

Úprava vody pro výrobu páry

Karel Vejrosta

Bakalářská práce
2011

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství polymerů
akademický rok: 2010/2011

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Karel VEJROSTA**
Osobní číslo: **T08403**
Studijní program: **B 2808 Chemie a technologie materiálů**
Studijní obor: **Chemie a technologie materiálů**

Téma práce: **Úprava vody pro výrobu páry**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte literární průzkum na dané téma bakalářské práce podle pokynů vedoucího práce.
2. Sestavte osnovu bakalářské práce podle pravidel UTB ve Zlíně platných pro danou publikaci a uspořádejte do logického celku.
3. Výsledky literárního průzkumu kriticky zhodnoťte a sestavte do konečné formy bakalářské práce dle vzoru (pravidel) uvedeného v předešlém odstavci.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Hübner, P. a kol.: Úprava vody pro průmyslové účely, VŠCHT, Praha 2006

Wünsch, J. a kol.: Technická příručka pro pracovníky oboru úprav vody, ČKD DUKLA, 1981

Kudlovský, J.: Obsluha kotlov, ALFA, Bratislava 1984

Kadlec, V., Očenášek, M.: Použití ionexů v energetice, Dům techniky ČSVTS Ústí n.L., 1989

Kol. autorů: Úprava vody v energetice, Dom techniky ČSVTS Bratislava, 1985

Kol. autorů: Chemický režim v energetických zařízeních, Dům techniky ČVTS Pardubice ? obor chemie, 1971

Vodička, P., Čaha, M.: Chemie vody v energetice, Dům techniky ČVTS Pardubice ? obor chemie, 1970

Databáze dostupné na síti UTB

Vedoucí bakalářské práce:

prof. Ing. Jan Kupec, CSc.

Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí

Datum zadání bakalářské práce:

11. února 2011

Termín odevzdání bakalářské práce:

30. května 2011

Ve Zlíně dne 11. února 2011

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.
děkan



doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno: VEJROSTA KARL

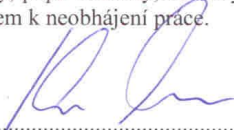
Obor: CHM

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 18.5.2011



.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydávalečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídně k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato práce podává přehled o nejběžnějších metodách úpravy vod pro výrobu páry v energetice. Konkrétně popisuje technologie používané k úpravě vody v Teplárně Otrokovice a.s. a poskytuje její srovnání s moderními trendy. Největší pozornost je věnována klíčovým technologiím, kterými jsou předúprava vody čířením a demineralizace na iontoměničových filtrech.

Klíčová slova:

voda, číření, filtrace, demineralizace, iontoměniče, pára, Teplárna Otrokovice a.s.

ABSTRACT

The work provides an overview of the most common methods of water treatment for steam generation in power engineering. Specifically, it describes technologies used for water treatment in Teplárna Otrokovice a.s. and compares them to modern trends. The biggest attention is paid to the key technologies, i.e. water pre-treatment by clarification and demineralisation using ion exchange filters.

Key words:

water, clarification, filtration, demineralisation, ion exchangers, steam, Teplárna Otrokovice a.s.

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Janu Kupcovi CSc. za odborné vedení, cenné rady a připomínky při realizaci mé bakalářské práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně 18.5.2011



Karel Vejrosta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU PÁRY	12
1.1 POŽADAVKY NA KVALITU VODY A PÁRY	12
1.1.1 Normy	12
1.2 ZDROJE VODY	13
2 PŘEHLED TECHNOLOGIÍ ÚPRAVY VODY	14
2.1 PŘEDÚPRAVA.....	16
2.1.1 Hrubé předčištění.....	17
2.1.2 Čiření.....	17
2.1.2.1 Kyselé čiření	18
2.1.2.2 Neutrální čiření	19
2.1.2.3 Alkalické čiření s dekarbonizací.....	19
2.1.3 Flokulace a sedimentace.....	20
2.1.4 Separace – filtrace.....	20
2.1.5 Typy používaných čiricích reaktorů	21
2.1.5.1 Čiřiče s kalovým mrakem	21
2.1.5.2 Čiřiče s recirkulací kalu	21
2.2 DEMINERALIZACE IONEXY	21
2.2.1 Pracovní fáze ionexového filtru obecně	22
2.2.1.1 Praní	22
2.2.1.2 Regenerace	23
2.2.1.3 Vymývání	23
2.2.1.4 Provoz – pracovní fáze.....	23
2.2.2 Technologická použití.....	24
2.2.3 Dělení ionexů	24
2.2.3.1 Silně kyselý katex.....	24
2.2.3.2 Silně bazický anex.....	25
2.2.3.3 Slabě bazický anex	25
2.3 REVERZNÍ OSMÓZA	26
2.4 ÚPRAVA VRATNÉHO KONDENZÁTU	26
2.5 ZÁVĚREČNÝ STUPEŇ ÚPRAVY – SMĚSNÉ FILTRY	27
2.6 NAVAZUJÍCÍ SPECIÁLNÍ ÚPRAVY	28
2.6.1 Termické odplynění.....	28
2.6.2 Alkalizace	28
II PRAKTICKÁ ČÁST	29
3 CHEMICKÁ ÚPRAVA VODY V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE A.S.	30
3.1 ZDROJE SUROVÉ VODY	30
3.2 PŘEDÚPRAVA.....	30
3.2.1 Přívod vody do čiřiče	31

3.2.2	Alkalické čiření	32
3.2.2.1	Parametry čířiče	33
3.2.3	Písková filtrace	35
3.2.3.1	Pracovní období pískového filtru	35
3.2.3.2	Praní pískových filtrů	35
3.3	DEMINERALIZACE	36
3.3.1	Parametry demineralizační linky	36
3.3.1.1	Katexový stupeň	36
3.3.1.2	Anexový stupeň	37
3.4	ÚPRAVA VRATNÉHO KONDENZÁTU	37
3.4.1	Pískové kondenzát ní filtry	38
3.4.2	H ⁺ katexové filtry	38
3.4.2.1	Technické informace	39
3.5	SMĚSNÉ FILTRY	39
3.5.1	Pracovní fáze filtru	39
3.5.2	Praní a regenerace směsného filtru	40
3.5.2.1	Praní	40
3.5.2.2	Regenerace	40
3.5.2.3	Vytěšňování	41
3.5.2.4	Snížení hladiny vody, zamíchání ionexů, doplnění filtru a vymývání ...	41
3.6	NAVAZUJÍCÍ SPECIÁLNÍ ÚPRAVY	41
3.6.1	Alkalizace čpavkem	41
3.6.2	Termické odplynění	41
3.6.3	Alkalizace kotelní vody v bubnu	42
3.7	KVALITA UPRAVENÉ VODY	42
	ZÁVĚR	43
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	44
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	46
	SEZNAM OBRÁZKŮ	48
	SEZNAM TABULEK	49
	SEZNAM PŘÍLOH	50

ÚVOD

Technologie úpravy vody pro výrobu páry v energetice zaznamenaly velký pokrok a rozvoj především v druhé polovině minulého století. Stále rostoucí požadavky na kvalitu upravené vody a také na co nejlepší ekonomiku provozu byly motorem pro vývoj nových, sofistikovanějších provozních postupů a konstrukcí technologických zařízení.

Cílem této práce je ukázat technologie, které jsou v současnosti k úpravě vody v energetice nejpoužívanější, popsat konkrétní provoz chemické úpravní vody (CHÚV) ve společnosti Teplárna Otrokovice a.s. (TOT a.s.), zhodnotit jej z hlediska nejpoužívanějších moderních technologií a plnění předepsaných parametrů upravené vody.

Obsahově je práce z celé problematiky nejvíce zaměřena na předúpravu vody v čističích a demineralizaci na iontoměničových filtrech.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 ZAŘÍZENÍ PRO VÝROBU PÁRY

Voda je díky své dostupnosti a díky některým svým vlastnostem nejdůležitějším médiem pro přenos energie v energetice. Vyskytuje se ve třech skupenstvích závisících na teplotě a tlaku, z nichž v energetice nás zajímají dvě z nich, a to skupenství kapalné a plynné.

Využití vody v energetice má však také svá úskalí. Především jsou ve vodách z přírodních zdrojů přítomny jiné látky. Jedná se o látky koloidně rozptýlené a látky ve vodě rozpuštěné. To do jaké míry je voda ochotná rozpouštět minerální látky velmi závisí na teplotě a tlaku. Vzhledem k tomu, že právě změny teploty a tlaku, jsou v energetice klíčovým jevem, jsou ve vodě rozpuštěné a rozptýlené nečistoty problémem, který je potřeba řešit.

Technologii úpravy vody volíme podle vstupní kvality vody a podle toho jaké čistoty potřebujeme dosáhnout. Čistota vody pro výrobu páry přímo souvisí s množstvím závad na technologických zařízeních, což jednoznačně určuje ekonomiku celého provozu.

Zásobování zařízení pro výrobu páry zajišťuje chemická úpravna vody. Před vstupem do zařízení bývá napájecí voda přehřívána a odplyňována.

Nejběžnějším zařízením pro výrobu páry jsou kotle, ve kterých se k ohřevu vody používá teplo získané spalováním fosilních paliv. Pára z kotlů je parními rozvody přivedena k parní turbíně pro výrobu elektrické energie, nebo k redukčním stanicím a odtud přes rozdělovače a potrubní rozvody k přímým odběratelům páry.

Druhou možností výroby páry je využití tepla uvolněného při rozpadu jader atomů těžkých prvků v jaderných reaktorech. Voda v primárním okruhu je ohřívána energií uvolněnou při rozpadu jader atomů v reaktoru. Pára, která takto vzniká, předává svou tepelnou energii vodě v sekundárním okruhu, jehož součástí je opět parní turbína napojená na turbogenerátor.

1.1 Požadavky na kvalitu vody a páry

Požadovaná kvalita napájecí (přídavné) vody je obvykle stanovena výrobcem zařízení na základě platných ČSN, typu zařízení, pracovního tlaku a požadavků na kvalitu páry.

1.1.1 Normy

Parametry parních kotlů a kvalitu vody a páry upravují ČSN:

- ČSN 07 0020 Parné kotly. Typy a základné parametre
- ČSN 07 7401 Voda a para pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa
- ČSN 07 7403 Voda a para pre tepelné energetické zariadenia s pracovným tlakom 8 MPa a vyšším
- ČSN 07 0711 Provoz zařízení pro úpravu vody

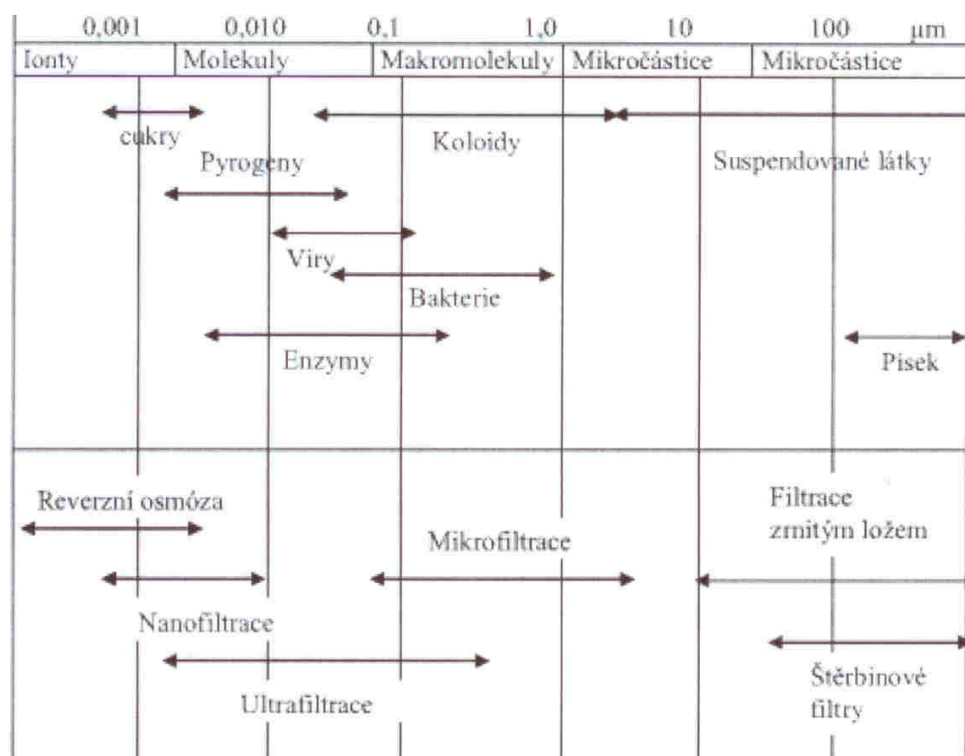
1.2 Zdroje vody

Zdrojem surové vody pro přípravu napájecí vody v České republice jsou především povrchové vody. Již v minulosti byl proveden monitoring kvality vod na většině našich toků a výsledky z nich jsou východiskem pro stanovení optimální technologie pro úpravny vod v energetických zařízeních, právě s ohledem na vstupní kvalitu surové vody [1].

Okrajově jsou jako zdroj surové vody pro energetiku používány podzemní vody. U těchto zdrojů je možné vynechat při předúpravě koagulaci [2].

2 PŘEHLED TECHNOLOGIÍ ÚPRAVY VODY

Voda se v přírodě v čisté formě v podstatě nevyskytuje. Ve vodních tocích je znečištěna dalšími látkami, se kterými přišla do styku. Jedná se o plyny, látky hrubé a střední velikosti (v koloidní formě), které jsou ve vodě rozptýleny a o látky rozpuštěné (v molekulární formě). Velikosti znečišťujících částic a možnosti jejich přímého odstranění ukazují Obr.1.



Obr. 1 Velikost jednotlivých částic ve vodě a metody jejich přímého odstranění [2]

Plyny

Voda za příznivých podmínek pohlcuje plyny, s kterými přichází do styku a ty se v ní rozpuštějí. Běžně jsou ve vodě rozpuštěny všechny složky vzduchu.

Voda zbavená plynů, má schopnost je opět ze vzduchu přijmout. Schopnost vody rozpouštět plyny závisí na jejich tlaku nad hladinou vody a na teplotě vody. Čím je teplota vody vyšší, tím menší množství plynů je v ní rozpuštěno. Při teplotě bodu varu se ovšem nad hladinou při rovnovážném stavu vyskytuje jen vodní pára. Parciální tlak ostatních plynů je nulový. Z toho důvodu je při teplotě bodu varu ve vodě přibližně nulové množství rozpuštěných plynů.

Jednotlivé plyny mají rozdílný vliv na procesy probíhající v technologických zařízeních. Nejnepríznivější vliv má kyslík, který pokud je ve vodě rozpuštěný vyvolává korozi. Dalším plynem, který vyvolává korozi je oxid uhličitý. Ten je schopen přecházet do par a způsobuje korozi v místech, kde pára zkondenzuje [3].

Látky hrubé a střední velikosti

V povrchové vodě se vyskytují kaly a různé jílovité látky ve velikosti zhruba od 0,001mm až 1mm. Látky v koloidních roztocích tvoří částice o velikosti kolem 10^{-5} mm [3].

Mohou se zde vyskytovat také hrubší nečistoty, které jsou však odstraňovány ještě před čerpáním surové vody na česlech a sítích.

Koloidní nečistoty mohou být organického i anorganického původu. Koloidní roztoky organického původu se v kotlech rozkládají až na CO_2 , který přechází do páry a následně kondenzuje s kondenzátem a způsobuje korozi kondenzátních systémů. Tento proces začíná již v parní turbíně při první kondenzaci [2]. Některé mohou podporovat pění vody v kotli a tím podporovat znečištění páry přestříkem [3]. Problémy způsobují organické látky také na iontoměničových stanicích. Zde vede jejich dlouhodobější přítomnost ke znehodnocení iontoměničových náplní filtrů [4]. Z koloidní roztoků anorganických látek jsou nejvýznamnější sloučeniny křemíku a korozní produkty s obsahem železa [3]. Tyto látky jsou schopny částečně přecházet do páry a následně se pak při změně tlaku usazují především na lopatkách parních turbín.

Látky rozpuštěné

Do této skupiny patří látky v molekulární formě, především rozpuštěné soli. Soli, nacházející se ve vodě lze rozdělit do dvou skupin:

1. Soli vápníku a hořčíku.
2. Soli ostatní (sodíku, železa a další).

Obsah solí vápníku a hořčíku se vyjadřuje jako tvrdost vody. Tvrdost je dále dělena na tvrdost přechodnou (tvořena hydrogenuhličitanem) a tvrdost stálou (tvořena všemi ostatními solemi vápníku a hořčíku).

Mezi ostatními solemi se nejčastěji vyskytují soli sodíku ve formě hydrogenuhličitanu a chloridu.

Celkové množství solí ve vodě se vyjadřuje jako solnost vody. V praxi se často jako ukazatel zasolení vody používá měrná elektrická vodivost [3].

Všechny výše uvedené látky je třeba v jednotlivých stupních úpravy z vody odstranit, což se provádí v provozu chemické úpravy vody.

2.1 Předúprava

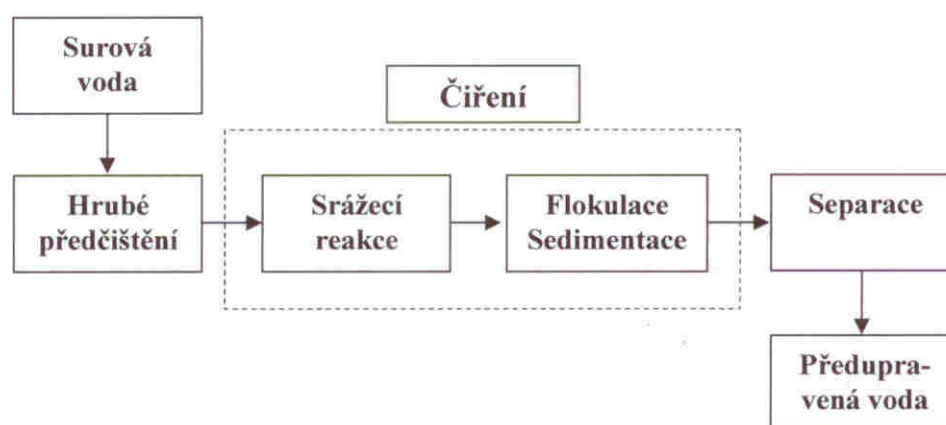
V rámci přeúpravy před demineralizací jde především o odstranění suspendovaných a koloidních látek. Tyto látky mají na rozdíl od iontů proměnlivou velikost i náboj [2].

Obzvláště používání nových technologií demineralizačních linek tzv. plných kolon, klade na kvalitu a výkon předúpravy značné nároky.

Obecně lze metody předúpravy dělit na metody přímé (např. filtrace) a metody kombinované se změnou náboje nebo velikosti suspendovaných částic před vlastní separací.

Teoreticky by bylo možné odstranit veškeré látky z vody pomocí reverzní osmózy nebo nanofiltrace (viz Obr.1). Nicméně tyto technologie jsou určeny především pro odstraňování iontů a kontakt s většími částicemi způsobuje nevratné poškození filtračních membrán. Takový provoz by byl výrazně neekonomický a prakticky v podstatě nemožný [2].

Při úpravě povrchové vody pro následnou demineralizaci se používá kombinace srážecích reakcí, flokulace a separace (viz Obr. 2).



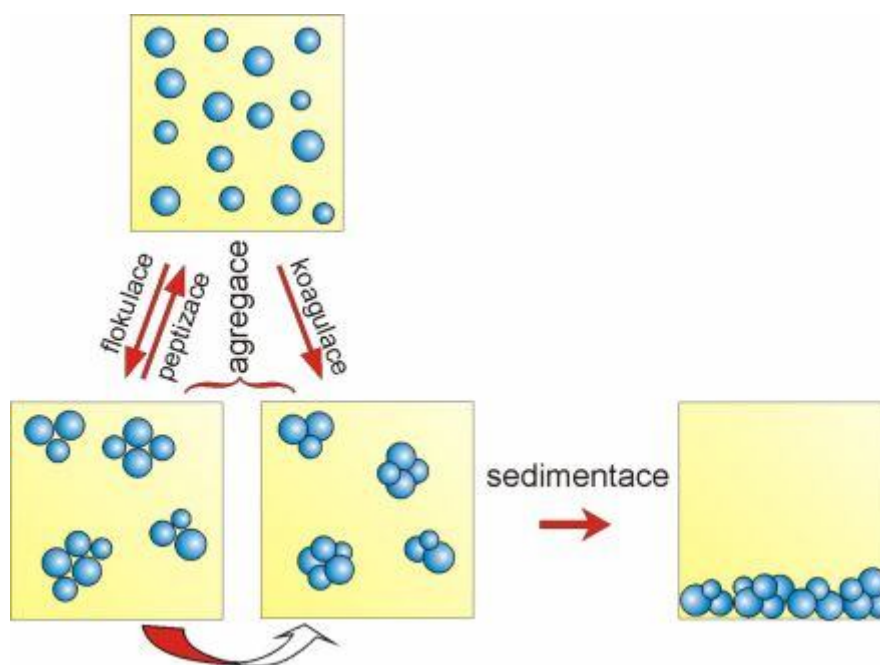
Obr. 2 Postup předúpravy vody

2.1.1 Hrubé předčištění

Hrubé předčištění se provádí přímo v čerpacím objektu v bezprostřední blízkosti zdroje surové vody. K tomuto účelu slouží zařízení pracující na principu cezení, která jsou instalována přímo ve vtokových objektech. Jedná se především o různé typy česlí, pro odstranění hrubých nečistot a ochranu čerpadel. Česle mohou být případně doplněny síťovými filtry, které odstraní z vody jemnější nečistoty [1].

2.1.2 Čiření

Při procesu čiření, probíhají v čiřicím reaktoru souběžně srážecí reakce, procesy agregace (koagulace, flokulace) a sedimentace (Obr.3).



Obr. 3 Agregace a sedimentace disperzních částic [13]

Látky které jsou ve vodě přítomny v koloidním roztoku nebo v pravém roztoku je pro účinnou separaci nutno převést chemickým zásahem (srážecí reakcí) do formy částic a shluků částic.

Pro účinnou separaci (sedimentaci i filtraci) je třeba zajistit, aby částice byly co nejtěžší a co největší. Toto nám zajistí proces agregace disperzních částic do větších shluků.

Koloidní částice mají většinou záporný náboj. Shlukování těchto částic brání jejich souhlasný elektrický náboj. Aby byla agregace možná, je nutno tento náboj neutralizovat částicemi s opačným nábojem [1].

Vytvoření velkých shluků částic, které pak budou snadněji sedimentovat, tedy docílíme přidáním koagulačního činidla s opačným elektrickým nábojem [2].

V úpravách vody pro energetiku se jako koagulant používají Fe^{3+} soli. Relativně novou technologií je použití pomocných polymerních koagulantů, které mají vysoký náboj a celý proces velmi zefektivňují.

Základní typy (způsoby) čiření:

- kyselé čiření
- neutrální čiření
- alkalické čiření

Samotný charakter čiření závisí na pH, při kterém proces čiření probíhá. Volba způsobu čiření je zcela závislá na složení surové vody. Rozhodujícím kritériem pro volbu způsobu čiření je hodnota $\text{KNK}_{4,5}$ surové vody. Při hodnotě $\text{KNK}_{4,5}$ nad $1,8 \text{ mmol.l}^{-1}$ se jednoznačně doporučuje alkalické čiření, které je také v našich podmínkách nejčastěji používaným. Při hodnotách $\text{KNK}_{4,5}$ pod $1,1 \text{ mmol.l}^{-1}$ se jednoznačně doporučuje kyselé čiření. Mezi těmito hodnotami lze uvažovat v závislosti na dalších okolnostech o všech třech typech čiření. V praxi nicméně bývá upřednostňováno alkalické čiření i v přechodové oblasti [5].

Procesy čiření se realizují v technologických zařízeních zvaných čiricí reaktory. Čiricí reaktory mohou mít různou konstrukci. O vhodnosti použití té či oné konstrukce reaktoru, rozhodují vstupní parametry surové vody a zvolený způsob čiření.

2.1.2.1 Kyselé čiření

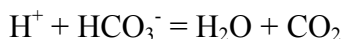
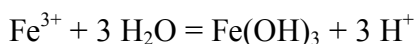
Kyselé čiření probíhá při hodnotách pH 5-6 [5].

Agregaci částic zajistí přidavek koagulačního činidla. Koagulant ve vodě hydrolyzuje a v kyselém prostředí vytváří kladně nabitě částice. Interakcí záporně nabitých nečistot a kladně nabitých částic z koagulantu vznikají větší shluky navenek prakticky neutrální.

Běžná dávka koagulačního činidla při kyselém čiření je $0,8-1,0 \text{ mmol.l}^{-1}$. Podmínkou je, aby $\text{KNK}_{4,5}$ surové vody, byla vyšší než dávka koagulantu, tj. aby došlo k úplnému převedení celé dávky koagulantu do formy $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Pokud je dávka koagulantu větší než $\text{KNK}_{4,5}$ surové vody, nedojde k vysrážení celé dávky koagulantu, pH upravené vody je nižší a zvyšuje se obsah železa v čiřené vodě [2].

V případech kdy je $\text{KNK}_{4,5}$ surové vody nižší než je obvyklé (déletrvající deště, jarní tání) se doporučuje použití pomocných polymerních koagulantů.

Probíhající reakce při kyselém čiření:



Celkově lze působení koagulantu rozdělit na dvě části:

- posun pH do optimální oblasti
- vlastní srážecí reakce

Pro optimalizaci ekonomiky provozu lze tedy nahradit první část koagulantu příslušnou dávkou HCl, která je oproti koagulantu podstatně levnější [2].

2.1.2.2 *Neutrální čiření*

Neutrální čiření je v energetice málo používaným způsobem čiření. Probíhá při pH 6-7. Posun pH má za následek zvětšení záporného náboje nečistot a snížení účinku koagulantu. Proto je nutné dávku koagulantu oproti kyselému čiření zvýšit [2].

2.1.2.3 *Alkalické čiření s dekarbonizací*

Alkalické čiření s dekarbonizací je u nás nejčastěji používaným způsobem čiření v energetice. Dekarbonizace je proces, při kterém dochází ke snížení solnosti vody, za použití relativně levného $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Alkalické čiření se provádí při pH 9,6-10,5 [2].

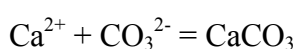
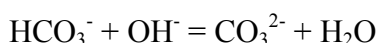
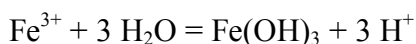
Dekarbonizace se řídí dávkou $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tak, aby v čiřené vodě byl poměr $\text{KNK}_{8,3}$ (zjevné alkality – p) a $\text{KNK}_{4,5}$ (celkové alkality – m) udržován zhruba $2p = m$. Je-li $2p$ větší než m , je třeba dávku vápenného mléka snížit a naopak [7].

Dávka koagulantu se používá cca $0,5 \text{ mmol.l}^{-1}$. Při použití polymerního pomocného koagulantu se dávka anorganického flokulantu přiměřeně snižuje [2].

Mechanismus alkalického čiření je značně odlišný od kyselého a neutrálního čiření. Vylučovaná fáze je dvousložková ($\text{Fe}(\text{OH})_3$ a CaCO_3). Obě tyto fáze mají v alkalické oblasti záporný náboj. Proto aby byla možná agregace do neutrálních shluků, je nutná přítomnost dostatečného množství kladných iontů Ca^{2+} a Mg^{2+} . Tyto ionty způsobí přebití částic

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ a tím je umožněna agregace částic. To je důvod, proč zásadité čiření neprobíhá uspokojivě u měkkých vod [2].

Probíhající reakce při alkalickém čiření:



V menší míře probíhá také reakce:



2.1.3 Flokulace a sedimentace

Flokulace je proces, který následuje po koagulaci. V této fázi dochází ke slučování již zneutralizovaných částic do větších shluků. V počáteční fázi flokulace k tomu postačuje Brownův pohyb, pro vznik objemnějších shluků je potřeba do technologie přidat míchání. Větší shluky částic pak lépe sedimentují a lépe se zachycují při následné filtraci.

Celý proces čiření je nutno vnímat jako souběh všech výše popisovaných dějů. Do čiricího reaktoru vstupuje surová voda, je intenzivně míchána a jsou do ní dávkovány provozní chemikálie. Dochází k homogenizaci směsi, případně k přimíchávání kalů z čiření a ihned začínají probíhat srážecí reakce. Velmi rychle vznikají flokulací menší shluky (vločky), které rostou s postupem vody v reakčním prostoru. Po opuštění reakčního prostoru by už mělo docházet především k separaci kalu. Voda stoupá vzhůru kaly klesají ke dnu reaktoru.

2.1.4 Separace – filtrace

Pro závěrečné dočištění vyčiřené vody se používají filtry s pískovým ložem. Obsah kalu v čiřené vodě je v běžných provozech do 5 mg.l^{-1} . U lamelových čiričů pod 1 mg.l^{-1} . Při takto čisté vodě je tvorba filtračního koláče velmi pomalá. Naopak při špatné kvalitě vyčiřené vody se filtr zafiltruje rychle a účinnost filtrace je vysoká [2].

2.1.5 Typy používaných čířících reaktorů

2.1.5.1 Čířiče s kalovým mrakem

Tento typ čířičů má u nás poměrně velkou tradici. Ve většině starších úpraven vod byl osazen v technologii čířič Kurgajev CNII, nebo později čířiče DUKLA.

Část vznikajícího kalu je v nádobě čířiče ve vzosu (kalový mrak) a urychluje průběh srážecích reakcí [2].

Tyto čířiče jsou konstrukčně jednoduché, ale jejich provoz je citlivý na změny průtoku a teploty. Udržet kalový mrak ve správné výšce vyžaduje častou kontrolu a provozní zásahy.

2.1.5.2 Čířiče s recirkulací kalu

Recirkulace kalu podporuje v těchto čířících srážecí reakce. Konstrukčně bývá řešena buď vnitřní recirkulací nebo vnější recirkulací, popřípadě jejich kombinací. Na rozdíl od čířičů s kalovým mrakem, jsou zde částečně nebo úplně odděleny části zařízení, ve kterých probíhá koagulace, flokulace a sedimentace.

Akcelátor

Recirkulace kalu je u tohoto čířiče dosahována pomocí míchadla, které přisává kal ze spodní části čířiče do reakční komory. Intenzivní míchání zajišťuje dobrou homogenizaci vody, kalů a provozních chemikálií. Problematickou částí těchto čířičů bývá odvod kalů [2].

Konstrukční variabilita čířičů založených na principu akcelátor je poměrně velká. Často se setkáváme s konstrukcí kombinující akcelátor a čířič s kalovým mrakem.

2.2 Demineralizace ionexy

Iontoměniče, zkráceně ionexy (z anglického ion exchangers), jsou nerozpustné syntetické pryskyřice obsahující skupiny schopné vratně a ve stechiometrickém poměru měnit vázané ionty za ionty stejného znaménka z roztoků elektrolytů, se kterými jsou ve styku. Po vyčerpání kapacity ionexu se ukončí pracovní cyklus a při následné regeneraci se uvolní z roztoku (vody) odstraněné ionty a opětovně navážou ionty z regenerantu [8].

Tímto způsobem můžeme z vody odstranit veškeré rozpuštěné látky. Ionexy mají podobu drobných kuliček o velikosti 0,3-1,5 mm [1].

Podle toho jakými ionty je ionex při regeneraci nasycen a jaké ionty vyměňuje v pracovní fázi rozlišujeme různé typy úprav vody:

- **změkčování** – ionty Ca^{2+} a Mg^{2+} jsou ve vodě nahrazeny Na^+
- **dekarbonizace** – odstraňují se veškeré formy CO_2 ve vodě (HCO_3^- , CO_3^{2-}), většinou výměnou za Cl^-
- **deionizace** – odstranění veškerých kationů a anionů silných kyselin (slabé kyseliny ve vodě zůstávají)
- **demineralizace** – odstranění veškerých rozpuštěných látek

Všechny výše zmíněné postupy byly v minulosti v úpravnách vody pro energetiku uplatňovány, nicméně dnes se již téměř výhradně setkáváme s čistou kompletní demineralizací ionexy v H^+ a OH^- formě.

Podle druhu vyměnitelného iontu dělíme ionexy na katexy s vyměnitelným kationtem a anexy s vyměnitelným aniontem.

U ionexových hmot ještě rozlišujeme typ skeletu. Skeletem ionexu je myšlen vlastní materiál ionexové kuličky. Používají se ionexy gelové (levnější a méně odolné) nebo makroporézní (dražší, odolnější). Tam kde předpokládáme větší zatížení ionexu např. organickými látkami volíme makroporézní skelet.

2.2.1 Pracovní fáze ionexového filtru obecně

2.2.1.1 Praní

Účelem praní je především odstranit z ionexových hmot zachycené suspendované látky. Tyto látky přicházejí se vstupní vodou. Čím je v technologii kvalitnější předúprava, tím jsou nároky na praní ionexových hmot menší [1].

Praní ionexových hmot závisí na konstrukci filtrů a způsobu provozu.

U starších technologií, kdy jsou filtry provozovány shora-dolů a filtry nejsou hmotou zcela zaplněny, se provádí praní protiproudem zdola-nahoru. Praní je prováděno před každou regenerací.

U nových technologií plných kolon (provozovány zdola-nahoru) se praní hmot provádí jen nárazově (při překročení povolené tlakové ztráty filtru). Z tohoto důvodu je tato technologie náročná na kvalitu čiřené vody. Obsah suspendovaných látek by měl být do $0,2 \text{ mg.l}^{-1}$. Protože jsou filtry v této technologii hmotou zcela naplněny, není tady expanzní prostor pro praní ve filtru. Hmota se musí z filtru zcela, nebo částečně přečerpát do externí pračky a pere se mimo vlastní filtr.

V běžném provozu jsou mnohem více zatíženy nečistotami katexové filtry, které jsou v provozu první v řadě.

2.2.1.2 Regenerace

Účelem regenerace je náhrada zachycených iontů na funkčních skupinách ionexu H^+ nebo OH^- skupinami a tím připravit ionex na nový pracovní cyklus. Při regeneraci ionexů je třeba dodržet předepsanou dávku, koncentraci, průtok a teplotu regenerantů. Nedodržení těchto požadavků má za následek snížení kapacity filtru při provozu [1].

2.2.1.3 Vymývání

Účelem vymývání je odstranit z ionexové hmoty veškeré zbytky regenerantu a vytěsněných iontů. Vymývání probíhá ve dvou fázích. V první fázi – vytěsňování – protéká voda hmotou stejným způsobem jako při regeneraci. V druhé fázi je filtr doplněn vodou a voda jím protéká stejně jako při provozu. Takto je filtr vymýván až do dosažení požadované kvality upravené vody za filtrem [1].

2.2.1.4 Provoz – pracovní fáze

Po ukončení vymývání je filtr připraven k zapojení do provozu. Moderní demineralizační stanice jsou většinou konstruovány jako linkové s plnými kolonami. V těchto filtrech protéká voda při provozu zdola-nahoru, přičemž ionexová hmota je protékající vodou přitlačena k hornímu tryskovému dnu. V těchto filtrech musí být díky tomu zachováván stálý minimální průtok, aby nedošlo k poklesu a promíchání hmoty. Pak by se dostávaly hůře zregenerované části hmoty výše, což by se negativně projevilo na kvalitě výstupní vody.

2.2.2 Technologická použití

Zapojení a provozování filtrů je možné linkové nebo kruhové. Při linkovém provozu je vždy provozována a regenerována celá linka ionexových filtrů společně. Při kruhovém provozu jsou do provozu připojovány jednotlivé filtry samostatně a po vyčerpání jsou samostatně regenerovány. Nejběžnější osazení demineralizační stanice je silně kyselý katex – slabě bazický anex – silně bazický anex v linkovém provozu.

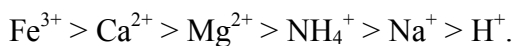
2.2.3 Dělení ionexů

2.2.3.1 Silně kyselý katex

Silně kyselý zregenerovaný katex zadržuje z vody kationty a uvolňuje kationt H^+ . Za silně kyselým katexem je tedy směs odpovídajících volných kyselin [8].

Po zachycení určitého množství kationtů z upravované vody se hmota katexu vyčerpá a ve výstupní vodě se objeví kationty, které jsou na hmotě nejslaběji vázané (mají vůči katexové hmotě malou afinitu).

Pořadí afinit běžných kationtů je úměrné jejich náboji a tedy v klesajícím pořadí :



Vyčerpaný katexový filtr je třeba vrátit do původního stavu - regenerovat, nasýtit H^+ ionty.

Pro souproudou regeneraci (tj. regenerant postupuje hmotou stejným směrem jako upravovaná voda) je třeba, kromě dodržení předepsané délky regenerace (doby působení regenerantu na hmotu), teploty a koncentrace regenerantu pracovat s jeho přebytkem cca 200 %, jinak se nepodaří uspokojivě vytěsnit všechny zadržené kationty.

U protiproudé regenerace se potřebná dávka regenerantu snižuje ve srovnání se souproudem přibližně na polovinu při zachování kapacity filtru. Voda procházející ionexovým filtrem se na výstupu stýká s hmotou, která je nejdokonaleji zregenerovaná. Při druhé polovině vymývací fáze se ve výstupní vodě již nedá detekovat vápník, ukončení vymývání se proto u protiproudu většinou sleduje podle vodivosti.

Při provozování protiproudě regenerovaného katexového filtru se přes poloviční regenerační dávku průnik Na^+ do výstupní vody až desetinásobně snižuje, tato skutečnost se pro-

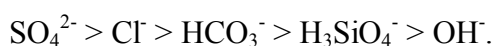
jeví ve sníženém zatížení anexového stupně a snížením pH vyrobené demivody na pH 7,2 - 7,5. Podstatně se zmenšuje i objem a kyselost regeneračních odpadů [8].

2.2.3.2 *Silně bazický anex*

V klasickém zapojení je na konci demistanice za slabě bazickým anexem.

Silně bazický zregenerovaný anex v OH^- cyklu (nasycený z regeneračního hydroxidu sodného anionty OH^-) při styku se silnými i slabými kyselinami obsaženými ve vodě za katexem vyměňuje jejich aniontovou složku za OH^- ionty. Po rekombinaci H^+ z katexu a OH^- z anexu se na výstupu anexového stupně (tedy na výstupu demilinky) objeví velmi čistá voda.

Silně bazický anex zadržuje všechny anionty. Příklad pořadí klesajících afinit je:



Výpadek (vyčerpání kapacity) samotného anexu se zásadně projevuje zvýšeným průnikem SiO_2 , resp. přesněji kyseliny tetrahydrogenkřemičité H_4SiO_4 . SiO_2 však vzhledem k velmi nízké disociaci prakticky neovlivňuje vodivost, proto je nutné jeho fotometrické stanovení.

Vodivostí se projevuje až zvýšený průnik H_2CO_3 , která je však na anexu vázána podstatně pevněji. Ve většině případů platí, že když dojde ke zvýšení střední vodivosti výstupní demivody na dvojnásobek, je již průnik SiO_2 mimo povolený rozsah (zvýší se cca 4-násobně) a proto je třeba brát zvýšení vodivosti výstupní vody jen jako hrubou orientaci. Současně dochází ke snížení pH výstupní vody neboť anex již nestačí zneutralizovat veškeré kyseliny z katexového filtru (pH výstupní demivody klesá pod 7,0).

Pro souproudou regeneraci silně bazického anexu se používá cca 200%-ní přebytek regenerantu, kterým bývá většinou NaOH v koncentraci predepsané pro daný typ hmoty.

Protiproudá regenerace anexu vyžaduje pro stejnou kapacitu jen poloviční dávku regenerantů, průnik SiO_2 do výstupní vody se ve srovnání se souproudem přibližně pětinašobně snižuje [8].

2.2.3.3 *Slabě bazický anex*

Následuje v klasickém uspořádání za silně kyselým katexem.

Má velmi podobné vlastnosti jako silně bazický aniont, rozdíl je v jeho výrazně nižšímu stupni disociace. V důsledku toho zadržuje anionty silných kyselin (SO_4^{2-} , Cl^- , NO_3^-), ale nereaguje s kyselinami slabými (HCO_3^- , H_3SiO_4^-).

Na začátku pracovního cyklu zadržuje (velmi slabě) i aniont HCO_3^- , ale po cca 1/4 cyklu je CO_2 ostatními konkurenčními zadržovanými anionty vytěšňován do výstupní vody [8].

2.3 Reverzní osmóza

Reverzní osmóza je fyzikální úprava vody, prakticky bez použití chemikálií. Reverzní osmóza je založena na využívání jevu zvaného osmóza. Jestliže jsou v přírodních podmínkách (to jest bez dodatečného tlaku) dva roztoky s rozdílnou koncentrací látek v nich rozpuštěných (např. voda s vyšším a nižším obsahem soli) odděleny polopropustnou membránou, pak molekuly čisté vody začnou přes tuto membránu přecházet z roztoku méně koncentrovaného do roztoku koncentrovanějšího, dokud se koncentrace roztoků na obou stranách membrány nevyrovná. Na membránu přitom působí tlak přecházejících molekul - tzv. osmotický tlak. Když však na koncentrovaný roztok působíme tlakem vyšším než je osmotický tlak, pak voda proudí opačným směrem a z koncentrovaného roztoku prochází čistá voda na druhou stranu membrány, zatímco rozpuštěné látky jsou odváděny do odpadu [16, 18].

Koncem devadesátých let minulého století byla myšlenka použití reverzní osmózy namísto demineralizace ionexy velmi populární a prosazovaná. Dnes se tato technologie v energetice u nás v podstatě nepoužívá [17].

2.4 Úprava vratného kondenzátu

Kondenzát vzniká kondenzací páry v tepelných zařízeních. V kondenzátech sledujeme především měrnou el. vodivost a obsah železa [1].

Vratný kondenzát od odběratelů bývá znečištěn příměsemi a korozními produkty. O čistém kondenzátu lze uvažovat jen v případě turbínového kondenzátu, který lze většinou bez úpravy vracet zpět do napájecích nádrží a kotle. Pokud se do kondenzátu dostanou nebo mohou dostat další příměsi, je třeba jej před dalším použitím upravovat. Korozní produkty poměrně spolehlivě odstraní prostá filtrace pískovým ložem. Pokud je kondenzát znečištěn tvrdostí, nebo se s kondenzátem vrací alkalizační prostředek (a je třeba jej odstranit), použi-

je se k jeho úpravě také silně kyselý katex. Závěrečnou fází úpravy bývají směsné ionexové filtry, na kterých se dokončí úprava směsi demivody a upraveného kondenzátu.

Problematické je znečištění kondenzátu organickými nečistotami z průmyslových nebo potravinářských výrob. Takový kondenzát je pro další zpracování nepoužitelný [1].

2.5 Závěrečný stupeň úpravy – směsné filtry

Dočištění demineralizované vody a případná douprava vratných kondenzátů se provádí na ionexových filtrech se směsným ložem. V jednom filtru je smíchána hmota silně kyselého katexu a silně bazického anexu. Efekt takového filtru se podobá mnohonásobnému průchodu klasickou demineralizační linkou.

Regenerace takového filtru je umožněna rozdílnou měrnou hmotností katexu a anexu. Zatímco při provozu jsou hmoty promíchány, při regeneraci jsou rozděleny podle měrné hmotnosti. Těžší katex ve spodní části filtračního lože a lehčí anex v horní části filtračního lože. Rozdělení hmot se docílí rozplavením hmot zpětným tokem. Rozhraní mezi ionexy musí být co nejostřejší a umístěno co nejpřesněji v oblasti roštu, který je ve filtru zabudován k odvádění regeneračních roztoků. Ostrosti rozhraní je dosaženo úpravou zrnění tak, aby pádová rychlost anexu byla nižší než katexu [1].

Při regeneraci je pak do spodu filtru pod katex přiveden roztok HCl a na horní vrstvu anexu roztok NaOH. Oba regeneranty prostupují hmotami až k roštu, který je umístěn na rozhraní hmot. Jeho prostřednictvím jsou oba regeneranty odváděny z filtru ven. Takto probíhá regenerace i vytěšňování.

Po ukončení regenerace a vytěšňování jsou hmoty ve filtru zamíchány tlakovým vzduchem, filtr je doplněn vodou a zahájeno vymývání. Po dosažení požadovaných hodnot je filtr připraven na provoz.

Filtry se směsným ložem jsou citlivé na přítomnost organických látek. Nízké koncentrace organických látek ve vstupní vodě na směsné filtry jsou zajištěny předcházejícími stupni úpravy vody (předúprava, demineralizace) [2].

2.6 Navazující speciální úpravy

Pokud používáme upravenou vodu pro výrobu páry v kotlích a páru pro pohon parních turbín, musí mít podle ČSN určité parametry. Voda která vystupuje z chemické úpravy vody bývá v pořádku co se týče rozpuštěných a nerozpuštěných látek. Napájecí voda pro kotle je upravována tak, aby nedocházelo k úsadám a korozi. Úpravu proti úsadám máme zajištěnu aplikací všech stupňů úpravy vody tak jak o nich již bylo v této práci pojednáno (předúprava, demineralizace, směsné filtry). Zbývá tedy vodu ošetřit z hlediska možné koroze. Určujícím parametrem pro korozní mechanismy je obsah kyslíku ve vodě a pH.

Koroze je elektrochemický jev, který vyžaduje vznik elektrického článku, kdy kov tvoří anodu s nižším elektrochemickým potenciálem a rozpouští se. U vysokotlakých kotlů pro výrobu páry se používá termické odplynění ke snížení obsahu kyslíku a alkalizace pro zpomalení korozních reakcí [2].

2.6.1 Termické odplynění

Principem termického odplynění, je dohřátí na teplotu blízkou bodu varu. Při této teplotě klesá množství rozpuštěných plynů ve vodě, a tak je jednoduše dosaženo požadovaného efektu.

2.6.2 Alkalizace

Při vyšším pH jsou omezeny korozní reakce. Alkalizace se provádí tuhými alkalizačními prostředky (NaOH, fosfát), těkavými alkalizačními prostředky (amoniak, hydrazin, alkalizační aminy) nebo jejich kombinací [2]. Tuhé alkalizační prostředky chrání buben kotle a tam se také obvykle dávkuje. Neochraňují parní a kondenzační část technologie. Těkavé alkalizační prostředky přecházejí do páry a kondenzátu a tudíž chrání celý parní i kondenzační okruh. Volba chemického režimu je dána materiálovým složením parovodního okruhu. Jsou-li v něm přítomny slitiny mědi je maximální hodnota pH podstatně nižší než u čistě železných parovodních okruhů [2].

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 CHEMICKÁ ÚPRAVA VODY V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE A.S.

Teplárna Otrokovice a.s. je moderním ekologickým zdrojem tepla a elektrické energie. Dodávky tepla jsou realizovány pomocí páry, která je využívána především pro technologické účely a pomocí horké vody, která slouží zejména k zabezpečení dodávek tepla pro bytovou sféru. Teplárna zásobuje teplem oblast Otrokovic, Napajedel a Malenovic [14].

Podstatná část dodávek tepla prostřednictvím páry je uplatněna v průmyslovém sektoru na území měst Otrokovice a Napajedla pro gumárenský, chemický a zpracovatelský průmysl a strojírenství, přičemž největšími odběrateli jsou Barum Continental, spol. s r.o. Otrokovice, TOMA, a.s. Otrokovice, Fatra, a.s. Napajedla a PIPELIFE-FATRA spol. s r.o. Otrokovice.

Dodávka tepla prostřednictvím horké vody je dnes dodávána pro byty, služby a občanskou vybavenost města Otrokovice, městskou část Zlín – Malenovice a sídliště Nábřeží v Napajedlech [14].

Chemická úprava vody v TOT a.s. zajišťuje dodávku a úpravu vody pro doplňování kotlů, chladících okruhů a horkovodních sítí. V průběhu let 1996 – 2009 proběhla komplexní oprava a optimalizace technologie CHÚV. Součástí provozu CHÚV jsou rovněž laboratoře, ve kterých je ověřována kvalita vstupních zdrojů, výstupních produktů a technologických mezistupňů.

3.1 Zdroje surové vody

Zdrojem surové vody pro TOT a.s. je povrchová voda z řeky Moravy. U řeky Moravy je umístěn objekt čerpací stanice. Voda je přivedena vtokovým objektem přes hrubá česla k sání čerpadel. Čerpadla mohou být napojena na podzemní nebo nadzemní surovod, kterým ve surová voda přivedena až do objektu chemické úpravy vody (CHÚV) v TOT a.s. Obě trasy surovodu jsou přivedeny do objektu CHÚV do sklepa pod nádržemi pro míchací centrum. Odtud přes rozdělovač je voda vedena do tepelných trubkových výměníků voda-voda a dále do jímky surové vody (JSV).

3.2 Předúprava

Účelem předúpravy je zbavit surovou vodu nežádoucích příměsí, které by mohli rušit funkci dalších stupňů úpravy vody.

Voda je předupravována dlouhodobě provozně ověřenou technologií alkalického čiření s částečnou dekarbonizací a změkčením. Koagulantem je chlorid železitý, alkalizačním činidlem $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Dávkování chemikálií, koagulace, flokulace a první stupeň separace vzniklého kalu se provádí v čířiči akcelátor. Vyčiřená voda se filtruje v tlakových pískových filtrech, akumuluje v jímce čiřené filtrované vody a odtud se čerpá na další úpravu.

Proces předúpravy lze rozdělit na tyto části:

- přívod vody na čířič
- vlastní alkalické čiření
- příprava a dávkování chemikálií
- písková filtrace

3.2.1 Přívod vody do čířiče

V Tab.1 jsou uvedeny parametry surové vody, pro které byla předúprava v TOT a.s. projektována.

Ukazatel	Rozměr	Hodnota
Tc – celková tvrdost	mmol.l^{-1}	max. 2,54
$\text{KNK}_{4,5}$ – („m“ hodnota)	mmol.l^{-1}	1,8 – 3,4
Fe – železo celkové	mg.l^{-1}	max. 2,8
CHSK_{Mn}	$\text{mgO}_2.\text{l}^{-1}$	max. 16,0
Cl^- - Chloridy	mmol.l^{-1}	max. 1,4
SiO_2	mg.l^{-1}	max. 16,0
SO_4^{2-} - sírany	mmol.l^{-1}	max. 0,85
součet $\text{Na}^+ + \text{K}^+$	mmol.l^{-1}	max. 1,25
pH		cca 8
teplota	$^{\circ}\text{C}$	10 – 35
NL – nerozpuštěné látky	mg.l^{-1}	5 - 600

Tab. 1 Projektové parametry surové vody před předúpravou

Surová voda je čerpána z jímky surové vody. Množství SV z JSV je řízeno regulační pneu-armaturou podle výšky hladiny v JČV. Regulační armatura je vybavena ochozem pro případ poruchy armatury. Regulace před čiřením rovněž udržuje hydraulické poměry v čířiči v přípustných mezích.

K odstranění živých mikroorganismů, které jsou přítomné v říční vodě je do JSV dávkován roztok chlornanu sodného (NaClO).

V případě poklesu teploty SV pod 15°C je část vody přiváděna do parního ohříváku, který je zařazen do ochozu přívodní trasy před čířičem. Teplota je tak udržována pomocí regulačního pneuventilu na zadané požadované hodnotě. Ohřívák se uvádí do provozu a odstavuje ručně.

3.2.2 Alkalické číření

Čířením se odstraňují z vody jemné suspenze a koloidní látky. V Teplárně Otrokovice se používá jako koagulační činidlo chlorid železitý a k dekarbonizaci hydroxid vápenatý. Částice hydroxidů koagulují a vytváří separovatelné vločky. Při alkalickém číření se volbou vhodného pH dosáhne částečné dekarbonizace a změkčení upravované vody.

Dávka koagulantu FeCl_3 se pohybuje od 0,3 do 1,0 mmol.l^{-1} . Minimální dávka je nutná k vytvoření separovatelných vloček ze vzniklých sraženin, obvykle se zvyšuje pro lepší odstranění organických látek stanovovaných jako CHSK_{Mn} . Při zvyšování dávky nad 0,6 mmol.l^{-1} se již snížení CHSK_{Mn} neprojevuje tak výrazně. Totéž platí pro stoupací rychlost vločky a navíc se zvyšuje stálá tvrdost. Proto se volí jako kompromis dávka $0,5 \pm 0,1 \text{ mmol.l}^{-1} \text{ FeCl}_3$.

Pro lepší koagulaci a flokulaci vytvořených vloček lze do reakční komory dávkovat pomocný organický koagulant.

Při správně vedeném provozu by vyčiřená voda měla mít složení dle Tab.2.

Ukazatel	Rozměr	Hodnota
$\text{KNK}_{8,3}$	mmol.l^{-1}	0,15 - 0,3
$\text{KNK}_{4,5}$	mmol.l^{-1}	0,3 - 0,6
CHSK_{Mn}	$\text{mgO}_2.\text{l}^{-1}$	0,25 - 0,5
Cl^- - Chloridy	mmol.l^{-1}	$\text{Cl}^- = \text{Cl}^-_{\text{SV}} + \text{D}_{\text{FeCl}_3}$
SiO_2	mg.l^{-1}	0,5 - 0,8
pH		9,8 - 10,2

Tab. 2 Parametry vyčiřené vody

Čířič akcelátor (Obr.4) umožňuje díky konstrukčnímu uspořádání a míchadlu recirkulaci kalu, který působí v reakční komoře katalyticky na srážení, tvorbu a růst krystalků uhličitanu vápenatého ve vodě s nadávkovanými chemikáliemi. Dekarbonizace probíhá rychleji,

reakční rovnováha je posunuta ve prospěch produktů, takže hodnoty $KNK_{4,5}$ a $ZNK_{8,3}$ v odtoku z čířiče bývají nižší než u jiných typů.

Koncentrace kalu se ve vnitřním oběhu pohybuje mezi 4 - 25 g.l⁻¹. Přebytkový kal se shromažďuje v kalové komoře a kalových kapsách, odkud se periodicky odkaluje.

V separačním pásmu proudí voda vločkovým mrakem ke sběrnému žlabu. Při maximálním výkonu je stoupačí rychlost ve válcové části pod lamelami 1,47 mm.s⁻¹, nad lamelami 1,13 mm.s⁻¹. Při této rychlosti nedochází za předpokladu, že je dodržen fyzikálně-chemický režim, k vynášení vloček z čířiče na pískové filtry.

Změny průtoku se projeví změnami vzestupné rychlosti. Obecně se pro tuto velikost čířiče nedoporučuje změna průtoku větší než 0,85 m³ min⁻¹.

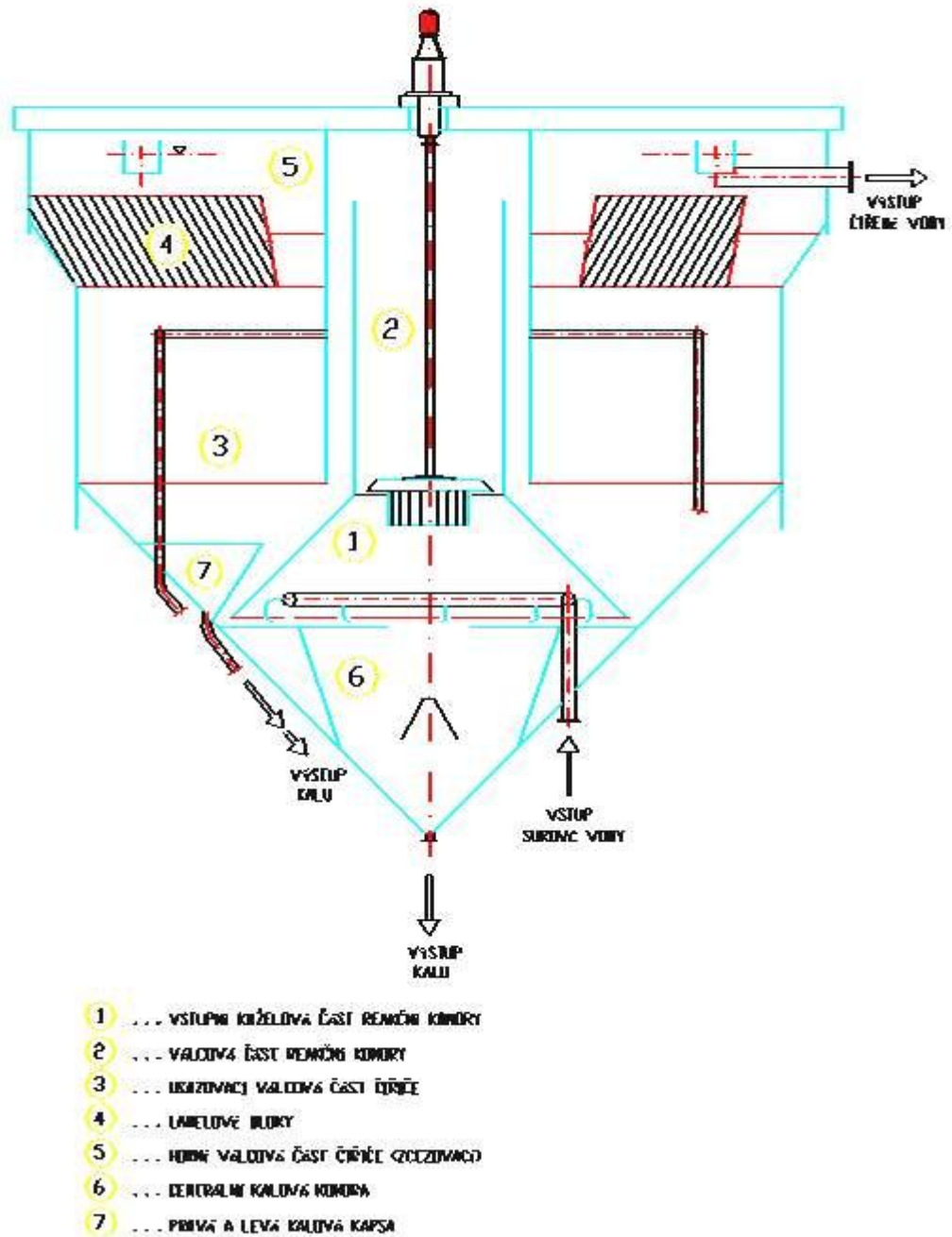
Vliv na ustálenost provozu má teplotní režim. Při výkonech pod polovinu maximálního výkonu nemá teplota vstupní vody za regulátorem kolísat od střední hodnoty o více než ± 2 °C, při výkonech vyšších o ± 1 °C. Průměrná teplota se nemá měnit o víc jak 5 °C.h⁻¹.

V reaktoru jsou vestavěny odběrové sondy, kterými se kontroluje fyzikálně-chemický režim včetně kontroly přesnosti pH-metru. Nastavení chemizmu (a pH-metru) se provádí tak, aby výstupní voda měla co nejnižší $KNK_{4,5}$, při zachování požadované kvality výstupní vody.

3.2.2.1 Parametry čířiče

typ reaktoru	akcelátor
průměr reaktoru v horní části	8600 mm
průměr reaktoru ve střední části	7600 mm
maximální výkon	220 m ³ .h ⁻¹
minimální výkon	50 m ³ .h ⁻¹
vzestupná rychlost v úrovni odběru vody	1,13 mm.s ⁻¹
vzestupná rychlost ve střední části	1,47 mm.s ⁻¹
objem	227,3 m ³
dávkovací místo chemikálií	reakční komora

ČIŘIČ AKCELÁTOR Ø 8600 / 7600 mm
ZÁKLADNÍ FUNKČNÍ SCHEMA



Obr.4 Schéma čiřiče - akcelátoru [8]

3.2.3 Písková filtrace

Na pískových filtrech je upravována alkalicky čířená voda, která je přiváděna gravitačně přímo z čířicího reaktoru. Čířená voda na vstupu do pískových filtrů by měla být zbavená převážné části suspendovaných a koloidních látek, části organických látek a s minimálním obsahem zbytkového železa. Pískové filtry slouží pro dočištění čířené vody.

Na výstupu z pískových filtrů je kontinuálně sledován zákal filtrované vody, jehož hodnota má být při provozu co nejnižší.

3.2.3.1 Pracovní období pískového filtru

Filtrační cyklus má tři fáze:

- počáteční zafiltrování, kdy ještě dochází k průniku jemných částic filtračním ložem
- vlastní filtrace, kdy se účinně odstraní veškeré suspendované částice nad určitý průměr, tvoří se úsady a zvolna stoupá tlaková ztráta
- zanesení filtrační vrstvy, kdy stoupá tlaková ztráta na filtru a klesá průtok filtrem

Pískový filtr se odstavuje z provozu při tlakové ztrátě pískového filtru větší než 0,07 MPa nebo výrazném snížení průtoku.

3.2.3.2 Praní pískových filtrů

Po ukončení filtračního cyklu je nutno filtrační lože zbavit zachycených suspendovaných částic. Praní pískových filtrů se provádí protiproudě, tedy směrem odspodu nahoru. Pere se ve třech navazujících fázích:

- praní pouze vzduchem za účelem uvolnění stlačeného filtračního lože a filtračního koláče
- praní vodou a vzduchem současně, v této fázi dochází k uvolnění a nadlehčení filtrační vrstvy a současně k uvolnění převážné části zadržovaných částic a jejich vyplavení do odpadního potrubí
- praní pouze vodou, v této fázi dochází k vyplavení zbytku zachycených částic

Pro kvalitu čířené filtrované vody, která je zároveň vstupní vodou do demineralizace, jsou zásadními parametry obsah NL do 0,2 mg.l⁻¹ a obsah celkového železa do 0,1 mg.l⁻¹.

3.3 Demineralizace

V TOT a.s. jsou v tomto stupni úpravy instalovány dvě demineralizační linky (linkové zapojení filtrů). Každá linka se skládá ze dvou filtračních nádob s plnými kolonami. První nádoba je naplněna silně kyselým katexem. Druhá nádoba má dvě komory oddělené tryskovým dnem. Ve spodní komoře tohoto filtru je slabě bazický anex a v horní komoře silně bazický anex. V provozu je vždy jedna demilinka. Druhá se regeneruje. Pro praní hmot jsou instalovány dvě externí pračky, pro katex a anex zvlášť. Praní se provádí cca jednou za půl roku provozu. Určujícím parametrem je tlaková ztráta na filtru. Příprava regeneračních roztoků se provádí pomocí podtlakových injektorů, které přisávají koncentrované HCl a NaOH do ředící vody. Pomocí vestavěných tryskových roštů jsou regeneranty rozvedeny po celém průřezu filtrů. Po ukončení regenerace a vytěšňování se celá linka uvede do recirkulace a vymyje se na požadované parametry.

3.3.1 Parametry demineralizační linky

3.3.1.1 Katexový stupeň

výkon filtru	max. 93 m ³ ·h ⁻¹
průměr filtru	1600 mm
počet filtrů	2 ks
počet komor	1
délka pracovního cyklu	cca 10 h
celková produkce vody na cyklus	cca 900 m ³
katex	silně kyselý
typ katexu	Purolite C 100 FL
objem katexu	2900 l
botnavost (Na ⁺ → H ⁺)	cca +10 %
povolený koncentrační rozsah HCl při reg.	4 – 6 %

3.3.1.2 Anexový stupeň

výkon filtru	max. 93 m ³ ·h ⁻¹
průměr filtru	1600 mm
počet filtrů	2 ks
počet komor	2
provozní přetlak	0,2 – 0,6 MPa
délka pracovního cyklu	cca 10 h
celková produkce vody na cyklus	cca 900 m ³
koncentrace NaOH při reg.	2,5 %
anex 1	slabě bazický
typ anexu	Purolite A 100 FL
objem anexu	2300 l
botnavost (OH ⁻ → Cl ⁻)	cca +20 %
anex 2	silně bazický
typ anexu	Purolite A 400 FL
objem anexu	1950 l
botnavost (Cl ⁻ → OH ⁻)	max. +15 %

Při dodržení parametrů vstupní vody na demistanci a provozních pokynů by demineralizovaná voda měla mít měrnou el. vodivost do 5 μS·cm⁻¹ a obsah SiO₂ do 80 μg·l⁻¹.

3.4 Úprava vratného kondenzátu

CHÚV v Teplárně Otrokovice zpracovává kondenzát z technologických provozů různých firem, kondenzát z výměňkové stanice centrálního zásobování teplem a vlastní turbínový kondenzát.

Vratný kondenzát se vrací do CHÚV z několika „větví“ a na sběrně se rozděluje do zásobních nádrží 3x 100 m³. Nádrže jsou umístěny na střeše budovy CHÚV. Na téže sběrně lze

jednotlivé větve přemanipulovat k vypouštění „na kanál“ v případě nevyhovujících parametrů.

Z nádrží je vratný kondenzát (dále jen VRK) veden potrubím přes dva tepelné výměníky s upravenou vodou pro výrobní blok TOT (zde předá část svého tepla) na sání kondenzát-ních čerpadel (2 ks). Z výtlačku čerpadel je VRK veden do pískových filtrů, H^+ katexových filtrů a následně je upravený VRK zaústěn do výtlačku čerpadel pro směsné filtry. Dále se upravuje již ve směsi s demineralizovanou vodou na směsných ionexových filtrech. Teplota směsi demineralizované vody a upraveného VRK před vstupem na směsné filtry je limitována. Provozní teplota nepřekračuje 50°C (max. přípustná je 60°C).

3.4.1 Pískové kondenzátní filtry

V CHÚV jsou instalovány 3 ks pískových filtrů. Výkon 1 ks filtru je $70 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, maximální výkon 1 ks filtru je $100 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Teplota vratného kondenzátu je max. 95°C . Kondenzát pak prochází přes tepelné výměníky, kde se zchladí. Na pískové filtry je přiváděn kondenzát o teplotě max. 60°C . Podíl kondenzátu na celkové výrobě směsi demivody a vratného kondenzátu je cca 65-70%.

Při dosažení mezních hodnot pro odstavení (buď proteklého množství kondenzátu nebo tlakové ztráty) je třeba filtr odstavit a vyprat.

3.4.2 H^+ katexové filtry

V technologii jsou 2 ks H^+ katexových filtrů o průměru 1800 mm. Stanice je rovněž osazena regulovaným obtokem. Maximální výkon 1 ks filtru je $150 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Filtry jsou v provozu vždy oba dva, pouze při regeneraci jednoho z filtrů bude v provozu pouze 1 ks.

Ionexová hmota je periodicky regenerována pomocí zředěné HCl. Postup regenerace je následující:

- praní vzduchem
- praní vodou (použití stávajícího čerpadla regenerace směsných filtrů)
- regenerace – demivoda k ředění HCl je přiváděna pomocí regeneračního čerpadla
- koncentrovaná HCl je odebírána ze stávající odměrné nádrže
- ředění na požadovanou koncentraci probíhá v podtlakovém injektoru

- vymývání je prováděno z proudu filtrovaného kondenzátu

3.4.2.1 Technické informace

Produkce vody na cyklus	cca 50000 m ³
Průměr filtru	1800 mm
Počet filtrů	2 ks
Plocha filtru	2,5 m ²
Ionexová náplň:	
Druh ionexu	PUROLITE C150 PL
Výška vrstvy	1000 mm
Množství	2500 l

3.5 Směsné filtry

Směsné filtry slouží k dočištění směsi demivody a kondenzátu. Celkový maximální výkon je 400 m³.h⁻¹. Stanice sestává ze tří směsných filtrů. Demivoda je ze zásobních nádrží čerpána na směsné filtry, přičemž se do výtlačku čerpadel přidává upravený kondenzát.

3.5.1 Pracovní fáze filtru

Jde o klasickou konstrukci směsného filtru s promíseným katexem a anexem. Směs demivody a vratného kondenzátu protéká filtračním ložem shora-dolů. Provozní kvalita vody je kontinuálně sledována měřením el. vodivosti a obsahu SiO₂.

Filtr je odstaven z provozu při následujících stavech:

- zvýšení vodivosti nad limit 0,3 μS.cm⁻¹
- průnik SiO₂ nad limit 0,02 mg.l⁻¹
- překročení limitu tlakové ztráty filtru nad 0,1 MPa
- překročení limitu tlakové ztráty na lapači ionexů nad 0,08 MPa

Garantovaná jakost upravené vody na výstupu směsných filtrů při ustáleném provozu a dodržení provozních pokynů je uvedena v Tab.3.

Měrná el. vodivost (25°C)	max. 0,3 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$
SiO ₂	max. 20 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Fe	max. 20 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Nerozpuštěné látky	max. 50 $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$
Celková tvrdost	max. 2 $\mu\text{mol}\cdot\text{l}^{-1}$

Tab.3 Parametry upravené vody za směsnými filtry

3.5.2 Praní a regenerace směsného filtru

3.5.2.1 Prání

Účelem zpětného praní je především oddělení anexu a katexu. Dále se při zpětném praní odstraní z ionexové hmoty zachycené suspendované látky, mechanické nečistoty. Promývací voda se ohřívá na teplotu do 40 °C . Po ukončení praní proběhne konečné usazení a rozdělení hmot katexu a anexu.

3.5.2.2 Regenerace

Účelem regenerace je vytěsnit z ionexové hmoty zachycené ionty. Je třeba regenerovat ionexy přesně určeným postupem regenerace, regenerační dávkou, koncentrací a dobou průtoku. Regenerace a vytěšňování katexu i anexu probíhá současně.

Regenerace anexu

Regenerační čerpadla čerpají ředící vodu přes výměník tepla do injektoru. Ve výměníku tepla se voda oteplí na cca 40 °C. Injektor nasává koncentrovaný NaOH a ředí ho na koncentraci 2 – 3%. Takto připravený regenerant je přiveden shora na vrstvu anexu, prostupuje jím a je odváděn středovým roštem pryč z filtru.

Regenerace katexu

Ředící voda je čerpána přímo z výtlačku regeneračních čerpadel. Koncentrovaná HCl je nasávána injektorem z odměrné nádrže a ředěna na cca 6%. Dále je regenerant tlačěn zespodu filtru do vrstvy katexu a z filtru odchází stejným roštem jako NaOH.

3.5.2.3 Vytěšňování

Účelem vytěšňování je odstranění zbytků regenerantů z filtru, přičemž stále dobíhá regenerace ionexů. Vytěšňování začíná plynule po ukončení dávek regenerantů. Proces je identický s regenerací, jen přívod regeneračních chemikálií do injektorů je přerušen.

3.5.2.4 Snížení hladiny vody, zamíchání ionexů, doplnění filtru a vymývání

Než dojde k promísení ionexových hmot, musí se snížit hladina vody ve filtru až k povrchu hmoty. Poté dojde k promíchání hmoty katexu a anexu pomocí tlakového vzduchu. Následuje doplnění filtru vodou a vymývání na požadované parametry.

3.6 Navazující speciální úpravy

3.6.1 Alkalizace čpavkem

Pro alkalizaci napájecí vody a pro ochranu parních a kondenzátních rozvodů se do napájecí vody dávkuje roztok NH_4OH . Dávkovací místo je výstup ze směsných filtrů. K tomuto účelu je v provozu CHÚV instalováno zařízení, které sestává z ředící plynotěsné nádrže s míchadlem, vodního uzávěru a stáčecího čerpadla.

V nádrži se dodávaný 25% roztok naředí na cca 10%. Ředěný roztok NH_4OH je dávkován z ředící nádrže o objemu 500 l dávkovacím čerpadlem podle požadovaného pH upravené vody.

3.6.2 Termické odplynění

Termické odplynění v TOT a.s. probíhá ve dvou stupních.

První stupeň v NN I. st. je proveden tak, že voda je do nádrže přivedena shora do odplyňovače a protéká přes děrované desky parním polštářem, kde se dohřívá a odplyňuje. Tento systém je standardním a nejběžnějším systémem odplynění.

Druhý stupeň v NN II. st. je proveden tak, že voda je v nádrži probublávána parou. Jde o patentovaný systém STORK KETELS Hengelo [8].

3.6.3 Alkalizace kotelní vody v bubnu

Ochrana bubnu kotle je v TOT a.s. řešena dávkováním roztoku fosforečnanu sodného přímo do bubnu kotlů. Dávkování se řídí hodnotou měrné el. vodivosti v kotelní vodě.

3.7 Kvalita upravené vody

Alkalizací končí chemická úprava vody na CHÚV. Následuje už pouze ohřev upravené vody ve výměnících tepla s vratným kondenzátem.

Kvalita upravené vody pro výrobní blok je určena požadovanou kvalitou napájecí vody a kvalitou vyrobené páry dle výrobce kotlů a parních turbín (viz Tab.4).

Celková tvrdost	max. 2 $\mu\text{mol.l}^{-1}$
Obsah kyslíku	max. 20 $\mu\text{g.l}^{-1}$
SiO ₂	max. 50 $\mu\text{g.l}^{-1}$
Fe	max. 20 $\mu\text{g.l}^{-1}$
CHSK _{Mn}	max. 3 $\text{mgO}_2.\text{l}^{-1}$
Obsah oleje	nepřípustný

Tab.4 Požadované parametry upravené vody pro výrobní blok

Skutečná kvalita upravené vody na výstupu z CHÚV v TOT a.s. je uvedena v Tab.5. Jde o průměrné hodnoty za rok 2010, které byly vypočteny z hodnot naměřených provozní laboratoří TOT a.s.

Celková tvrdost	0,6 $\mu\text{mol.l}^{-1}$
SiO ₂	6 $\mu\text{g.l}^{-1}$
Fe	19 $\mu\text{g.l}^{-1}$
CHSK _{Mn}	0,1 $\text{mgO}_2.\text{l}^{-1}$
Měrná el. vodivost	2,7 $\mu\text{S.cm}^{-1}$
pH	8,5

Tab.5 Výstupní upravená voda z CHÚV v TOT a.s. - průměry sledovaných veličin za rok 2010

Obsah kyslíku je v provozu TOT a.s. sledován kontinuálním měřením v napájecí vodě před kotli (tj. za termickým odplyněním). Hodnoty tohoto měření se pohybují celoročně v rozmezí 0-1 $\mu\text{g.l}^{-1}$ [15].

Z Tab.5 a kontinuálního měření kyslíku plyne, že chemická úprava vody v TOT a.s. spolu s termickým odplyněním splňují požadavky na kvalitu upravené vody.

ZÁVĚR

V teoretické části jsou shrnuty technologie používané při úpravě vody pro výrobu páry v energetice, které jsou dnes nejvíce preferované jak z důvodů ekonomických, tak provozních. Ohled byl brán především na stěžejní oblasti úpravy a to předúpravu čiřením a demineralizací ionexy.

V praktické části práce je popsána používaná technologie úpravy vody v Teplárně Otrokovice a.s. opět se zaměřením především na předúpravu čiřením a demineralizací ionexy. Alkalické čiření čiricem akcelátor s kalovým mrakem a recirkulací kalů lze považovat za standardní technologii, která byla vhodně zvolena s ohledem na jakost surové vody a potřeby provozovatele. Technologie odpovídá moderním trendům ve sledované oblasti. Rovněž následná demineralizace s použitím plných kolon, které jsou provozovány protiproudě, je zcela v souladu s moderními technologiemi v úpravě vod pro výrobu páry. Lze konstatovat, že v obou sledovaných oblastech je chemická úprava vody v TOT a.s. technologicky na velmi dobré úrovni. V provozu jsou instalovány a provozovány technologie, které šetří provozní náklady a splňují požadavky na kvalitu upravované vody.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Wunsch, J. a kol.: *Technická příručka pro pracovníky oboru úprav vody*, ČKD DUKLA, 1981
- [2] Hübner, P. a kol.: *Úprava vody pro průmyslové účely*, VŠCHT, Praha 2006
- [3] Kudlovský, J.: *Obsluha kotlov*, ALFA, Bratislava 1984
- [4] Kadlec, V., Očenášek, M.: *Použití ionexů v energetice*, Dům techniky ČSVTS Ústí n.L., 1989
- [5] Kol. autorů: *Úprava vody v energetice*, Dom techniky ČSVTS Bratislava, 1985
- [6] Kol. autorů: *Chemický režim v energetických zařízeních*, Dům techniky ČVTS Pardubice – obor chemie, 1971
- [7] Vodička, P., Caha, M.: *Chemie vody v energetice*, Dům techniky ČVTS Pardubice – obor chemie, 1970
- [8] *Vnitřní provozní předpisy Teplárny Otrokovice a.s.*
- [9] ČSN 07 7403, *Voda a para pre tepelné energetické zariadenia s pracovným tlakom 8 MPa a vyšším*, 1982
- [10] ČSN 07 7401, *Voda a pára pro tepelná energetická zařízení s pracovním tlakem páry do 8 MPa*, 1985
- [11] ČSN 07 0020, *Parné kotly. Typy a základné parametre*, 1983
- [12] ČSN 07 0711, *Provoz zařízení pro úpravu vody*, 1965
- [13] Bartovská, L., Šišková, M.: *Co je co v povrchové a koloidní chemii - výkladový slovník*, VŠCHT, Praha 2005
- [14] *Teplárna Otrokovice a.s.* [online].. [cit. 2011-03-15].. Dostupný z WWW: [<http://www.tot.cz/>](http://www.tot.cz/).
- [15] *Provozní záznamy laboratoře a strojovny v Teplárně Otrokovice 2010*
- [16] *Culligan – Reverzní osmóza* [online].. [cit. 2011-03-21].. Dostupný z WWW: [<http://www.culligan.cz/technologie/reverzni-osmoza>](http://www.culligan.cz/technologie/reverzni-osmoza).
- [17] Hübner, P.: *Výhody a nevýhody reverzní osmózy proti ionexové demineralizaci*, *Sborník konference - Úprava vod v energetice*, Pardubice 1997

- [18] Hušek, Č, Čuda, P.: *Reverzní osmóza – Bulletin Energochemie č.2*, Hradec Králové 1996

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CHÚV	Chemická úpravna vody
TOT	Teplárna Otrokovice
KNK _{4,5}	Kyselinová neutralizační kapacita – alkalita celková
KNK _{8,3}	Kyselinová neutralizační kapacita – alkalita zjevná
Fe ³⁺	Železitý iont
Fe(OH) ₃	Hydroxid železitý
pH	Záporně vzatý dekadický logaritmus aktivity oxoniových kationtů
HCl	Kyselina chlorovodíková
Ca(OH) ₂	Hydroxid vápenatý
CaCO ₃	Uhličitan vápenatý
Ca ²⁺	Vápenatý iont
Mg ²⁺	Hořečnatý iont
Na ⁺	Sodíkový iont
CO ₂	Oxid uhličitý
H ₂ O	Voda
OH ⁻	Hydroxylový iont
H ⁺	Vodíkový iont
Cl ⁻	Chloridový iont
HCO ₃ ⁻	Hydrogenuhličitanový iont
CO ₃ ²⁻	Uhličitanový iont
NH ₄ ⁺	Amonný iont
SiO ₂	Oxid křemičitý
SO ₄ ²⁻	Síranový iont
H ₃ SiO ₄ ⁻	Trihydrogenkřemičitanový iont

H_4SiO_4	Kyselina tetrahydrogenkřemičitá
NaOH	Hydroxid sodný
NO_3^-	Dusičnanový iont
SV	Surová voda
JSV	Jímka surové vody
ČV	Čiřená voda
JČV	Jímka čířené vody
NaClO	Chlornan sodný
D_{FeCl_3}	Dávka chloridu železitého (mmol.l^{-1})
NL	Nerozpuštěné látky
Fe	Železo
VRK	Vratný kondenzát
NN I.st.	Napájecí nádrže prvního stupně
NN II.st.	Napájecí nádrže druhého stupně

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Velikost jednotlivých částic ve vodě a metody jejich přímého odstranění	14
Obr. 2 Postup předúpravy vody	16
Obr. 3 Agregace a sedimentace disperzních částic	17
Obr. 4 Schéma čističe - akcelátoru	34

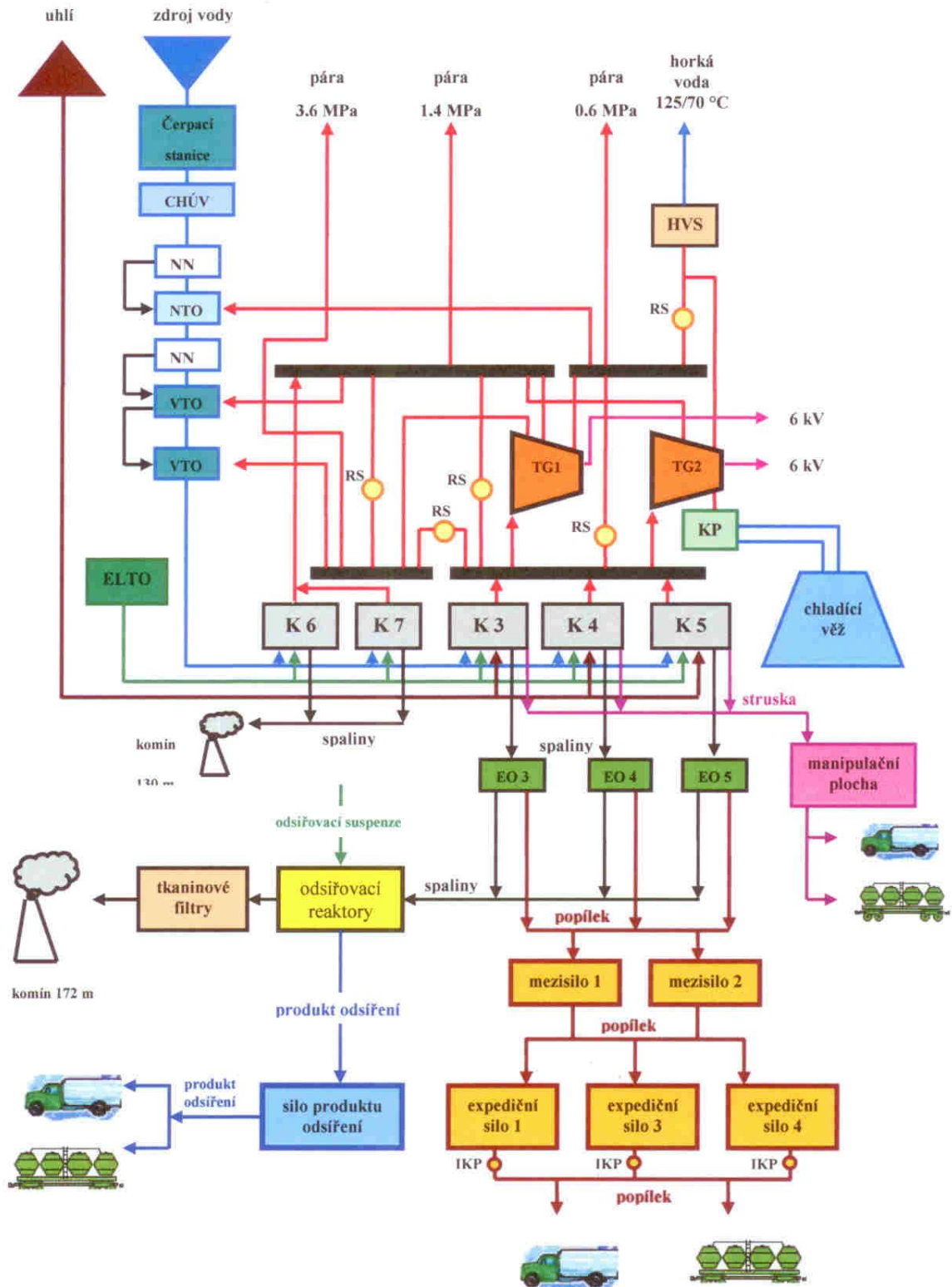
SEZNAM TABULEK

Tab.1 Projektové parametry surové vody před předúpravou	
31	
Tab.2 Parametry vyčiřené vody	32
Tab.3 Parametry upravené vody za směsnými filtry	40
Tab.4 Požadované parametry upravené vody pro výrobní blok	42
Tab.5 Výstupní upravená voda z CHÚV v TOT a.s. - průměry sledovaných veličin za rok 2010	42

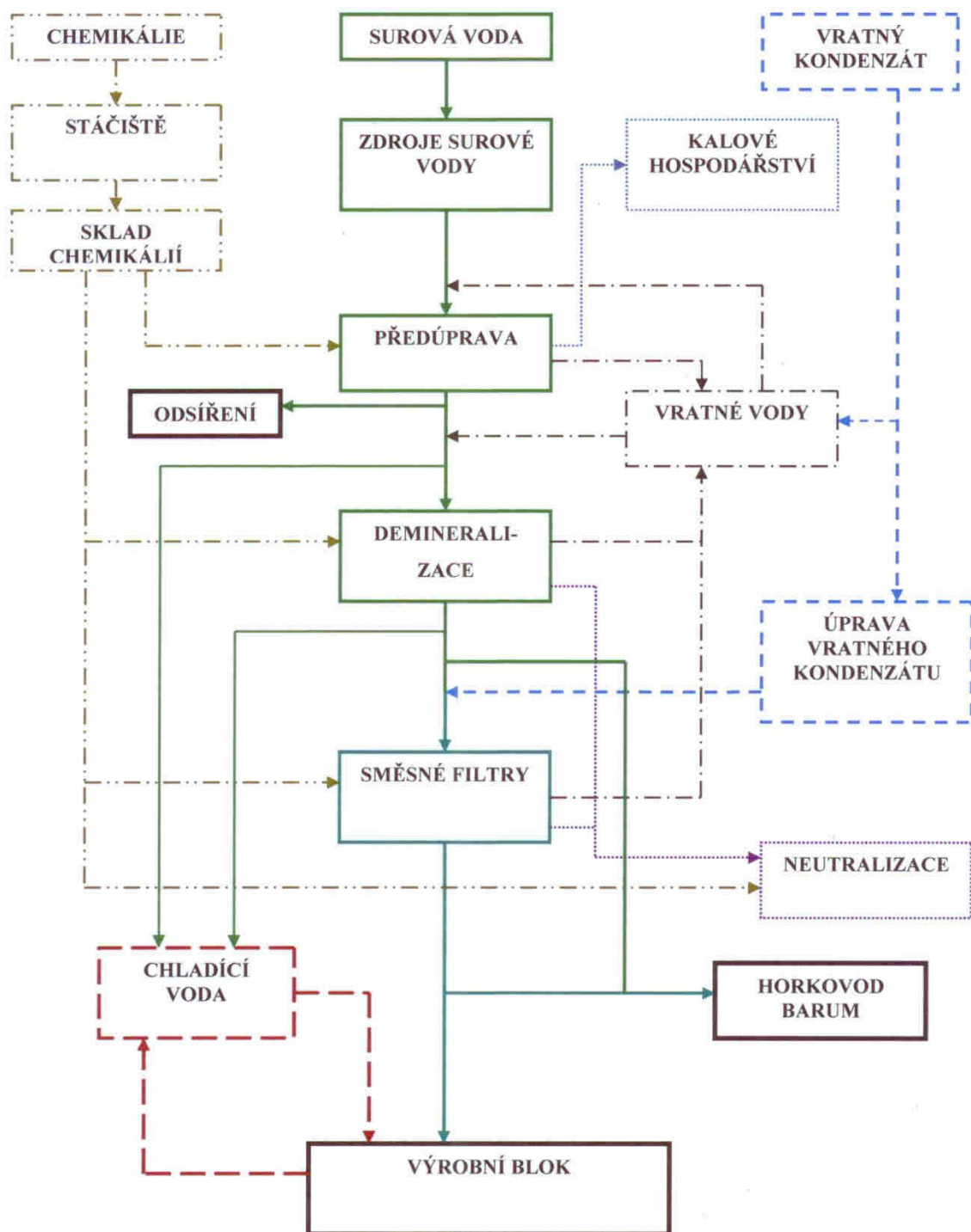
SEZNAM PŘÍLOH

- P I Technologické schéma výroby Teplárny Otrokovice a.s.
- P II Technologické schéma Chemické úpravny vody Teplárny Otrokovice a.s.
- P III Technologické schéma předúpravy vody I. Teplárny Otrokovice a.s.
- P IV Technologické schéma předúpravy vody II. Teplárny Otrokovice a.s.
- P V Technologické schéma předúpravy vody III. Teplárny Otrokovice a.s.
- P VI Technologické schéma předúpravy vody IV. Teplárny Otrokovice a.s.
- P VII Technologické schéma demineralizace I. Teplárny Otrokovice a.s.
- P VIII Technologické schéma demineralizace II. Teplárny Otrokovice a.s.
- P IX Technologické schéma demineralizace III. Teplárny Otrokovice a.s.
- P X Technologické schéma demineralizace IV. Teplárny Otrokovice a.s.
- P XI Technologické schéma úprava vratných kondenzátů Teplárny Otrokovice a.s.
- P XII Technologické schéma směsné filtry I. Teplárny Otrokovice a.s.
- P XIII Technologické schéma směsné filtry II. Teplárny Otrokovice a.s.
- P XIV Technologické schéma neutralizace Teplárny Otrokovice a.s.
- P XV Technologické schéma odpadní vody Teplárny Otrokovice a.s.

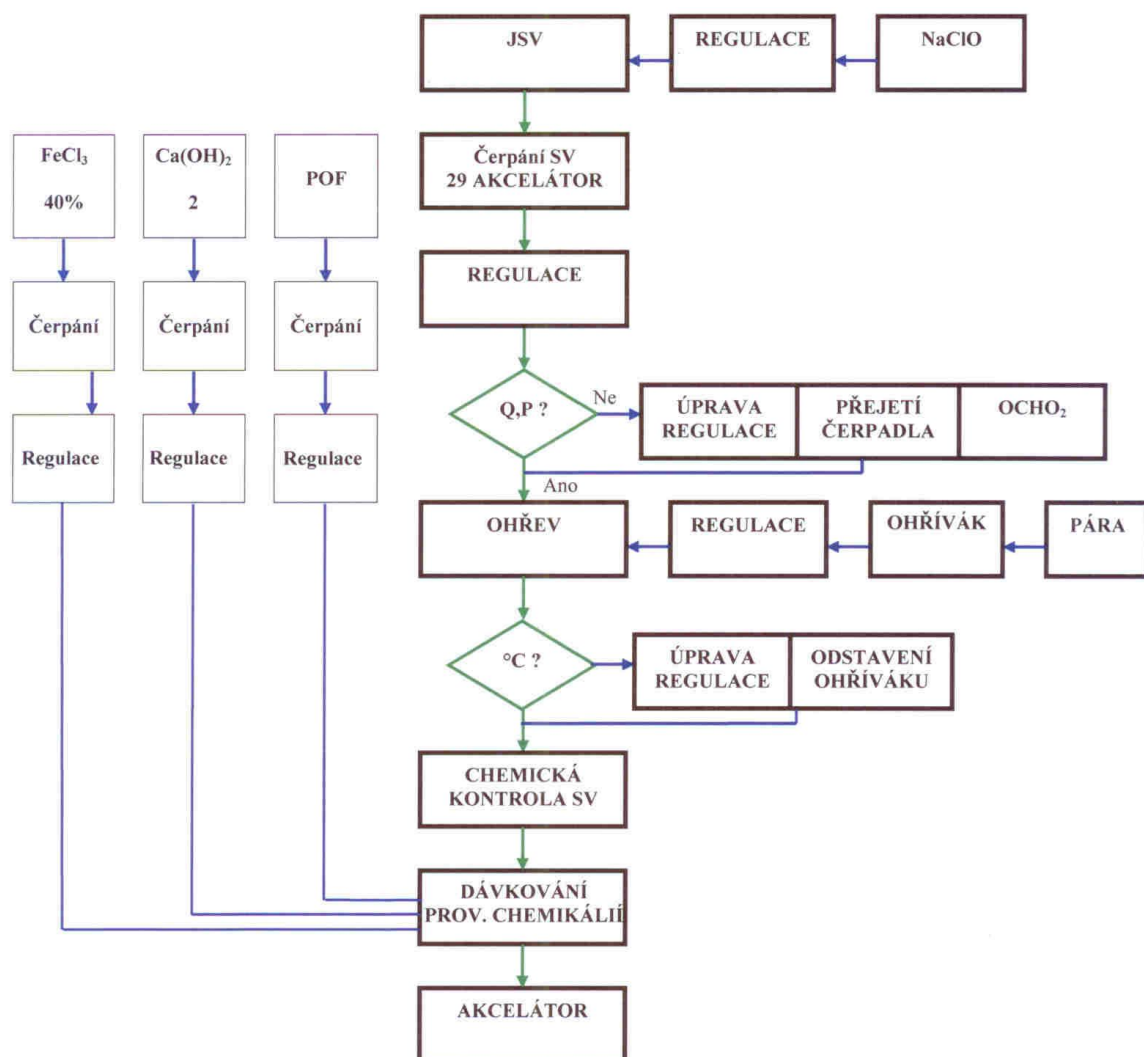
PŘÍLOHA P I: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA VÝROBY TEPLÁRNY OTROKOVICE a. s.



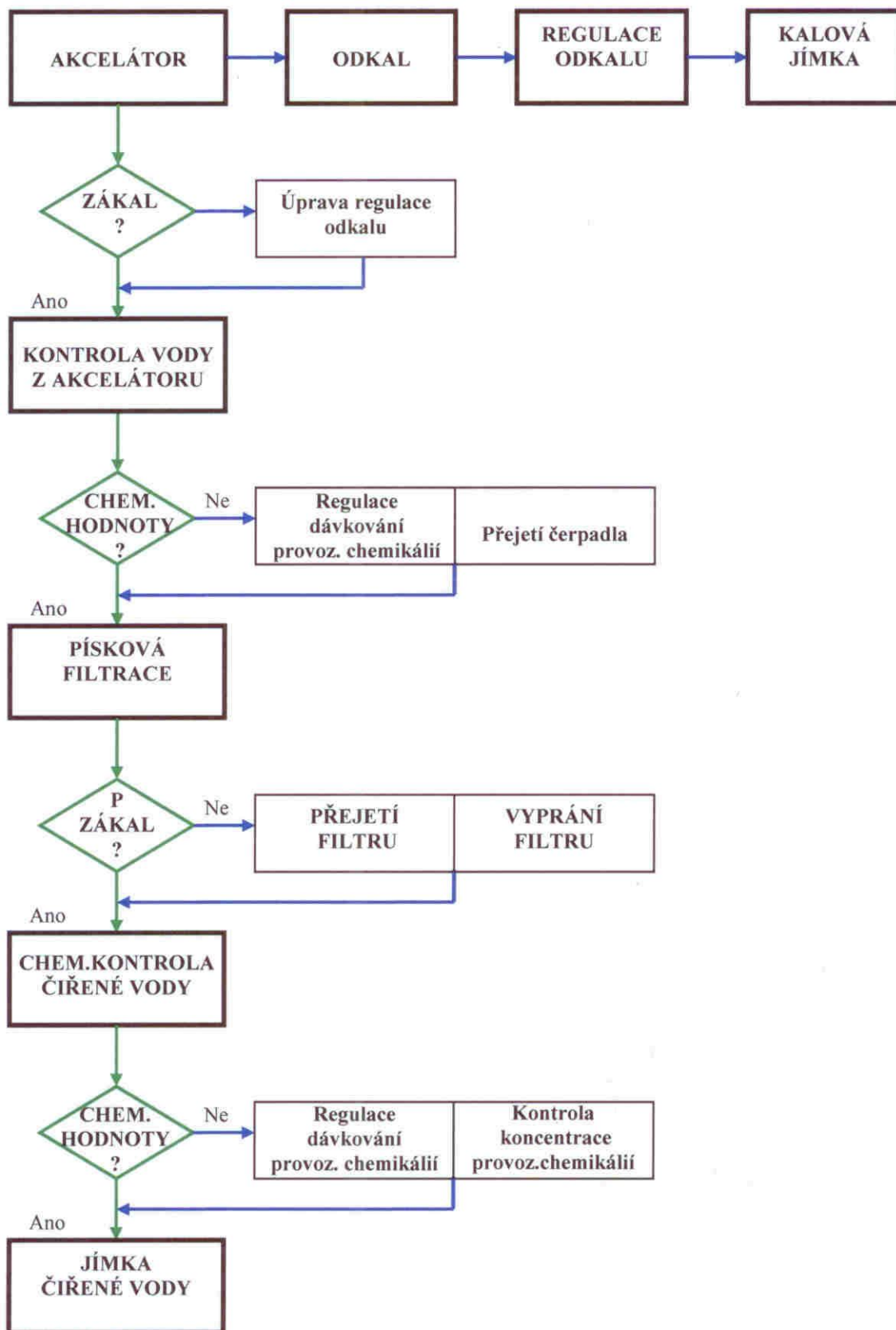
PŘÍLOHA P II: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA CHEMICKÉ ÚPRAVY VODY V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE



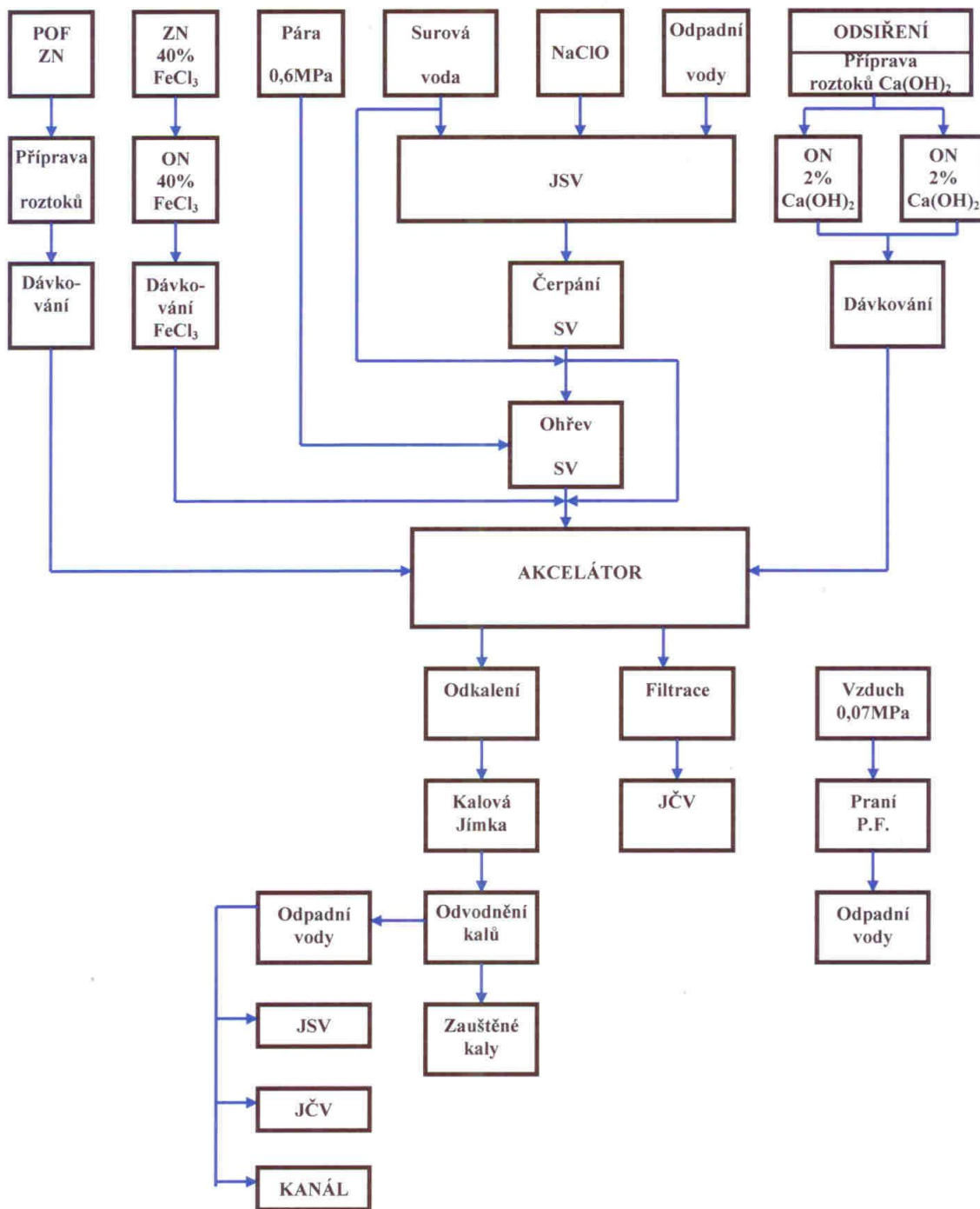
PŘÍLOHA P III: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA PŘEDÚPRAVY I. V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE



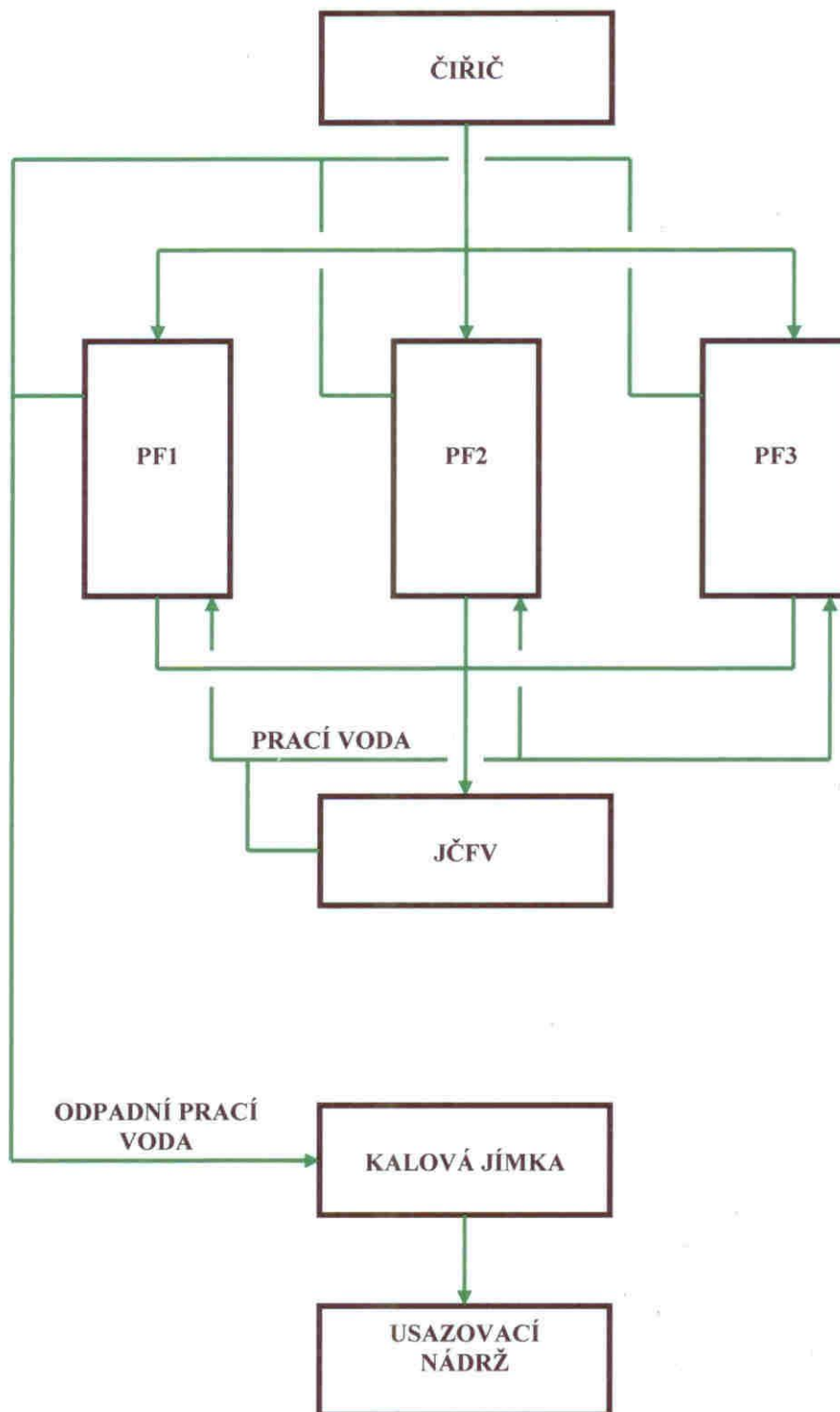
**PŘÍLOHA P IV: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA PŘEDÚPRAVY II.
V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE**



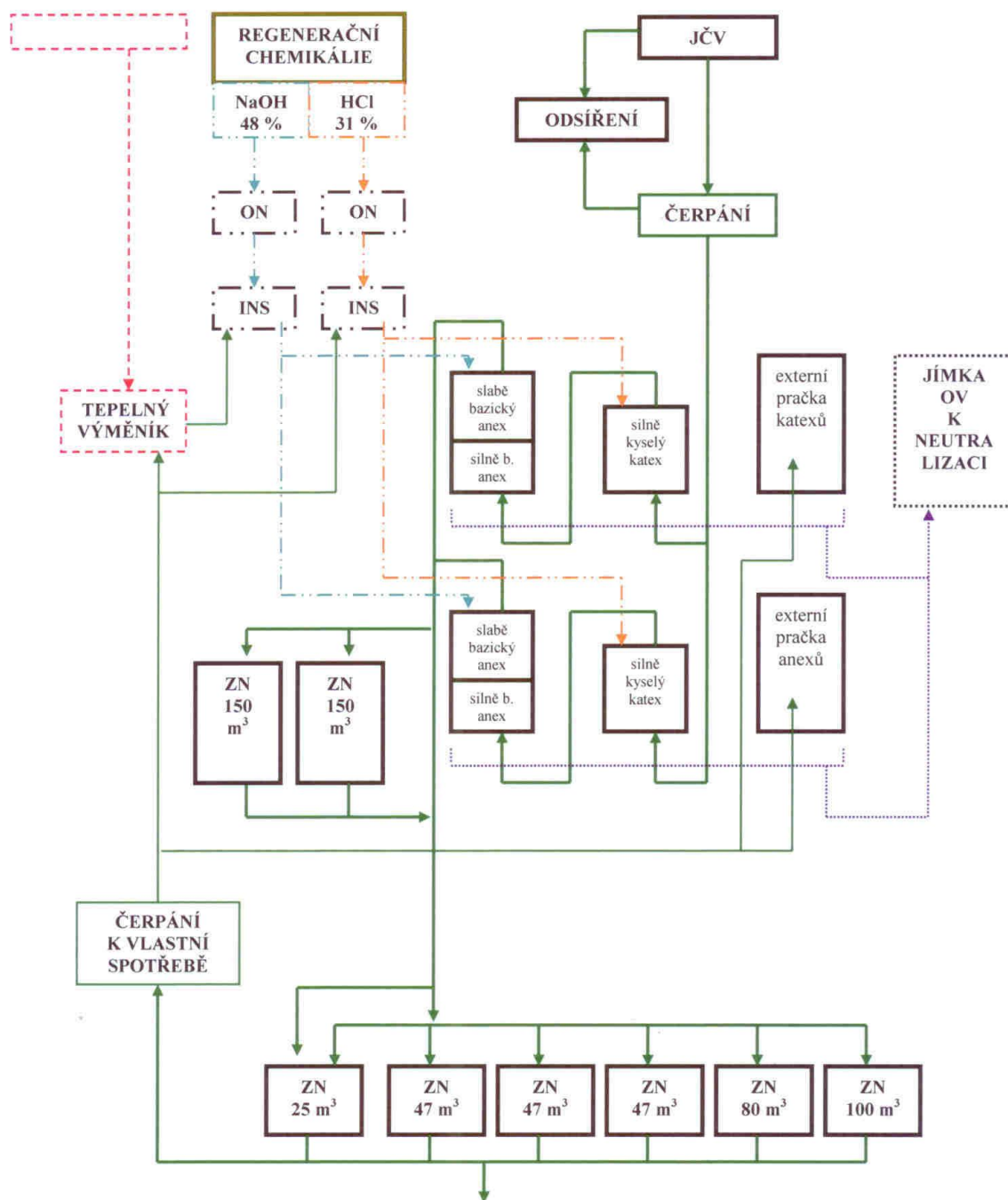
**PŘÍLOHA P V: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA PŘEDÚPRAVY III.
V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE – MATERIÁLOVÉ TOKY**



**PŘÍLOHA P VI: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA PŘEDÚPRAVY IV.
V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE – MATERIÁLOVÉ TOKY – PÍSKOVÉ
FILTRY**

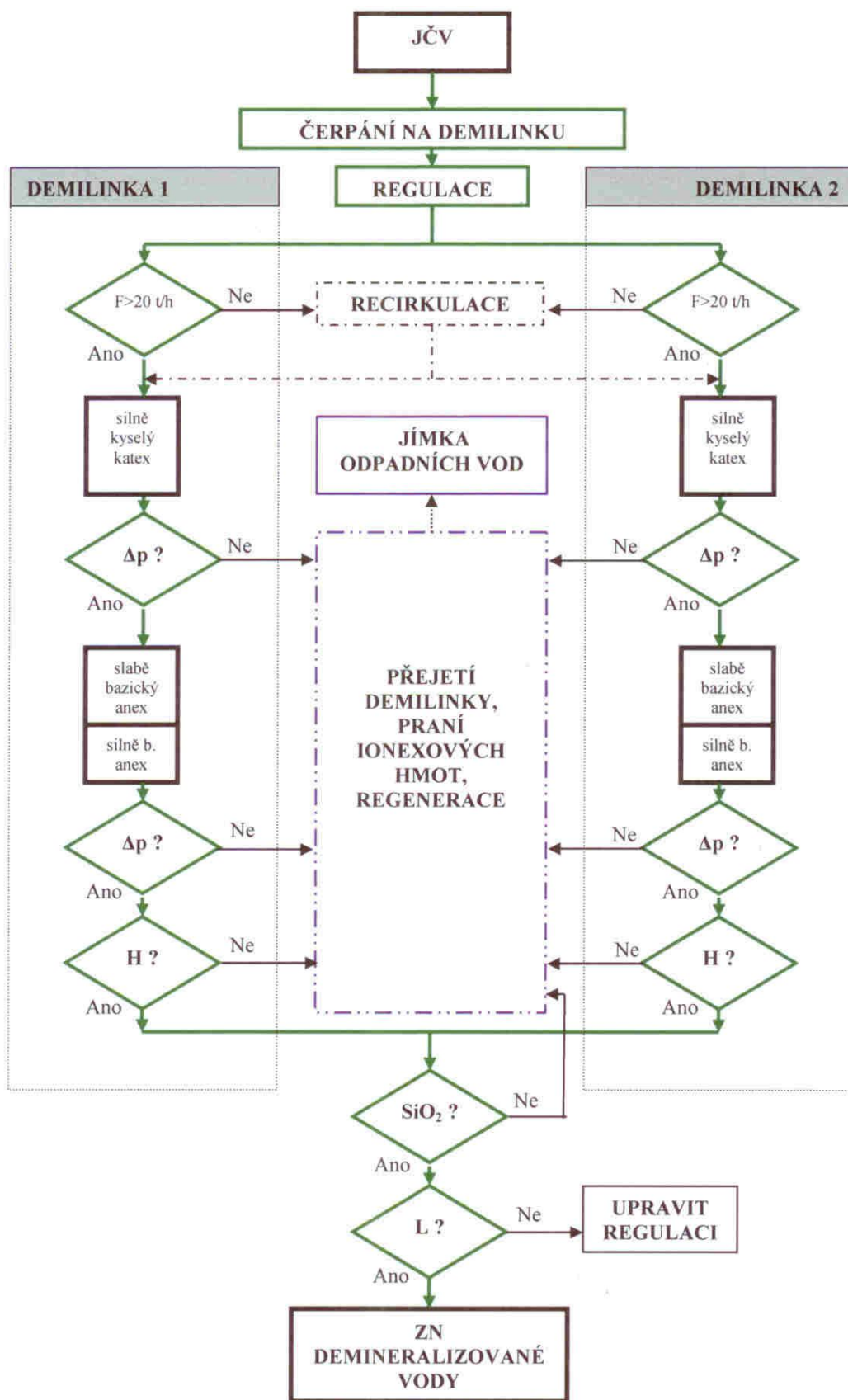


PŘÍLOHA P VII: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA DEMINERALIZACE I. V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE – MATERIÁLOVÉ TOKY

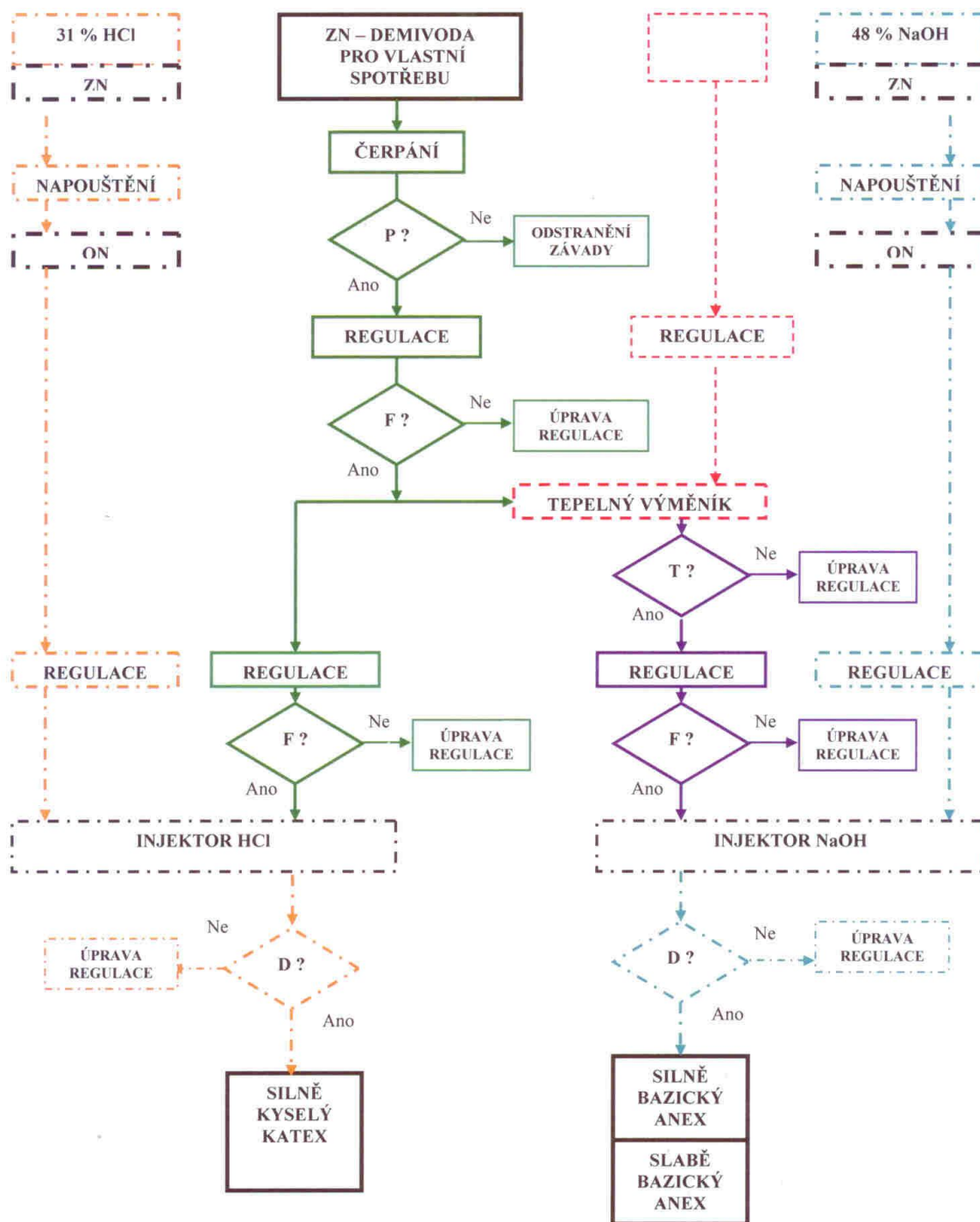


PŘÍLOHA P VIII: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA

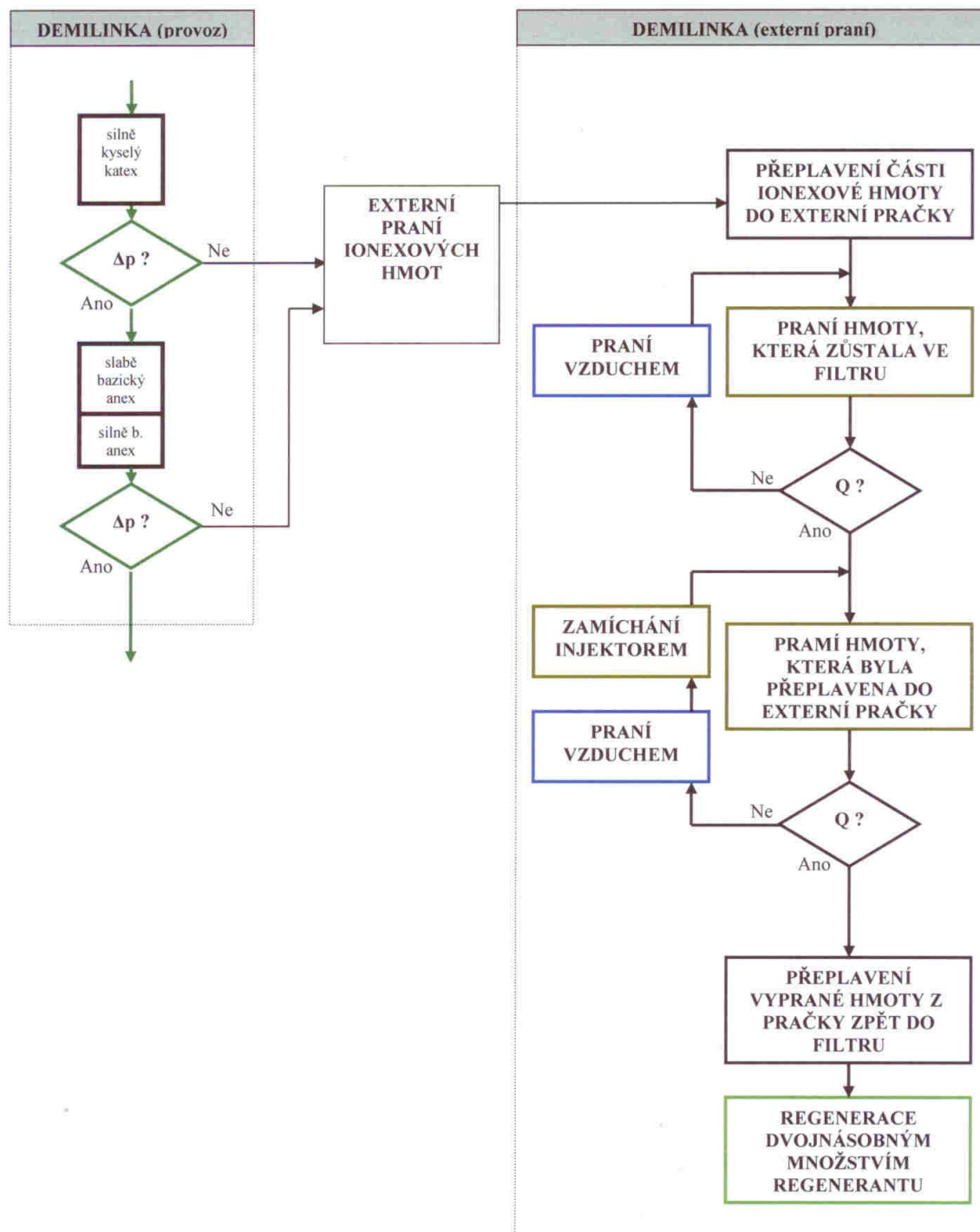
DEMINERALIZACE I. V TEPLárnĚ OTROKOVICE – PROVOZ



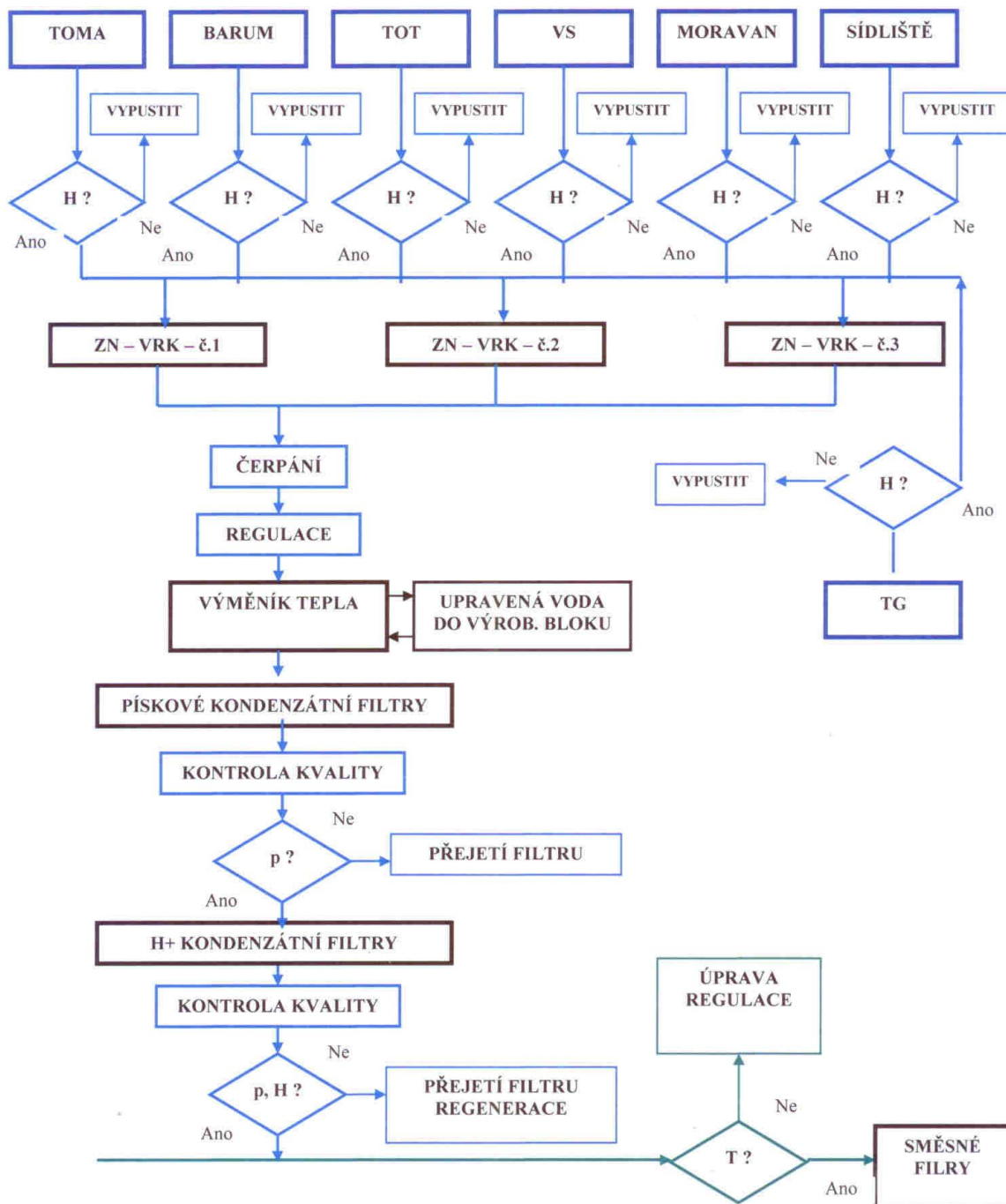
**PŘÍLOHA P IX: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA DEMINERALIZACE
III. V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE – REGENERACE FILTRŮ**



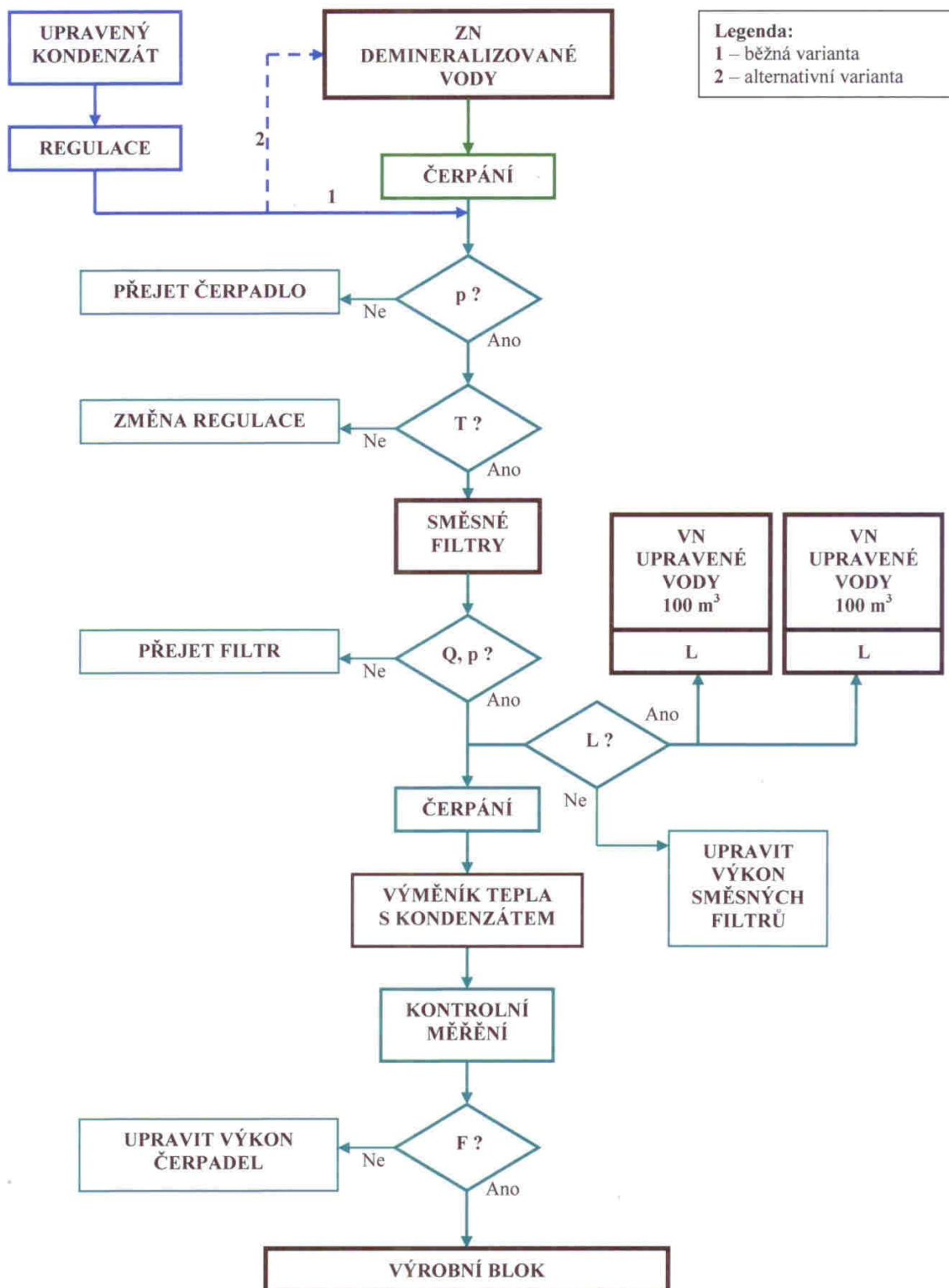
PŘÍLOHA P X: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA DEMINERALIZACE IV. V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE – EXTERNÍ PRANÍ



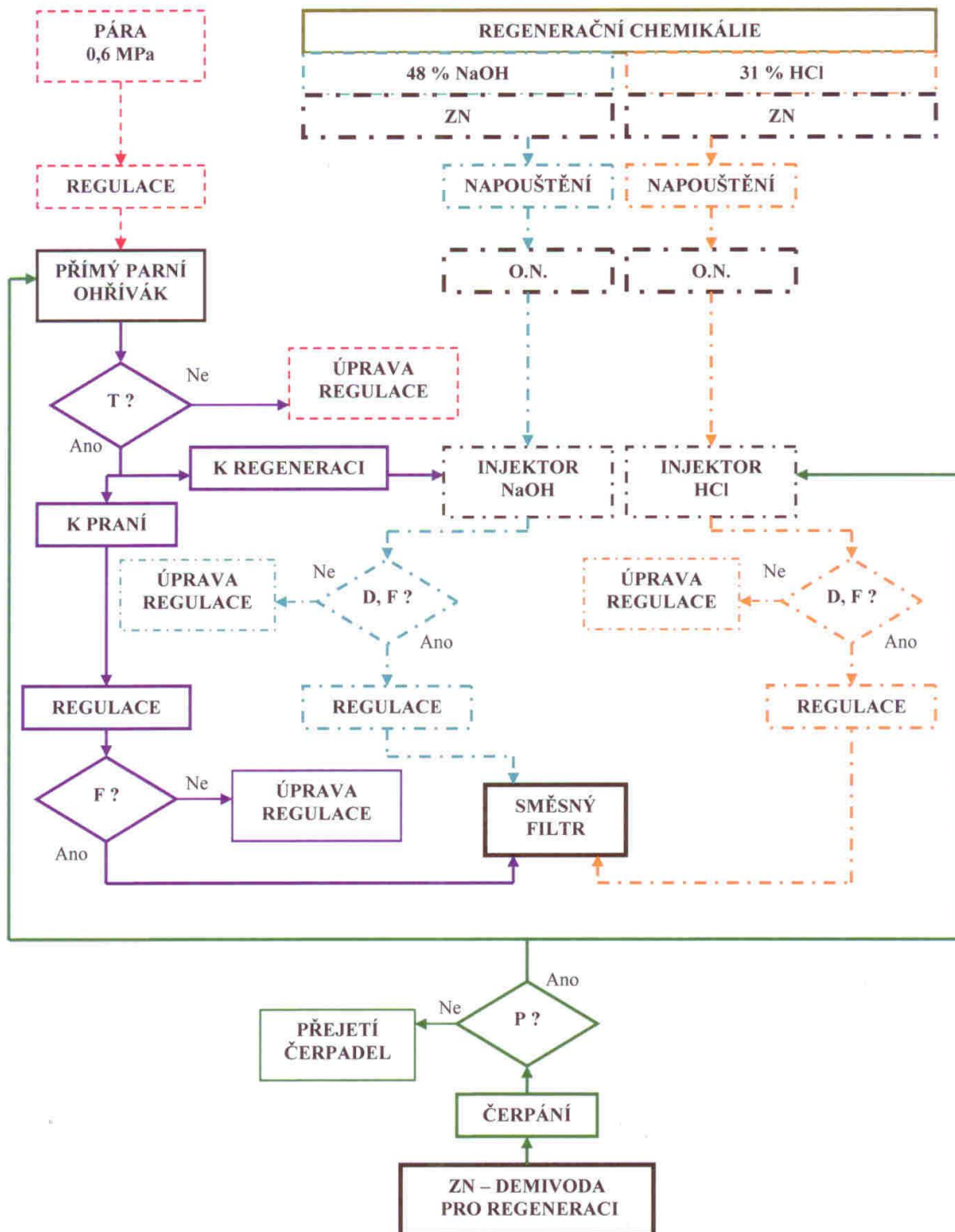
PŘÍLOHA P XI: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ÚPRAVA VRATNÝCH KONDENZÁTŮ V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE



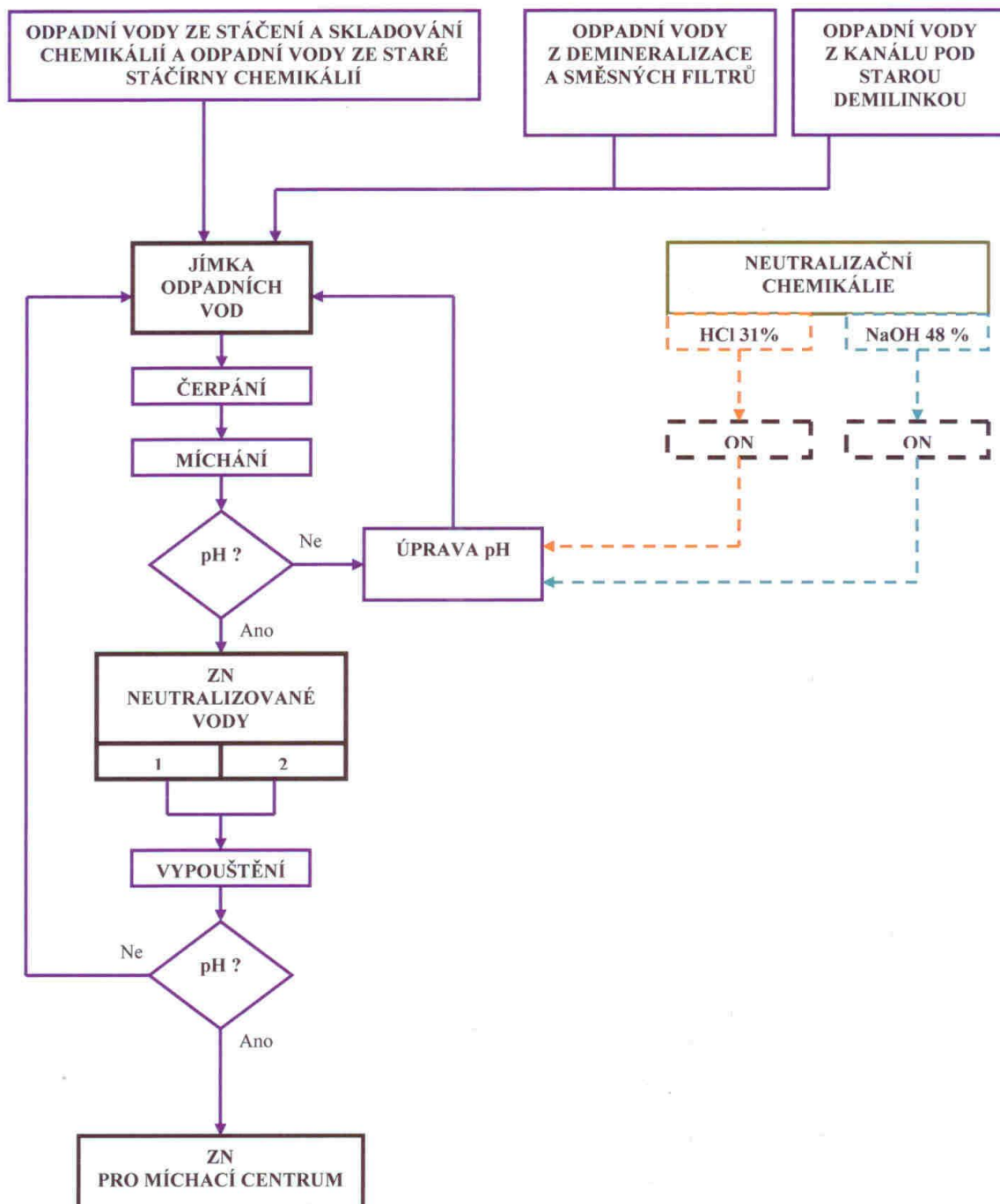
PŘÍLOHA P XII: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA SMĚSNÉ FILTRY I. V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE – PROVOZ



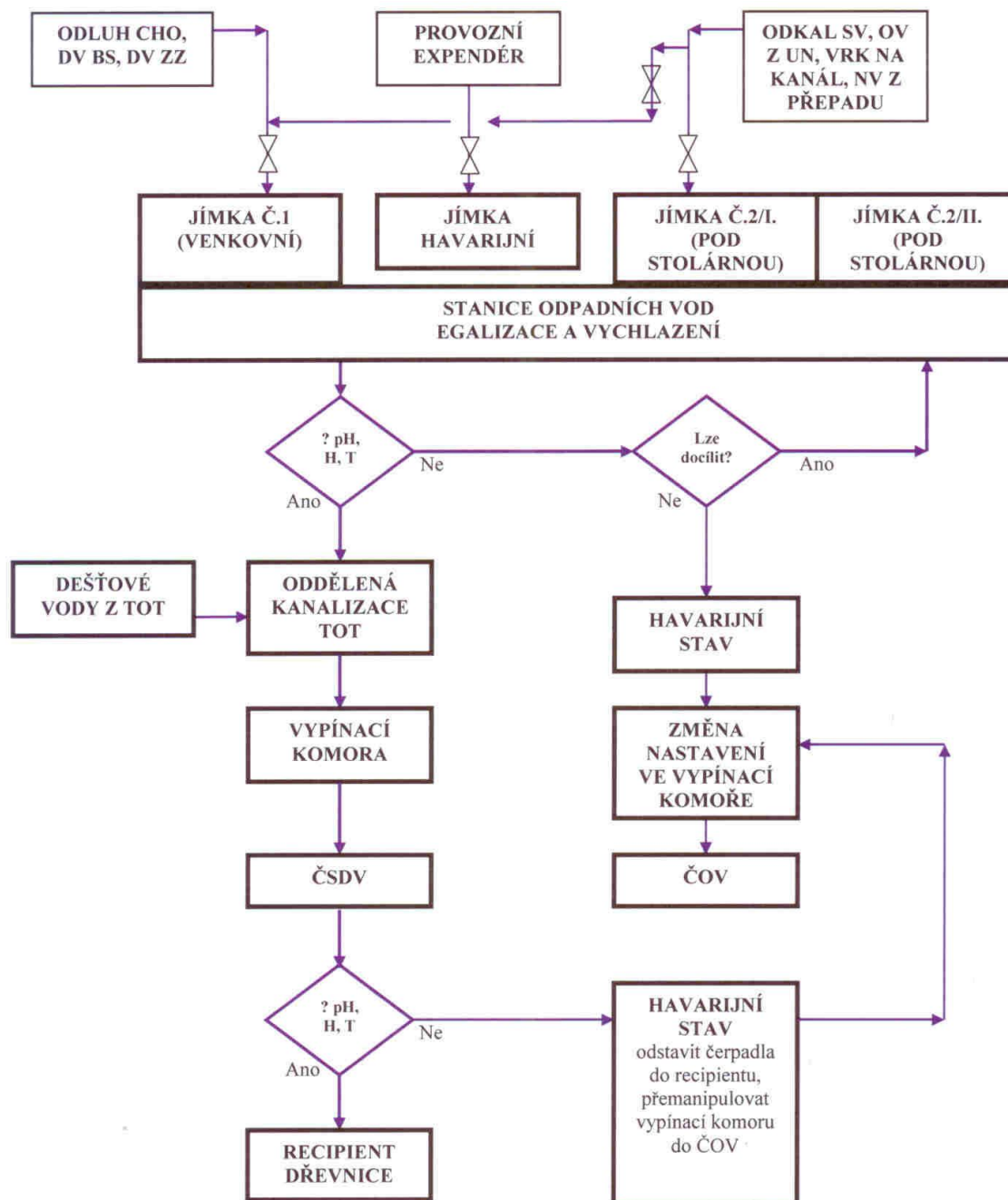
PŘÍLOHA P XIII: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA SMĚSNÉ FILTRY II. V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE – REGENERACE FILTRŮ



PŘÍLOHA P XIV: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA NEUTRALIZACE ODPADNÍCH VOD V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE



PŘÍLOHA P XV: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ODPADNÍ VODY V TEPLÁRNĚ OTROKOVICE



Legenda: pH – pH hodnota vody, T – teplota, H – vodivost, ČOV – městská čistička odpadních vod, ČSDV – čerpací stanice dešťových vod, CHO – chladicí okruh, DV – dešťová voda, BS – bagrovací stanice, ZZ – záložní zdroj, SV – surová voda, OV – odpadní voda, UN – usazovací nádrž, VRK – vratný kondenzát, NV – neutralizovaná voda

Legenda příloh:			
CHÚV	chemická úpravna vody	RS	redukční stanice
NN	napájecí nádrž	KP	kondenzátor páry
NTO	nízkotlaký ohřívák	K	kotle
VTO	vysokotlaký ohřívák	ELTO	extralehký topný olej
HVS	horkovodní výměňková stanice	EO	elektrostatické odlučovače
TG	turbogenerátor	IKP	kontrolní zkoušky popílku
SV	surová voda	NaClO	Chlornan sodný
JSV	jímka surové vody	POF	Pomocný flokulantu
JČV	jímka čiřené vody	FeCl ₃	Chlorid železitý
ČV	čiřená voda	HCl	Kyselina chlorovodíková
DV	demineralizovaná voda	NaOH	Hydroxid sodný
OV	odpadní vody	Ca(OH) ₂	Hydroxid vápenatý
SOV	stanice odpadních vod	Q	kvalita
ČSDV	čerpací stanice dešťových vod	p	kyselinová neutralizační kapacita (8,3)
DV	dešťové vody	ZN	zásobní nádrž
UV	upravená voda	ON	odměrná nádrž
MB	mix bet (směsný filtr)	JCHV	jímka chladicí vody
H ⁺	katexový filtr	CHV	chladicí voda
VRK	vratný kondenzát	PF	pískový filtr
D	hustota	JČFV	jímka čiřené filtrované vody
P	průtok (demineralizace - regenerace)	INS	podtlakový injektor
p, Δp	tlaková ztráta	F	průtok
CHO	chladicí okruh	H	měrná elektrická vodivost
UN	usazovací nádrž	SiO ₂	Oxid křemičitý
L	výška hladiny	T	teplota