotky a přispívá tak ke zvýšení účinnosti celé technologie.

## Seznam použité literatury a obrázků

- [1] *Počátky v 60. letech minulého století*. 2007 [cit. 2009-01-01]. Dostupný z WWW: <<http://www.montanya.org/DOLY/URAN/STRAZPODRALSKEM/historie-60.htm>>
- [2] MUŽÁK, J. *Historie, současnost a budoucnost sanace následků po chemické těžbě uranu ve Stráži pod Ralskem*. Diamo.cz. Srpen 2008 [cit. 2009-01-02]. Dostupný z WWW: <<http://www.diamo.cz/download-document/58-noviny-diamo-srpen-2008>>
- [3] RYCHTAŘÍK, T. *Průběh sanačních prací po chemické těžbě uranu*. *Energetika*. Zář 2005 [cit. 2009-01-03]. <[http://www.volny.cz/casopis.energetika/e\\_0903\\_4.html](http://www.volny.cz/casopis.energetika/e_0903_4.html)>
- [4] MUŽÁK, J. *Remediation of Consequences of Chemical Leaching of Uranium in Stráž pod Ralskem*. 2008 [cit. 2009-01-04]. Dostupný z WWW: <[http://www.imwa.info/docs/imwa\\_2008/IMWA2008\\_036\\_Muzak.pdf](http://www.imwa.info/docs/imwa_2008/IMWA2008_036_Muzak.pdf)>
- [5] *Fotogalerie, TÚU*. Diamo.cz. 2009 [cit. 2009-01-05]. Dostupný z WWW: <<http://www.diamo.cz/fotogalerie/tuu/>>
- [6] *Následky chemické těžby uranu ve Stráži pod Ralskem*. EnviWeb.cz. 12. 05. 2007 [cit. 2009-01-05]. Dostupný z WWW: <[www.enviweb.cz/env=odpady\\_archiv\\_gdgcj/Nasledky\\_chemicke\\_tezby\\_uranu\\_ve\\_Strazi\\_pod\\_Ralskem.html](http://www.enviweb.cz/env=odpady_archiv_gdgcj/Nasledky_chemicke_tezby_uranu_ve_Strazi_pod_Ralskem.html)>
- [7] LUŤCHA, J. *Sanace oblasti bývalé chemické těžby uranu*. KG Process Innovations s.r.o. Březen 2006. 16 s.
- [8] *Chemická těžba*. 2007 [cit. 2009-01-06]. Dostupný z WWW: <<http://www.montanya.org/DOLY/URAN/STRAZPODRALSKEM/chemicka-tezba.htm>>
- [9] *Environmentální zátěže ve správě Diamo, s. p., Stráž pod Ralskem*. Diamo.cz. Leden 2008 [cit. 2009-01-07]. 103 s. Dostupný z WWW: <<http://www.diamo.cz/download-document/59-environmentalni-zateze>>
- [10] *Zpráva o průběhu přípravného období sanace chemické těžby uranu ve Stráži pod Ralskem*. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 1. 6. 1998.
- [11] *Přehled základních legislativních předpisů souvisejících s chemickou těžbou*. Mzp.cz. [cit. 2009-01-08]. Dostupný z WWW: <[http://www.env.cz/\\_C1256E7000424AC6.nsf/Categories?OpenView](http://www.env.cz/_C1256E7000424AC6.nsf/Categories?OpenView)>
- [12] LUŤCHA, J. *Technologie sanace horninového prostředí*. KG Process Innovations s.r.o. 2006. 3 s.

- [13] ŘIHÁK, I. *SLKR II - popis technologie*. Diamo.cz. Srpen-Září 2006 [cit. 2009-01-09]. Dostupný z WWW: <<http://www.diamo.cz/download-document/14-noviny-diamo-srpen-zari-2006-dvojcislo>>
- [14] KAŠPAR, L. *Zpracování matečných louhů ve Stráži pod Ralskem*. Diamo.cz. Leden 2008 [cit. 2009-01-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.diamo.cz/download-document/29-noviny-diamo-leden-2008>>
- [15] JOSEFI, R. *Neutralizační stanice NDS 6*. Diamo.cz. Leden 2007 [cit. 2009-01-11]. Dostupný z WWW: <<http://www.diamo.cz/download-document/17-noviny-diamo-leden-2007>>
- [16] LUŤCHA, J. *Snížení rychlosti tvorby inkrustací na teplosměnných plochách odparek v provozu SLKR, Státní podnik DIAMO, Stráž pod Ralskem*. KG Process Innovations s.r.o. 2006. 8 s.
- [17] ŠRÝTR, Z. *Interní sdělení*. o. z. TÚU, Diamo s. p. 2009.
- [18] PERRY, R., GREEN, D. *Perry's Chemical Engineering's handbook*. 1999.
- [19] *Control Dampers*. Acpc coils.com. 2009 [cit. 2009-01-12]. Dostupný z WWW: <[http://www.acpc coils.com/products\\_enertech\\_controldamper.htm](http://www.acpc coils.com/products_enertech_controldamper.htm)>
- [20] *Twisted Tube technology*. Kochheattransfer.com. 2005 [cit. 2009-01-13]. Dostupný z WWW: <<http://www.kochheattransfer.com/cms.asp?pg=cms&cms=tt6>>
- [21] *Industrial RB 211 GenSet Applicaton HandBook*. Rolls-Royce. 2000. 186 s.
- [22] *General Arrangement drawing of a Modular HRSG*. Wikipedia.com. 2008 [cit. 2009-01-14]. Dostupný z WWW: <<http://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/f/f3/HRSGPoster.jpg>>
- [23] PAVLAS, M. *Kotel na odpadní teplo*. Cvičení do předmětu Energie a emise. 2009. 7 s.
- [24] *Air-Cooled Heat Exchanger*. HUDSON Products Corporation. 2002 [cit. 2009-01-15]. Dostupný z WWW: <<http://www.hudsonproducts.com>>
- [25] MARKVART, M., et al. *Možnost využití produktů sanace chemické těžby uranu v zemědělství*. Agris.cz. 29. 11. 2001 [cit. 2009-01-16]. Dostupný z WWW: <<http://www.agris.cz/vyzkum/detail.php?id=117824&iSub=566&PHPSESSID=3e>>

## Seznam příloh

### **Příloha č. 1** Návrhový výpočet technologie v programu MathCAD 13

- Mnohostupňová expanzní odparka - Multi-stage Flash Evaporator
- Plynová turbína - Gas Turbine (Rolls-Royce RB211)
- Koncové ohřívače - End Heaters
- Utilizační parní kotel - Heat Recovery Steam Generator
- Kondenzátory - Condensers
- Chlazení roztoku a destilátu
- Tepelné výměníky - Heat Exchangers (Twisted Tube Technology)

### **Příloha č. 2** Simulace navrhované části technologie v programu ChemCAD 5

- Výstupní data proudů
- Procesní schéma prvního stupně odpařování