VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ ÚPRAVEN VOD

SLUDGE MANAGEMENT OF WATER TREATMENT PLANTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE ILONA ŠEVČÍKOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. RENATA BIELA, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2014

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Ilona Ševčíková
Název	Kalové hospodářství úpraven vod
Vedoucí bakalářské práce	Ing. Renata Biela, Ph.D.
Datum zadání bakalářské práce	30. 11. 2013
Datum odevzdání bakalářské práce	30. 5. 2014

V Brně dne 30. 11. 2013

.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

[1] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.
[2] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. Vodárenství: Studijní opory. 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.
[3] GRÜNWALD, Alexander. Zdravotně inženýrské stavby 40: Úprava vody. 1. vydání. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. 103 s. ISBN 80-01-01658-7.
[4] LÁTAL, M., TESAŘÍK, I., ZEMAN, R. Vybrané statě z vodárenství. 2. přepracované vydání. Brno: VUT v Brně, 1989. 114 s. ISBN 80-214-0019-6.
[5] MAZEL, L., POKORNÝ, M. Vodárny a čistírny. 2. přepracované vydání. Brno: VUT v Brně, 1992. 149 s. ISBN 80-214-0473-6.
[6] Odborné časopisy (Sovak, Vodní hospodářství)

Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

Předmětem bakalářské práce bude popis možností zpracování kalů z úpraven vod a vytvoření přehledu zařízení, která se v současnosti ke zpracování kalů ve vodárnách používají. Budou uvedeny i příklady kalového hospodářství na konkrétních úpravnách vody.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Renata Biela

Ing. Renata Biela, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

Abstrakt:

Bakalářská práce se zabývá kalovým hospodářstvím úpraven vod. Cílem práce je popsat současné možnosti zpracování vodárenských kalů a uvést konkrétní příklady kalového hospodářství na úpravnách vody. Za tímto účelem je práce rozdělena na teoretickou část a praktickou část. Teoretická část se zabývá principy úpravy vody, vznikem vodárenských kalů na úpravnách s různým počtem separačních stupňů, složením, vlastnostmi vodárenských kalů, zpracováním a následnou likvidací nebo využitím vodárenských kalů. V praktické části je popsáno kalové hospodářství šesti úpraven vody v České republice.

Klíčová slova:

Úprava vody, vodárenské kaly, zpracování vodárenských kalů, kalové hospodářství.

Abstract:

This bachelor thesis deals with sludge management of water treatment plants. The aim of the thesis is to analyse posibilities of sludge treatment and describe sludge management in specific cases. This writing is divided into theoretical and practical part. Theoretical part deals with principles of water treatment, creation of sludge in water treatment plants with different number of separation stages, quality of sludge, sludge treatment, elimination or using of sludge. Practical part describes sludge management of six specific water treatment plants in the Czech Republic.

Keywords:

Water treatment, water treatment sludge, sludge treatment, sludge management.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

ŠEVČÍKOVÁ, Ilona. *Kalové hospodářství úpraven vod*. Brno, 2014. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Renata Biela, Ph.D, 64 s.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Opavě dne 27. 5. 2014

.....

podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala paní Ing. Renatě Biele, Ph.D. za vedení bakalářské práce a dále paní Ing. Orszulikové a panu Ing. Chromíkovi za poskytnutí podkladů a umožnění exkurzí na úpravny vody.

OBSAH

1 ÚVOD 3

2 ÚPRAVA SUROVÉ VODY NA VODU PITNOU 4

2.1 Zdroje surové vody 4
2.1.1 Podzemní vody 4
2.1.2 Povrchové vody 4

2.2 Požadavky na jakost surové vody 4
2.2.1 Typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody 5

2.3 Základní principy úpravy vody 6
2.3.1 Fyzikální procesy 6
2.3.2 Chemické procesy 6
2.3.3 Biologické a mikrobiologické procesy 7

2.4 Typy úpraven vod 7
2.4.1 Typy úpraven vod dle počtu separačních stupňů 7

3 VODÁRENSKÉ KALY 11

3.1 Vznik vodárenských kalů 11

3.2 Vlastnosti vodárenských kalů 11
3.2.1 Složení vodárenských kalů 11
3.2.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti vodárenských kalů 13
3.2.3 Mikrobiologické vlastnosti vodárenských kalů 13

3.3 Zpracování vodárenských kalů 14
3.3.1 Zahušťování vodárenských kalů 14
3.3.2 Odvodňování vodárenských kalů 16

3.4 Využití a likvidace vodárenských kalů 25
3.4.1 Likvidace vodárenských kalů 25
3.4.2 Možnosti využití vodárenských kalů 26

4 PŘÍKLADY KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ NA KONKRÉTNÍCH ÚPRAVNÁCH VODY 28

4.1 Úpravny vody provozované společností Ovak a.s. 28
4.1.1 Vodní zdroje Nová Ves a Dubí s úpravnou vody Ostrava - Nová Ves 28
4.1.2 Ostatní vodní zdroje provozované společností Ovak a. s. 38

4.2 Úpravny vody provozované společností SmVaK Ostrava a.s. 38
4.2.1 Úpravna vody Podhradí 38
4.2.2 Úpravna vody Nová Ves u Frýdlantu nad Ostravicí 43
4.2.3 Úpravna vody Vyšní Lhoty 50

4.3 Úpravny provozované dalšími provozovateli 50
4.3.1 Úpravna vody Souš 50
4.3.2 Úpravna vody Kroměříž 53

5 ZÁVĚR 57

6 POUŽITÁ LITERATURA 59

SEZNAM TABULEK 60

SEZNAM OBRÁZKŮ 61

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ 63

SUMMARY 64

1 ÚVOD

Předmětem této bakalářské práce je popis možností zpracování kalů z úpraven vod a vytvoření přehledu zařízení, která se v současnosti ke zpracování kalů využívají. Na úvod je třeba definovat pojem vodárenské kaly.

Názvosloví vodárenské technologie používá pro odpady vznikající v technologickém procesu úpraven vody souhrnný název vodárenské kaly. Přesná definice je obtížnější, neboť u vodárenských kalů se jedná jak o kaly, tedy odpady v pravém slova smyslu, tak i odpadní vody. Norma ČSN 75 0150 – Názvosloví vodárenství, definuje vodárenský kal jako kal odpadající z provozu úpravny vody. Obecně pod pojmem kal rozumíme suspenzi pevných látek nazývaných sušina kalu. [1]

Tato bakalářská práce obsahuje tři kapitoly. V první kapitole se věnuji úpravě surové vody na pitnou - zdrojům surové vody, požadavkům na jakost surové vody, základním principům úpravy vody, typům úpraven vod podle počtu separačních stupňů a tomu, kde na těchto úpravnách vzniká kal.

V druhé části práce řeším podrobněji vznik vodárenských kalů, jejich složení, vlastnosti, různé způsoby zpracování (odvodňování a zahušťování) a možné způsoby využití a likvidace vodárenských kalů.

V poslední části práce jsem měla za úkol uvést konkrétní příklady kalového hospodářství na různých úpravnách vody. Je zde popsáno zpracování kalů na šesti úpravnách vody v České republice, a to na úpravně vody Ostrava - Nová Ves, Vítkov - Podhradí, Nová Ves u Frýdlantu nad Ostravicí, Vyšní Lhoty, Souš a Kroměříž.

2 ÚPRAVA SUROVÉ VODY NA VODU PITNOU

2.1 ZDROJE SUROVÉ VODY

2.1.1 Podzemní vody

Jako podzemní se označují vody, které se nacházejí pod povrchem země, kde zaplňují dutiny zvodnělých hornin. Chemické složení závisí hlavně na horninovém prostředí, s nímž jsou vody ve styku. [1]

Podzemní vody bývají většinou více mineralizované než vody povrchové, vyznačují se stálou teplotou a nízkým nebo žádným obsahem kyslíku. Naopak mají vysokou koncentraci oxidu uhličitého, železa a manganu. Poslední dvě z těchto sloučenin jsou velmi důležité, protože se úpravou z vody odstraňují a následně tvoří významnou část vodárenského kalu. [1]

Hodnota pH bývá obvykle nižší, což vede k vyššímu obsahu rozpuštěných kovů. Některé podzemní vody obsahují radioaktivní radon. [1]

Podzemní vody bývají často znečištěny zejména dusičnany, které se do podloží dostávají vyplavováním hnojiv z půdy. Velmi závažné bývá znečištění ropnými látkami, které znemožňuje použití takto znečištěné vody k úpravě na vodu pitnou. Navrácení zdroje podzemní vody po ropné havárii do původního stavu je mimořádně nákladné.

2.1.2 Povrchové vody

Povrchové vody tvoří nyní převažující většinu zdrojů pitné vody, zároveň ale jsou recipientem odpadních vod. [1]

Povrchové vody se na rozdíl od podzemních vod vyznačují vyšší a proměnlivou teplotou, nižší mineralizací, vyšším obsahem kyslíku, větším obsahem organických látek. Vyšší je počet mikroorganismů i biologické oživení povrchových vod. Povrchové vody charakterizuje také vyšší obsah zákalotvorných a suspendovaných látek. [1]

Povrchové vody obsahují méně oxidu uhličitého než podzemní vody. Hodnota pH se pohybuje v rozmezí od 6,0 do 8,5. [1]

V důsledku zvyšování obsahu sloučenin dusíku a fosforu dochází ve vodárenských nádržích k rozvoji vodních organismů, které způsobují problémy při úpravě a zhoršují senzorické vlastnosti vody. Dalším možným znečištěním povrchových vod jsou ropné látky nebo těžké kovy (např. kadmium, zinek, chróm, rtuť, stříbro, měď, olovo atd.). Pokud se tyto kovy podaří z pitné vody odstranit, dostávají se do vodárenského kalu, čímž omezují jeho další využití (např. v zemědělství). [1]

2.2 POŽADAVKY NA JAKOST SUROVÉ VODY

Přírodní vody používané v procesu úpravy na vody pitné obsahují celé spektrum látek různého charakteru a vlastností. I když na vodu pitnou lze upravit vody různého složení, v praxi bývá složení upravovaných vod, zejména u vod povrchových, limitováno zákonnými prostředky. [1]

V České republice se postupuje dle zákona o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu (zákon č. 274/2001 Sb.). Mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie úpravy surové vody stanovuje prováděcí vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb.

Při výběru zdroje surové vody pro úpravu na vodu pitnou je snaha používat takové zdroje, které se svými vlastnostmi co nejvíce blíží požadavkům na vodu pitnou. V mnoha případech to není možné a je nutno používat méně kvalitní zdroje, což vede k použití složitějších a náročnějších technologií. [1]

Z hygienických a ekonomických důvodů by výběr zdrojů vhodných pro vodárenské účely měl být zaměřen především na podzemní vody. U těchto vod je ovšem rozložení značně nerovnoměrné a není jich ani dostatečné množství. [1]

V České republice se proto jako zdroj surové vody používají především povrchové vody z horních toků řek. Pokud ani těch není dostatek, musí se využívat i méně kvalitní vody ze středních a dolních toků. V současnosti u nás převažuje pitná voda z povrchových zdrojů, která tvoří cca 55 % z celkového objemu vyráběné vody. [1]

2.2.1 Typy úprav pro jednotlivé kategorie surové vody

Ukazatele jakosti surové povrchové i podzemní vody a jejich mezní hodnoty pro jednotlivé kategorie standartních metod úpravy surové vody na pitnou uvádí příloha č. 13 vyhlášky č. 120/2011 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.

Kategorie jakosti surové vody a tomu odpovídající úpravy jsou následující:

Kategorie A1

Úprava surové vody s koncovou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití, a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plynných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti. [3]

Kategorie A2

Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtraci, jednostupňové odželezňování, odmanganování nebo infiltraci, pomalou biologickou filtraci, úpravu v horninovém prostředí, a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody. [3]

Kategorie A3

Úprava surové vody vyžaduje dvou či vícestupňovou úpravu čiřením, oxidací, odželezňováním a odmanganováním s koncovou dezinfekcí popř. jejich kombinaci. Mezi další vhodné procesy se řadí např. využívání ozónu, aktivního uhlí, pomocných flokulantů, flotace. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné (např. sorpce na speciálních materiálech, iontová výměna, membránové postupy) se použijí mimořádně. [3]

Vyšší koncentrace než jsou uvedeny pro kategorii A3

Podle § 13. odst. 2 zákona lze vodu této jakosti výjimečně odebírat pro výrobu pitné vody s udělením výjimky příslušným krajským úřadem. Pro úpravu na vodu pitnou se musí použít technologicky náročné postupy spočívající v kombinaci typů úprav uvedených pro kategorii A3, při čemž je nutné zajistit stabilní kvalitu vyráběné pitné vody podle vyhlášky č. 252/2004 Sb. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody. [3]

2.3 ZÁKLADNÍ PRINCIPY ÚPRAVY VODY

Základní principy úpravy vody [2]:

1. úprava fyzikální,
2. úprava chemická,
3. úprava biologická a mikrobiologická.

2.3.1 Fyzikální procesy

Mezi fyzikální procesy patří například [2]:

1. cezení vody,
2. hrubé či jemné odlučování nečistot,
3. mechanické provzdušnění (aerace) vody,
4. prostá flotace vody,
5. prostá sedimentace vody,
6. prostá (mechanická) filtrace vody,
7. adsorpce vody.

2.3.2 Chemické procesy

Mezi chemické procesy patří například [2]:

1. koagulace po nadávkování chemikálií,
2. flokulace po nadávkování chemikálií,
3. flotace nadávkované vody,
4. čiření nadávkované vody,
5. sedimentace nadávkované vody,
6. koagulační filtrace nadávkované vody,
7. filtrace nadávkované vody,
8. chemické odželezování a odmanganování vody,
9. chemické odkyselení vody,
10. chemické zušlechťování vody (například následná ozonizace),

11. dezinfekce vody,
12. iontová výměna,
13. a další.

2.3.3 Biologické a mikrobiologické procesy

Mezi biologické a mikrobiologické procesy patří [2]:

1. Likvidace producentů konzumenty (děje se v přírodním prostředí mimo úpravnu vody).
2. Likvidace organického a anorganického znečištění působením mikroorganismů živočišného či rostlinného původu (jedná se o aerobní mikroorganismy a řasy); aerobní mikroorganismy a řasy odstraňují vedle organického znečištění i nežádoucí mikroby a koliformní zárodky; proces je nazýván mineralizací organického znečištění.

2.4 TYPY ÚPRAVEN VOD

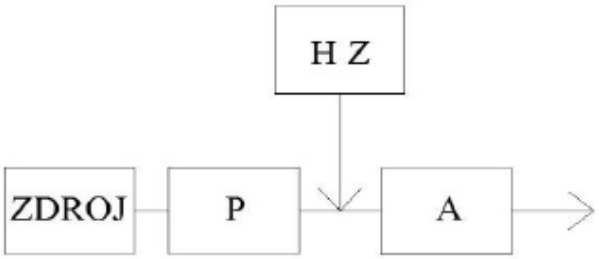
Jak bylo řečeno výše, kvalita surové vody přímo ovlivňuje složitost úpravy vody a volbu metod či rozsahu úpravy. Rozlišujeme čtyři typy úpraven vod podle počtu separačních stupňů. Prvním typem je úpravna bez separačního stupně, na které se většinou odehrává pouze provzdušnění a následná desinfekce. Tento typ úpravny volíme u velmi málo znečištěných surových vod. Druhým typem je jednostupňová úpravna vody. Podzemní surová voda, která se upravuje v jednostupňové úpravně, musí mít celkový obsah železa a manganu menší než 5 $mg.l^{-1}$. U vod povrchových má být maximální množství nadávkovaného koagulantu 20 – 25 $mg.l^{-1}$. Pokud je některé z uvedených kritérií překročeno, musíme přikročit k využití dvoustupňové nebo vícestupňové úpravy. [2]

2.4.1 Typy úpraven vod dle počtu separačních stupňů

Jednoduchá úprava vody bez separačního stupně

Jednoduchou úpravou bez potřeby separace se upravují vody z málo znečištěných zdrojů. Tato úprava se provádí především u podzemních vod s minimálním obsahem organických látek, dvojmocného železa a manganu.

Voda se upravuje aerací (mechanické provzdušnění) za účelem odstranění nežádoucích plynů a pachů (volný oxid uhličitý, sirovodík, bahenní plyny, metan atd.). Provzdušnění se navrhuje i za účelem oxidace podzemní vody s nízkým obsahem kyslíku (zlepšení organoleptických vlastností). Dále se aerace využívá tam, kde je třeba vodu odkyselit (zejména kvůli negativním vlivům na materiál potrubí). Z tohoto důvodu se úpravny bez separačního stupně nazývají odkyselovací stanice. Vzhledem k tomu, že tento typ úpravny nemá žádný separační stupeň, nevzniká zde kal, a tudíž tyto úpravny nemívají kalové hospodářství.



P – provzdušnění vody, A – akumulace vody, HZ – hygienické zabezpečení

Obr. 2.1 Blokové schéma jednostupňové úpravny vody bez separačního stupně [2]

Úprava vody s jednostupňovou separací

Úpravny s jedním separačním stupněm provádí separaci na jednom separačním zařízení vloženém do technologické linky úpravny vody. [2]

V případě úpravy pitné vody jednostupňovým separačním stupněm je tímto stupněm vždy filtrace.

Jedná se buď o [2]:

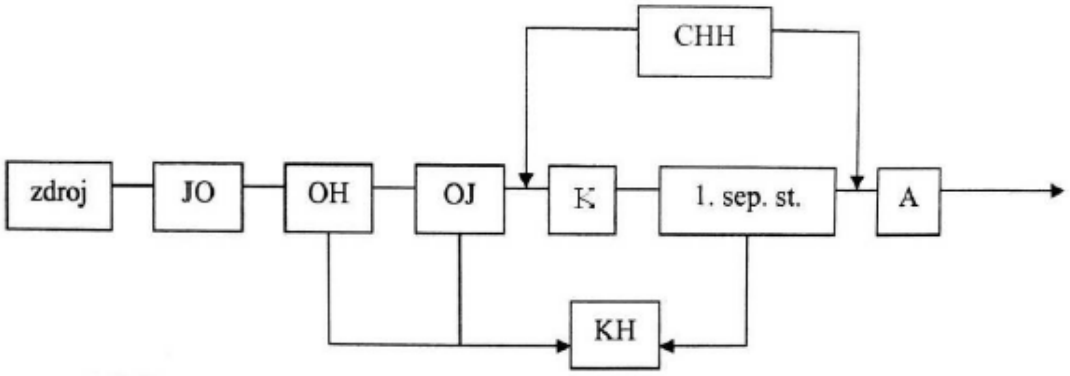
1. pomalou biologickou filtraci,
2. mechanickou prostou filtraci s filtrovanou vodou bez aplikace koagulantu,
3. koagulační filtraci s aplikací koagulantu.

Většinou je nutné provést i předúpravu a doúpravu vody. Ty se liší podle původu upravované vody.

U podzemních vod je snaha během předúpravy oxidovat dvojmocné železo a mangan (Fe^{2+} a Mn^{2+}) do trojmocné formy (Fe^{3+} a Mn^{3+}), která je separovatelná. To se provádí mechanickou aerací vody nebo dávkováním chemikálií. Jako doúprava podzemní vody se někdy používá zušlechtění vody (např. filtrace přes granulované aktivní uhlí). Vždy před akumulací a distribucí pitné vody do spotřebiště se musí provést desinfekce. [2]

U povrchové vody bývá součástí předúpravy koagulace a flokulace s následnou koagulační filtrací. Jako doúprava musí být provedena desinfekce. [2]

Jak je patrno ze schématu, u tohoto typu úpravny se kalové hospodářství týká jemných a hrubých odlučovačů a 1. separačního stupně (např. prací voda z rychlofiltrů).



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace, A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství

Obr. 2.2 Blokové schéma úpravny vody s jednostupňovou separací [2]

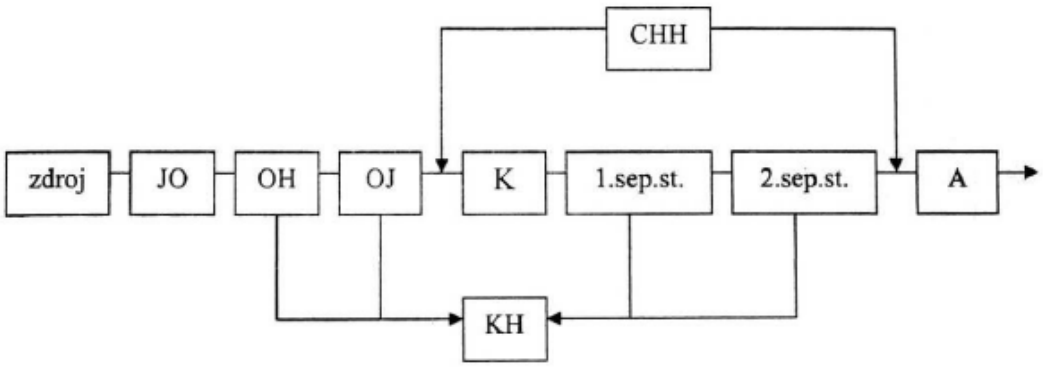
Úpravna vody s dvoustupňovou separací

V případě vyšších koncentrací suspendovaných, koloidních a rozpuštěných látek ve vodě a při potřebě vyšší dávky koagulantu je nutno tyto látky z upravované vody odstraňovat na dvou separačních stupních.

Prvním stupněm separace mohou být [2]:

1. mikrofiltry,
2. filtry,
3. sedimentační nádrže různého typu a různého konstrukčního řešení,
4. čiřiče s vločkovým mrakem,
5. flotace vody.

Druhým separačním stupněm bývá u pitné vody vždy filtrace. Předúprava a doúprava bývá většinou stejná jako u jednostupňové úpravy vody. U tohoto typu úpravny kal vzniká na hrubých a jemných odlučovačích, na 1. separačním stupni (např. usazovací nádrž) a na 2. separačním stupni (voda z praní filtrů).



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace, A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství

Obr. 2.3. Blokové schéma úpravny vody s dvoustupňovou separací [2]

Úprava vody s vícestupňovou separací

Úprava s více separačními stupni se využívá v případě velmi znečištěných vod nebo při mimořádných požadavcích na jakost upravené vody.

Terciální úpravna může mít např. tyto stupně [2]:

1. sedimentace – 1. separační stupeň,
2. odželezovací filtry – 2. separační stupeň,
3. odmanganovací filtry – 3. separační stupeň

u vody podzemní.

nebo

1. sedimentace nebo čiřič nebo flotace – 1. separační stupeň,
2. písková filtrace – 2. separační stupeň,
3. filtrace s aktivním uhlím – 3. separační stupeň v rámci doúpravy vody

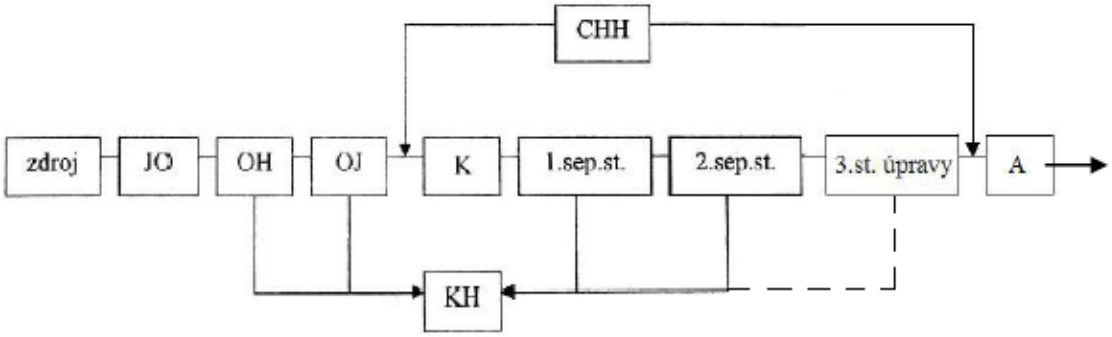
nebo

1. sedimentace (čiření, flotace) – 1. separační stupeň,
2. písková filtrace – 2. separační stupeň,
3. pomalá biologická filtrace – 3. separační stupeň v rámci doúpravy

u vody povrchové.

Třetí separační stupeň může být nahrazen doúpravou vody bez separace. Např. zušlechtěním vody ozonizací, následným provzdušněním vody apod. [2]

U vícestupňové úpravny vznikají kaly na hrubých a jemných odlučovačích, na všech separačních stupních, a pokud je součástí úpravny např. filtrace přes aktivní uhlí nebo odmanganovací filtr, vzniká kal i tam.



JO – jímací objekt, OH – odlučovače hrubé, OJ – odlučovače jemné, K – koagulace, flokulace, A – akumulace, CH H – chemické hospodářství, KH – kalové hospodářství, 3.stupeň úpravy – (3.stupeň separace, doúprava vody, zušlechťování vody)

Obr. 2.4 Blokové schéma úpravny vody s vícestupňovou úpravou [2]

3 VODÁRENSKÉ KALY

3.1 VZNIK VODÁRENSKÝCH KALŮ

Kal vznikající při úpravě vody můžeme podle vzniku rozdělit takto [1]:

1. Hrubé nečistoty zachycené na česlích. Mají různý charakter a obsahují malé procento vody. Jejich množství je velmi malé.
2. Vločkovité suspenze hydroxidů hliníku a železa ze zahušťovacích prostorů usazovacích nádrží a čiřičů, včetně zachycených nečistot. Obsahují velké množství vody.
3. Kal z praní filtrů (odpadní prací voda). Je též vločkovitý s drobnými vločkami. Má malou usazovací rychlost.
4. Kaly z odželezování a odmanganování podzemní vody. Vzhledem k častému dávkování vápna a snadné zahustitelnosti vlivem rychlé dehydratace oxidu železitého se snadno zpracovávají. Tyto kaly představují malé množství odpadu, s likvidací nebývají problémy.
5. Kaly z dekarbonizace. Tvoří kompaktnější sedimenty než vločkovité kaly. Netvoří významnější problém, někdy se používají jako hnojivo v zemědělství.
6. Kaly z čiření pomocí polymerních flokulantů. Obsahují převážně suspendované a koloidní látky obsažené v upravované vodě. Obsah polymerních flokulantů s ohledem na používané nízké dávky je malý.
7. Kaly z ostatních úpravárenských procesů. Např. kaly z pomalých pískových filtrů. Kaly z náplavné filtrace, kaly z praní aktivního uhlí.

Mezi kapalné odpady patří i solanky vznikající při regeneraci měničů iontů a solanky vznikající při membránových procesech. Plynné odpady vznikají při aeraci vody a mohou být tvořeny oxidem uhličitým CO_2, sirovodíkem H_2S, těkavými uhlovodíky, popř. radonem Rn. [1]

3.2 VLASTNOSTI VODÁRENSKÝCH KALŮ

3.2.1 Složení vodárenských kalů

Složení a vlastnosti vodárenských kalů závisí na jakosti surové vody, druhu a dávkách chemikálií použitých v procesu úpravy a na technologických postupech. [1]

Největší část kalů, které odpadají z úpraven vod, jsou kaly koagulační (z úpravy povrchových vod), které obsahují hydratované oxidy hliníku nebo železa a různá množství organických látek z upravované vody. Příklad složení koagulačních kalů je uveden v tabulce 3.1.

Tab. 3.1 Složení vodárenských kalů ze zahušťovací nádrže v g.l^{-1} [1]

Stanovení	Zimní období	Letní období
sušina	37,50	21,23
hliník	6,20	3,32
železo	1,00	0,71
$CHSK_{Mn}$	4,70	3,44

Dalším typem vodárenských kalů jsou kaly z odželezování a odmanganování (tj. kaly z podzemních vod). Tyto kaly obsahují trojmocné železo ve formě částečně vykrystalizovaného hydratovaného oxidu železitého ($5Fe_2O_3.9H_20$). Železité kaly jsou si podobné, navzdory rozdílu mezi úpravnami vody. Množství těchto kalů je závislé především na koncentraci železa a manganu ve vodě. S likvidací nebývají velké problémy. V tabulce 3.2 uvádím složení kalů z odželezování a odmanganování. [1]

Tab. 3.2 Složení kalů z odželezování a odmanganování [1]

Složka kalu	Jednotky	Vápenato - železité kaly			Vápenato - manganičité kaly	
		min.	max.	prům.	rok 1980	rok 1981
ztráta žíháním	%	17,8	26,3	21	1,7	2,8
Al_2O_3	%	0,34	0,4	0,38	0,7	0,7
Fe_2O_3	%	9,5	16,1	13,4	0,5	0,8
MnO	%	0,3	0,7	0,52	2,3	4,1
$CaCO_3$	%	46	62,6	57,5	72,2	85,3
ostatní anorg. látky	%	1,8	10,3	7,2	22,6	8,1

Výpočet složení a množství kalů dle Žáčka

Složení a množství kalů je možno rovněž stanovit výpočtem dle Žáčka. Pro výpočet složení kalů z čiření povrchových vod se používají tyto vztahy:

$$pk = \frac{100kD}{q_{su} + kD + (q_s - q_u)}, \tag{3.1}$$

$$po = \frac{100(q_s - q_u)}{q_{su} + kD + (q_s - q_u)}, \tag{3.2}$$

kde p_k, p_o … obsah oxidu Fe, Al nebo organických látek v kalu [hmotn. %],

D … dávka koagulantu [mg.l^{-1}],

k … přepočítací koeficient koagulantu na oxid [-],

q_{su} … obsah suspenzí v upravované vodě [mg.l^{-1}],

q_s, q_u … hmotnostní koncentrace organických látek v surové a upravené vodě [mg.l^{-1}], jsou – li koncentrace organických látek vyjádřeny jako $CHSK_{Mn}$, je třeba rovněž počítat s hodnotou specifické $CHSK_{Mn}$ zachycených látek. [5]

Pro určení složení kalů z odželezování, odmanganování a dekarbonizace vod budou platit tyto výpočetní vztahy:

$$pFe = \frac{100q_{Fe}}{q_{su} + 1{,}43q_{Fe} + 1{,}58q_{Mn} + m_{CaCO3}}, \quad (3.3)$$

$$pMn = \frac{100q_{Mn}}{q_{su} + 1{,}43q_{Fe} + 1{,}58q_{Mn} + m_{CaCO3}}, \quad (3.4)$$

kde pFe, pMn … obsah Fe a Mn v kalu [hmotn. %],

q_{Fe}, q_{Mn} … hmotnostní koncentrace Fe a Mn ve vodě [mg.l^{-1}],

q_{su} … obsah suspendovaných látek ve vodě [mg.l^{-1}],

m_{CaCo3} … hmotnost vyloučeného uhličitanu vápenatého z 1 l vody. [5]

3.2.2 Fyzikální a mechanické vlastnosti vodárenských kalů

Z hlediska proudění se zahuštěný vodárenský kal (obsah sušiny cca 10 až 15 %) chová jako nenewtonovská kapalina, což znamená, že se neřídí Newtonovým zákonem definujícím vztah mezi smykovým napětím τ a gradientem rychlosti γ = du/dy:

$$\tau = \mu\frac{du}{dy}, \quad (3.5)$$

kde μ … koeficient dynamické viskozity, konstantní pro libovolné du/dy [-]. [1]

Chování vodárenských kalů může přibližně vystihnout „mocninový zákon“ Oswalda-de Waeleho:

$$\tau = k\left(\frac{du}{dy}\right)^n, \quad (3.6)$$

kde k … index konzistence [-],

n … stupeň nenewtonského chování [-]. [1]

Kal z chemického čiření lze dopravovat potrubím do koncentrace 40 kg.m^{-3} sušiny, kal z dekarbonizace do 80 kg.m^{-3}. [4] Střední rychlost proudění kalu v potrubí se volí s ohledem na možné zanášení nejméně 1,5 m.s^{-1}. [1]

3.2.3 Mikrobiologické vlastnosti vodárenských kalů

Mikrobiologické vlastnosti kalu jsou nepodstatné, pokud jsou kaly využívány např. ve stavebnictví (výroba cihel, přídavek do cementu atd.). Mikrobiologické vlastnosti kalů však nemůžeme zanedbat, pokud jsou kaly po zpracování využívány například v zemědělství nebo lesnictví. Výzkumy Würzera ukazují, že kaly z úpravny pitné vody mohou obsahovat významná množství lidských patogenů, která mohou vést k zamoření spodní vody nebo i úrody, jsou-li používány v zemědělství. [1]

Mikrobiologické vlastnosti kalů úzce souvisí s kvalitou surové vody. V případě, že upravované surové vody obsahují fekální znečištění, může manipulace s nimi představovat možné nebezpečí kontaminace pitné vody a stejně tak potenciální infekční nebezpečí pro personál. Zdravotní riziko je však mnohonásobně menší než riziko při manipulaci s odpadními vodami či zvířecími fekáliemi. [1]

K hygienizaci kalů se využívá hydrát vápenatý, kterým se zvyšuje pH nad hodnotu 12. Při tak vysokých hodnotách pH se snižuje výskyt enterobakterií a pseudonomád pod detekovatelnou úroveň. Nicméně toto zpracování není smrtelné pro vajíčka červů a pravděpodobně ani nijak významně neovlivňuje životnost oocyst Giardia a Cryptosporidium. [1]

3.3 ZPRACOVÁNÍ VODÁRENSKÝCH KALŮ

Vodárenské kaly se zpracovávají přímo na úpravně nebo se vypouští do kanalizace a následně probíhá zpracování a likvidace společně s odpadní vodou až na čistírně odpadních vod. Protože vodárenské kaly obsahují až 99 % vody, je třeba před dalším nakládáním s nimi snížit obsah vody, a to buď zahušťováním, nebo odvodňováním. Cílem zahušťování je získat kal o koncentraci asi 1,5 – 4 %. Zahuštění větší než 4 % sušiny se již nedoporučuje s ohledem na dopravu čerpáním. Mechanickým odvodňováním lze pak získat kal v rypném stavu. [1]

3.3.1 Zahušťování vodárenských kalů

Zahušťování je možno provádět sedimentací nebo pomocí flotace. Ve vodárenství se k zahušťování kalů používá nejčastěji sedimentace v zahušťovacích nádržích. Flotace je využívána spíše na čistírnách odpadních vod nebo jako první separační stupeň na úpravnách vody.

Zahušťovací nádrž

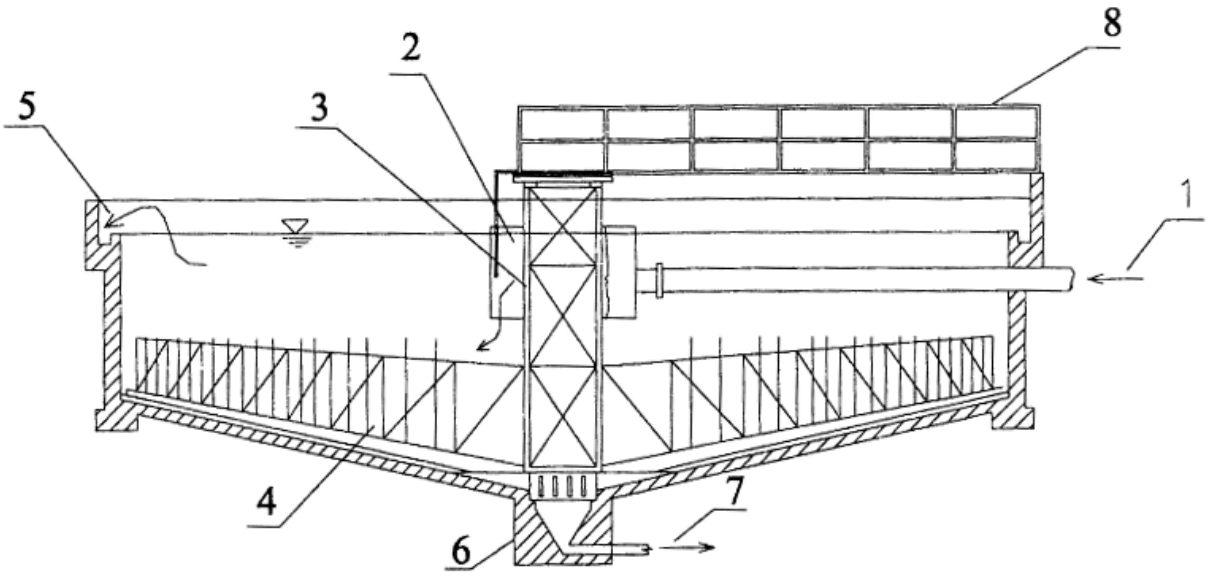
Zahušťovací nádrže se využívají k zahušťování kalů získaných z usazovacích nádrží. Usazování a zahušťování se dá provádět i v jedné nádrži, avšak většina usazovacích nádrží je nevyhovující kvůli malé výšce kalového prostoru. Zahušťovací nádrž se většinou zařazuje před odvodňovací zařízení (odstředivky, kalolisy atd.), protože zahuštěním se sníží objem kalu. Tím se zmenší potřebná plocha kalových polí a potřebná kapacita odvodňovacích zařízení.

Zahušťovací nádrže jsou velmi podobné kruhovým usazovacím nádržím. Staví se obvykle hlubší. Obvykle jsou železobetonové nebo ocelové s tepelnou izolací pláště. Průměr nádrží se navrhuje 3 – 25 m (lze až 42 m) a hloubka 2,4 - 14,0 m (podle výrobce). Nádrže pracují v odstavném (přerušovaném) nebo průtočném (kontinuálním) režimu. [2]

Většina úpraven využívá dvě zahušťovací nádrže v odstavném režimu (jedna se plní, v druhé probíhá zahušťování). Pokud je navržen průtočný režim, stačí i jedna nádrž. Před průtočnou nádrž se instaluje vyrovnávací komora, kde se homogenizuje kal z různých procesů. Zahuštěný kal se odebírá ze dna k dalšímu zpracování. Voda je odebírána od hladiny a vrácena před první separační stupeň nebo vypouštěna do kanalizace. Zahušťování je podporováno pomalým mícháním (např. spirálou u dna nebo tyčemi). V zahušťovací nádrži lze dosáhnout až ztrojnásobení sušiny kalu (obsah vody cca 96 %) při době zdržení 1 až 5 dní. [2]

Zahušťovací nádrž bývá obvykle rozdělena na tři zóny, a to směrem od hladiny dolů na zónu prosté sedimentace, přechodnou oblast a zónu zahušťování.

Na následujících obrázcích jsou vidět kruhové zahušťovací nádrže:



1 - vtok, 2 - vtokový prstenec, 3 - otáčivá věž, 4 - shrabovák s tyčemi, 5 - sběrný žlab odsazené vody, 6 - odkalovací jímka, 7 - odtok kalu, 8 - lávka

Obr. 3.1 Schéma zahušťovací nádrže [8]

Obr. 3.2 Zahušťovací nádrž [2]

Flotace

Flotace je technologický proces vhodný pro separaci suspendovaných látek, mikroorganismů a částic, které vznikly koagulací, případně koagulací s následnou flokulací z kapaliny. [2]

Flotace pro svoji separační činnost využívá pod tlakem rozpuštěný vzduch, jehož pomocí jsou z kapaliny vytěsňovány nežádoucí látky. V literatuře je flotace označována DAF (dissolved air flotation). [2]

Princip flotace spočívá v působení pod tlakem rozpuštěného vzduchu na částice, které jsou ve vodě přírodně obsažené, či vzniklé koagulací. Tyto částice, které samy o sobě mají větší specifickou hmotnost (1,005 - 1,05 $g.cm^{-3}$) než voda, v důsledku spojení s mikrobublinkami vzduchu o velikosti 30 - 100 μm, získají specifickou hmotnost nižší než voda. Takto vzniklé agregáty mají opačnou tendenci pohybu, než agregáty těžší než voda s tendencí sedimentační. Opačná tendence spočívá v pohybu částic směrem k hladině. [2]

Flotace se využívala už v šedesátých letech 19. století při úpravě a zpracování kovových rud. Pro úpravu pitné vody se v zahraničí (Kanada, USA, Velká Británie, Austrálie, země Evropské unie) využívá od šedesátých let 20. století. V České republice nebyla v průběhu 20. století flotace použita ani na jedné úpravně vody. Až v letech 2004 - 2005 byla poprvé instalována na úpravně vody Mostiště. [2]

Flotace bývá až o řád účinnější než sedimentace. Při úpravě pitné vody je flotace zařazována jako první separační stupeň v rámci dvoustupňové úpravy, jako perspektivní řešení se jeví i pro zahušťování kalů na úpravnách vody. Výhodou proti zahušťovacím nádržím je menší potřebná plocha a objem zahušťovacího zařízení a rychlejší zahuštění suspendovaných látek.

V zahraničí je flotace v kontejnerovém provedení instalována například v kalovém hospodářství úpravny vody Betasso (The City of Boulder, Colorado), kde se využívá pro zahušťování vody z praní filtrů (1,75 $m^3.s^{-1}$). Od roku 1996 je flotace pro zahušťování vody z praní filtrů využívána i na úpravně Beaver Run (Westmoreland County, Pennsylvania), kde voda z praní filtrů činí cca 0,06 $m^3.s^{-1}$. [18]

V České republice byly provedeny laboratorní zkoušky flotace kalů (pracích vod) na úpravnách pitné vody v Podhradí u Vítkova a Nová Ves u Frýdlantu. Ve flotoflokulačním režimu, nejlépe elektrolytickou flotací, se podařilo prací vodu vyčistit s dostatečnou účinností. Ve flotační pěně byl získán kal o obsahu sušiny 1 - 2,5 %, který bylo možné dále mechanicky odvodňovat. [1]

V současnosti je v České republice flotace využívána v kalovém hospodářství pouze na úpravně vody Souš, které se budu věnovat ve 4. kapitole.

3.3.2 Odvodňování vodárenských kalů

Odvodňováním vzniká kal rypatelné konzistence, se kterým je možno manipulovat jako se zeminou. Kaly se odvodňují dvěma způsoby, a to buď přirozeně (gravitačně) na kalových polích a kalových lagunách nebo uměle (strojně) na kalolisech, pásových lisech, odstředivkách a dalších zařízeních. Gravitační způsoby mají nízkou efektivitu, která je závislá na klimatických podmínkách a jejich využívání je na ústupu. Gravitační způsoby se stále využívají v úpravnách vody s malou produkcí kalů. Strojní odvodňovací zařízení je v našich podmínkách pro zpracování vodárenských kalů zatím ojedinělé, začínají se používat převážně odstředivky nebo kalolisy.

V některých případech strojního odvodnění kalů je vhodné upravovat fyzikální vlastnosti kalu buď fyzikálně (ohřev, vymrazování, ultrazvuk, přidání zrnitých materiálů – popílek, piliny atd.) nebo chemicky (přídavkem flokulantů). Jako pomocný flokulant se využívá například kyselina křemičitá. Ke zvýšení sedimentačních rychlostí se používají také zatěžkávadla. Nejčastěji křemelina, bentonit a podobné materiály. Před kalolisováním se provádí úprava kalu vápnem za účelem snížení specifického odporu koláče při filtraci přes pevnou přepážku. Všechny toto typy předúpravy kalu zvyšují účinnost odvodňovacího procesu a tím je snížena spotřeba energie. [1]

Kalová pole

Odvodňování na kalových polích je velmi závislé na povětrnostní situaci a jsou s ním špatné provozní zkušenosti. Využívá se zejména v úpravnách vody s malou produkcí kalů. [1]

Dle definice typizační směrnice Hydroprojektu Praha jsou kalová pole upravená a odvodňovaná plocha s filtrační drenážní vrstvou, na kterou se vypouští částečně zahuštěný kal, aby vyschnul. [1]

Kalová pole jsou většinou nezastřešené obdélníkové nádrže ohraničené betonovou stěnou. [2] Na dně bývá sypaná vrstva štěrku a na ní vrstva písku. Ve štěrkové vrstvě se nachází drenážní trubky, které vyúsťují do hlavního sběrače. U větších polí se část dna zpevňuje pro pojezd mechanismu.

Rozměry kalového pole mohou být až 20 x 8 m, kal se napouští do výšky 30 až 50 cm. [2] Odsazená voda se odvádí přepady. Kvalita odsazené vody by měla být taková, aby bylo možné vodu vypouštět přímo do recipientu bez jakýchkoliv úprav.

Při odvodňování na kalových polích se uplatňuje sedimentace, filtrace přes pórovité prostředí, sluneční energie a povětrnostní vlivy.

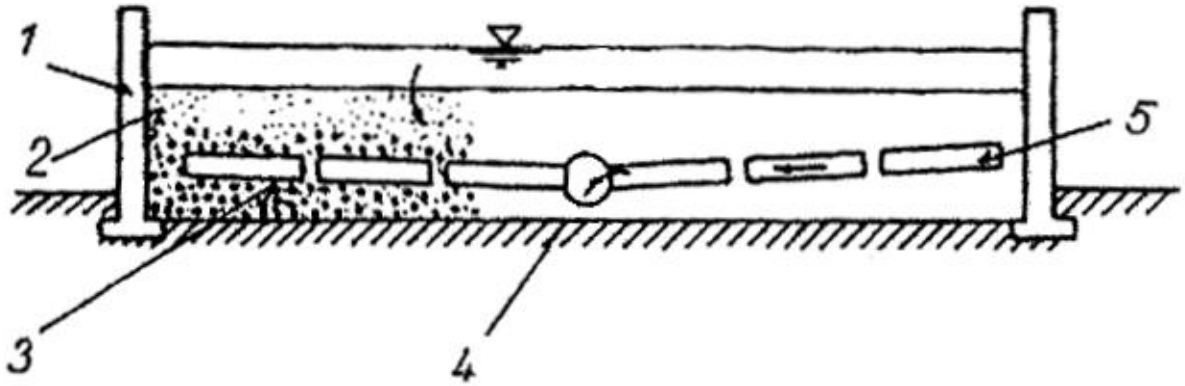
V následující tabulce jsou uvedeny potřebné plochy kalového pole na 1 tunu kalové sušiny při různých procentech vodnatosti kalů po zahuštění:

Tab. 3.3 Potřebná plocha kalových polí [1]

Vodnatost napouštěných kalů po zahuštění [%]	Nutná plocha kalového pole na 1 t sušiny [m^2]
99,0	108,5
98,5	71,0
98,0	52,1
97,5	40,8
97,0	31,0
96,5	28,8
96,0	23,8
95,0	18,2
94,0	14,3
92,0	9,6

Cyklus vysoušení vyžaduje nejméně tři samostatné jednotky s periodickou výměnou funkcí: napouštění, vysýchání, vybírání s přípravou na další napouštění. Každá jednotka má posuvné hradící zařízení ke stahování odsazené vody. S ohledem na zimní provoz (tlak ledu na

obvodové stěny) je vhodné kalové pole konstruovat se zpevněnými zemními hrázkami nebo s betonovou dělící stěnou. Malá tloušťka vyklizené vrstvy kalu (10 až 30 cm) připouští použít jednoduché mechanismy k vybírání (transportéry, pojízdné vyklápěcí lžíce na pásovém podvozku, vlečné lopaty. [1] Po 1 až 2 měsících zdržení získáme cca 10 cm tlustou vrstvu kalu s 10-20 % sušiny. [2]



1 - stěna, 2 - pískové lože, 3 - štěrk, 4 - nepropustná zemina, 5 - drenáž

Obr. 3.3 Schéma kalového pole [8]

Obr. 3.4 Kalové pole [zdroj: Ilona Ševčíková]

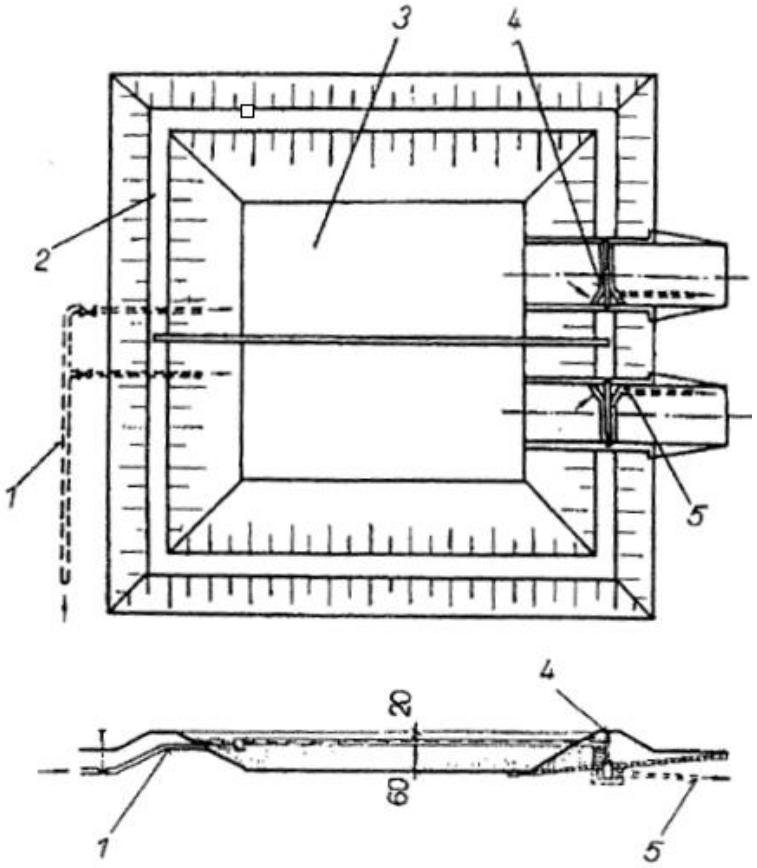
Kalové laguny

Dalším zařízením využívaným při gravitačním odvodňování kalů jsou kalové laguny. Definice kalových lagun dle typizační směrnice uvádí, že kalová laguna je ohrázkovaná nádrž s funkcí odsazení, zahuštění, promrznutí a vysoušení kalů. Hrázky a dno jsou dle potřeby zpevněny. [1]

Kalové laguny mají na rozdíl od kalového pole přirozené dno bez drenážní vrstvy. Obvodové hrázky bývají zemní, zpevněné drnováním, dlažbou nebo panely. Laguny bývají opatřeny vjezdem pro mechanizaci. Navrhují se nejméně dvě jednotky. Odsazená voda se vypouští z každé laguny samostatně. Kalové laguny plní zahušťovací i odvodňovací funkci, do lagun lze vypouštět kaly zahuštěné již na 1 – 2 % v zahušťovacích nádržích. Kal se do lagun napouští do výšky 0,6 - 1,0 m, vysychá cca 5 - 6 měsíců. Na 1 tunu sušiny připadá přibližně 16,7 m^3 kalu s 6 % koncentrací. Vzhledem k nutnosti promrznutí se kalové laguny navrhují na dvouletý pracovní cyklus. [2]

Vzhledem k velkým plošným nárokům na zábor zemědělské půdy se vyplatí kalové laguny navrhovat pro menší úpravny do cca 300 $l.s^{-1}$. U větších úpraven se doporučuje zahuštěné kaly odvodňovat strojně například na pásových lisech nebo kalolisech. [1]

Na následujících obrázcích jsou umístěny kalové laguny:



1 - vtok, 2 - hráz, 3 - dno, 4 - stavidlo, 5 - výtok

Obr. 3.5 Schéma kalové laguny [8]

Obr. 3.6 Napuštěná kalová laguna [1]

Obr. 3.7 Kalová laguna po vysušení a vymrznutí [1]

Odvodňovací vaky

Odvodňovací vaky jsou jednoduchá odvodňovací zařízení vyrobená z hydrofobního materiálu (nejčastěji polypropylen). Jsou vhodné pro menší úpravny, kde je produkce kalu v sušině menší než 200 $kg.den^{-1}$. Kal se před odvodňováním předupravuje pomocí polymerních flokulantů a následně se ručně nebo automaticky napouští do vaků. Ve tkanině vaku jsou póry, kterými voda působením gravitace vytéká ven a vak se doplňuje dalším kalem. Během jednoho až dvou dní je dosaženo obsahu sušiny 15 až 20 %. [1]

Vak s odvodněným kalem se zašije speciálním strojkem a může probíhat další fáze – vysušování kalu. Tato fáze trvá 1 až 2 měsíce v závislosti na klimatických podmínkách a kal se vysuší až na obsah sušiny 50 %. Vaky je možné skladovat i venku, protože vodu propouští pouze směrem ven. Dešťové vody do vaku nepronikají. [1]

Tento způsob odvodňování kalů se s ohledem na nízké investiční náklady jeví jako perspektivní pro menší úpravny. Tato technologie se v současnosti využívá pro odvodňování různých kalů, rybničních sedimentů a odpadních vod. Výhodou je mobilita a velmi rychlá příprava pracoviště.

Obr. 3.8 Odvodňovací vak [6]

Kalolisy

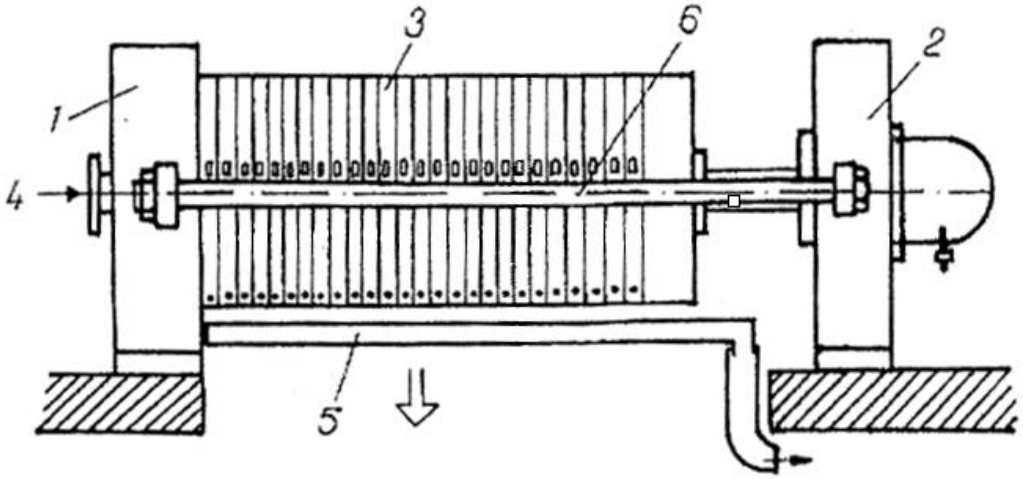
Kalolis je strojní zařízení k odvodňování kalů, pracující ve třech cyklech: plnění kalolisu nízkotlakým čerpadlem, plnění středotlakým čerpadlem (do 0,6 MPa), komprese koláče vysokotlakým čerpadlem. Kalolis je naplněn pomocí dopravníku nebo ručně kalem, ten je pak hydraulicky stlačován mezi deskami (několik za sebou). Největší zařízení mají 50 rámů 2,5 x 2,5 m. Pevný podíl je zachycen na plachetkách (z klasických materiálů – bavlna, len nebo z materiálů syntetických – polyetylen, polypropylen atd.) v podobě filtračního koláče a voda odtéká drenážemi. Filtrační koláč je po otevření kalolisu dopravován pásovým nebo šnekovým dopravníkem do kontejneru. Celková délka filtračního cyklu je 1,5 až 6 hodin. [2]

Kalolisy dosahují při odvodňování kalů největší účinnosti, problémem jsou však vysoké investiční náklady a problémy se sháněním náhradních dílů. Dělí se na komorové a membránové.

Kalolisy komorového typu byly tradičně využívány v průmyslu (např. textilním) pro odvodňování různých suspenzí. Tyto původní typy kalolisů se musely obsluhovat ručně a byly náročné na provoz. Dnes jsou vyráběny plně automatizované kalolisy, jejichž provoz a obsluha jsou nenáročné.

Před odvodňováním se provádí předúprava kalu přídavkem pomocných organických flokulantů případně vápna. Organické flokulanty zlepšují výrazně filtrační schopnost kalu i rychlost zahušťování. Množství flokulantu či vápna se stanovuje experimentálně a je pro každý druh kalu i způsob strojního odvodňování různé. V literatuře se uvádí, že odvodněný kal předupravený vápnem lze lépe odstranit z plachetek, avšak použití vápna má vliv na jakost filtrátu, který má vysoké hodnoty pH. [1]

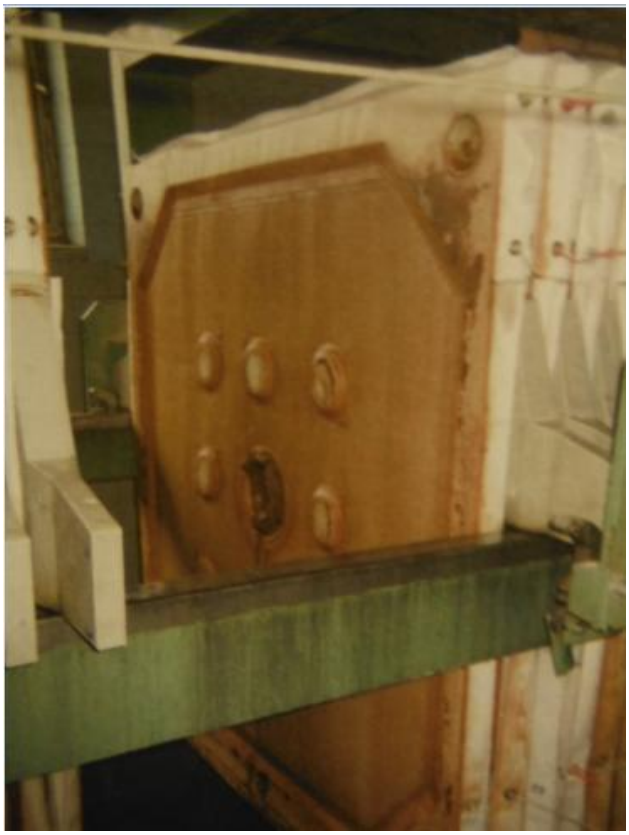
Pro zpracování kalů z flotačních procesů (DAF) byly prováděny testy odvodnění s použitím jak odstředivek, tak kalolisů. Z výsledků vyplynulo, že odstředivky nebyly schopné dosáhnout sušiny kalu alespoň 25 %. Jako vhodné zařízení se ukázal kalolis, který dosahoval sušiny kalu více než 30 %. [1]



1 - opěrný stojan, 2 - přítlačný stojan, 3 - soustava desek, 4 - přívod kalu, 5 - odvod filtrátu, 6 - spojovací tyč

Obr. 3.9 Schéma kalolisu [8]

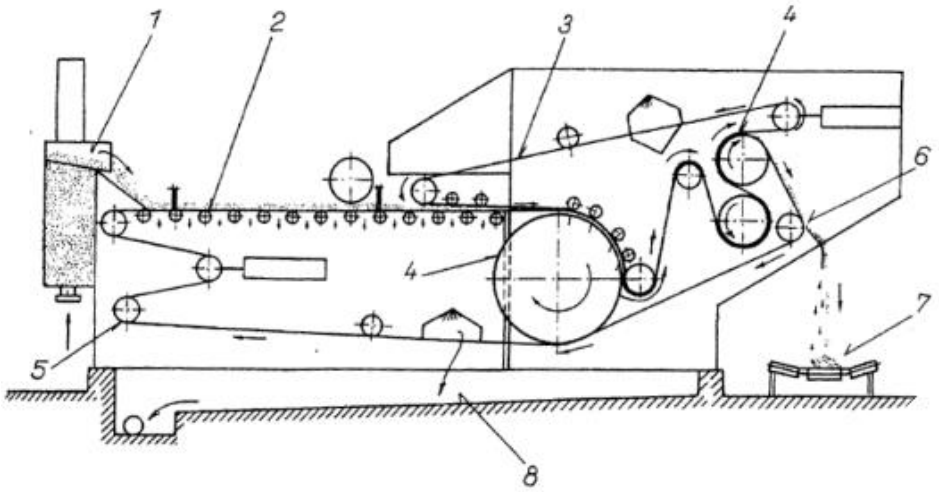
Obr. 3.10 Pohled na kalolis [1]



Obr. 3.11 Otevřený kalolis po vyprázdnění [1]

Pásové lisy

Pásový lis je kontinuální, odvodňovací zařízení, které tvoří dvojice nekonečných pásů a soustava vodících válců. [2] Princip je založen na tom, že se kal posouvá v zužujícím se prostoru mezi dvěma pásy (plachetkami). Soustavou válců je kal odvodňován a na konci tratě odpadává odvodněný kal. Vytlačená voda odtéká a je nutné ji dále dočišťovat. Pásové lisy mohou být ve dvoupásovém nebo třípásovém provedení. Výhodou tohoto zařízení je malá spotřeba energie, zato však tyto lisy spotřebují velké množství vody na oplach pásů. [1] Na pásových lisech je možné získat kal s podílem sušiny 20 až 35 %, přičemž podíl sušiny je možné ještě mírně zvýšit přidáním koagulantu. [2]



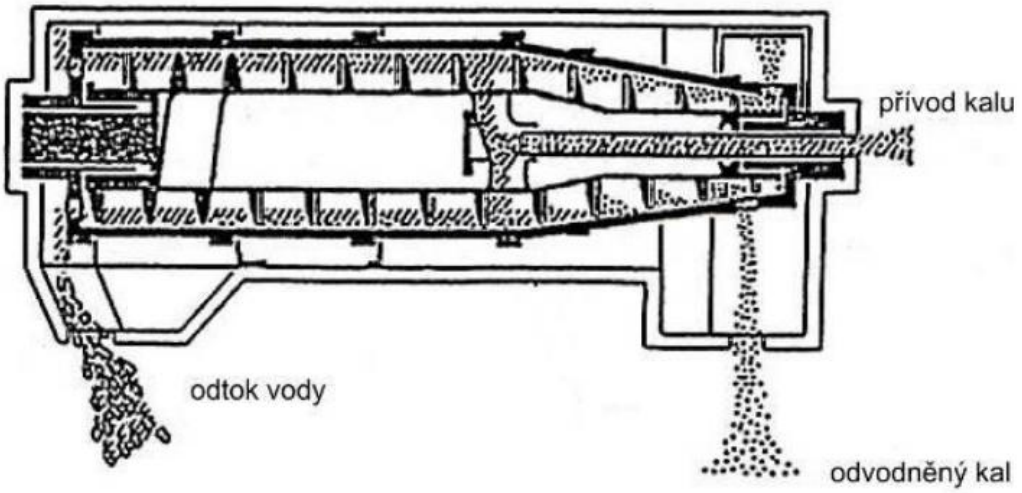
1 - přívod upraveného kalu na síto, 2 - podložné síto, 3 - přítlačné síto, 4 - přítlačné válce, 5 - vodící válce, 6 - filtrační koláč, 7 - dopravník odvodněného kalu, 8 - svod kalové vody

Obr. 3.12 Schéma pásového lisu [8]

Odstředivky

Odstředivka je kontinuální zařízení, kterým se odvodňují kaly. Hlavní částí odstředivky je kónický válcový buben a šnekový dopravník. Buben i šnek mají stejný smysl otáčení, ale rozdílnou rychlost otáčení. Kal je vpouštěn do odstředivky přívodním potrubím do tělesa šneku, odkud je odstředivou silou usměrněn k plášti bubnu. Těžší částice se usazují na povrchu bubnu a šnekem jsou kontinuálně posunovány do kuželové části, kde je výstup pro odvodněný kal. Odstředěná kapalina je vytlačována z bubnu vstupujícím kalem. [2]

Odstředivky jsou výhodné na úpravnách, kde je nedostatek prostoru a vyžaduje se kontinuální provoz. Dosahuje se 20 až 30 % sušiny v kalu při přidání velkého množství koagulantu. Výsledky provozních zkoušek se různí a obsah sušiny po odvodnění závisí na původu a složení kalu. [1] Nevýhodou je také vysoká spotřeba energie a velká hlučnost. Odstředivky se donedávna používaly zejména na čistírnách odpadních vod, dnes ji využívá například úpravna v Podhradí, které se budu více věnovat ve čtvrté kapitole.



Obr. 3.13 Schéma odstředivky [8]

3.4 VYUŽITÍ A LIKVIDACE VODÁRENSKÝCH KALŮ

3.4.1 Likvidace vodárenských kalů

Mezi způsoby likvidace vodárenských kalů zařazujeme postup, kdy se kal vypouští přímo do toků, ukládá se bez úpravy do volných prostorů či na skládky, případně se odvádí do čistíren odpadních vod. [1]

Přímé vypouštění kalů, případně kalových vod, do recipientů v současné době nepřichází v úvahu. Při vypouštění odpadních vod je nutné respektovat nařízení vlády ČR 61/2003 Sb., jímž se stanoví ukazatele přípustného znečištění vod. Přesto se ještě setkáváme s případy vypouštění kalu do toku, což je protiprávním jednáním. U některých úpraven vody až do dobudování příslušného technologického zařízení ke zneškodňování těchto odpadních vod však nebylo jiného řešení (řešeno výjimkou). [1]

Možným řešením je ukládání kalu do volných prostorů, jako jsou opuštěné lomy, doly, pískovny, štěrkovny nebo uměle vybudované nádrže. Toto řešení musí respektovat pochopitelné zájmy ochrany přírody a současné legislativy. Málokdy jsou vhodné prostory k dispozici poblíž úpraven vody. Metodu ukládání kalů do volných prostorů lze označit jako metodu nouzovou, která problém neřeší trvale, ale pouze jej oddaluje do doby vyčerpání skladovacích objemů. [1]

Možností likvidace vodárenských kalů je jejich odvedení do čistíren odpadních vod. Zásadní podmínkou je, aby úpravna vody byla v dosahu stokové sítě. Kapacita čistírny musí být taková, aby umožnila bezproblémové čištění s příslušným naředěním s ohledem na biologický charakter čištění městských odpadních vod. Spolupráce úpravny s čistírnou může být výhodná v případech, když se odpadní vody z praní filtrů vypouští v noci, kdy je zatížení čistírny nižší. [1]

3.4.2 Možnosti využití vodárenských kalů

V současnosti je snaha spíše hledat způsoby využití vodárenských kalů než je likvidovat. Kaly je možné využívat v následujících odvětvích [1]:

1. zemědělství a lesnictví (hnojení, vápnění orných půd),
2. průmyslový sektor (např. průmysl stavebních hmot),
3. technika životního prostředí (čištění spalin),
4. čištění městských odpadních vod.

Vypouštění kalu na čistírnu odpadních vod využívá například úpravna vody Ostrava - Nová Ves nebo úpravna vody v Kroměříži. Vodárenský kal z úpravny Ostrava - Nová Ves na čistírně pomáhá lépe srážet a následně odstraňovat fosfor. Pouze část vody z praní filtrů se do kanalizace vypouští přes lapák písku, a to co se v lapáku usadí je po následném zahuštění na kalovém poli odváženo smluvním odběratelem, který zahuštěný kal přidává do kompostu. Z úpraven vody Podhradí, Nová Ves u Frýdlantu a Vyšní Lhoty se zpracovaný kal odváží na skládku.

Podrobné údaje o likvidaci a případném využití kalů v České republice nejsou k dispozici. V následující tabulce jsou uvedeny údaje o zužitkování a způsobech likvidace vodárenských kalů v Německu.

Tab. 3.4 Způsoby likvidace vodárenských kalů v Německu [1]

Zužitkování/jiný způsob likvidace	Množství/výskyt v $t.rok^{-1}$	Množství/výskyt v %
Deponování na skládkách	cca 62500	50
V odpadních vodách	cca 8700	7
Výroba cihel/cementu	cca 5000	4
Různé způsoby zhodnocení	cca 20000	16
Neznámé způsoby	cca 28000	23
Celkem	cca 125000	100

Tab. 3.5 Možné směry výzkumu ve využití kalů (A = v aplikaci, V = ve výzkumu) [1]

Aplikační oblast:	Typ/druh odpadu:		
	Fe	Al	Vápno
Veřejné zásobování vodou			
flokulační prostředky - zpětné získávání/regenerace	V	V	
Likvidace odpadních vod splaškových			
vázání sulfanu (H_2S)	A		
eliminace fosfátů	A	A	
odvodnění vyhnilých kalů	A	V	A
regenerace flokulačních činidel	A	V	
kompostování čistým kalem	A		A
Zemědělství a lesnictví			
zlepšení bonity půdy, pomocné půdní látky	A		A
zbytkové vápno, vápenná hnojiva			A
Hospodářské obory			
výroba cementu	A	A	A
výroba cihel	A	V	
technická keramika	V	V	
krmivo pro dobytek	A		A
výroba papíru			A
materiály pro vozovky			V
regenerace flokulačních prostředků	V	V	
Technika životního prostředí			
výroba kompostu z organického domovního odpadu	V	V	V
rekultivace úhorů	A	A	A
haldy			
úpravy terénu/krajiny	A		A
fixace těžkých kovů a fosfátů	V		V
čištění plynů: sulfan(H_2S)	A		
čištění plynů: oxid siřičitý (SO_2)			A

4 PŘÍKLADY KALOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ NA KONKRÉTNÍCH ÚPRAVNÁCH VODY

V této kapitole je zmapováno kalové hospodářství těchto úpraven vody: Ostrava - Nová Ves, Vítkov - Podhradí, Nová Ves u Frýdlantu nad Ostravicí, Vyšní Lhoty, úpravna v Kroměříži a úpravna vody Souš.

4.1 ÚPRAVNY VODY PROVOZOVANÉ SPOLEČNOSTÍ OVAK A.S.

Společnost Ostravské vodárny a kanalizace, a.s. zásobuje pitnou vodou cca 300 000 obyvatel žijících na území města Ostravy. Z celkové spotřeby dodávané pitné vody do Ostravy je zhruba 60 - 65 % nakupováno od společnosti Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava a.s. (vody povrchové z přehradních nádrží Kružberk a Šance). Vlastní výroba z podzemních zdrojů nacházejících se v oblasti města Ostravy pokrývá 35 - 40 %. Roční produkce pitné vody z podzemních zdrojů se pohybuje mezi 7 - 8 mil. m^3. [10]

4.1.1 Vodní zdroje Nová Ves a Dubí s úpravnou vody Ostrava - Nová Ves

Úpravna vody se nachází na katastrálním území Nová Ves. Byla postavena v roce 1908, kdy byly vybudovány studny s obsahem železa od 0,5 do 15 $mg.l^{-1}$ a vyvstala potřeba úpravy vody z těchto studní. [9] Na obrázku 4.1 můžeme vidět původní podobu strojovny, která stále plní svůj účel a kalový rybník, který dnes už neexistuje. Obsah kalového rybníka se vyvážel zpět na prameniště (v minulosti se možné negativní dopady kalů na zdroj podzemní vody neřešily tolik jako dnes).

Obr. 4.1 Historická fotografie strojovny a kalového rybníka

V současnosti je podzemní voda čerpána na úpravnu Ostrava - Nová Ves ze studní dvou pramenišť - Dubí a Nová Ves. Z prameniště Dubí je jímáno 120 $l.s^{-1}$ a z prameniště Nová Ves 80 $l.s^{-1}$. Úprava je vícestupňová z důvodu zvýšeného obsahu železa, manganu a amonných iontů v surové vodě.

V tabulce 4.1 můžeme vidět průměrné chemické složení surové a upravené vody v roce 2012.

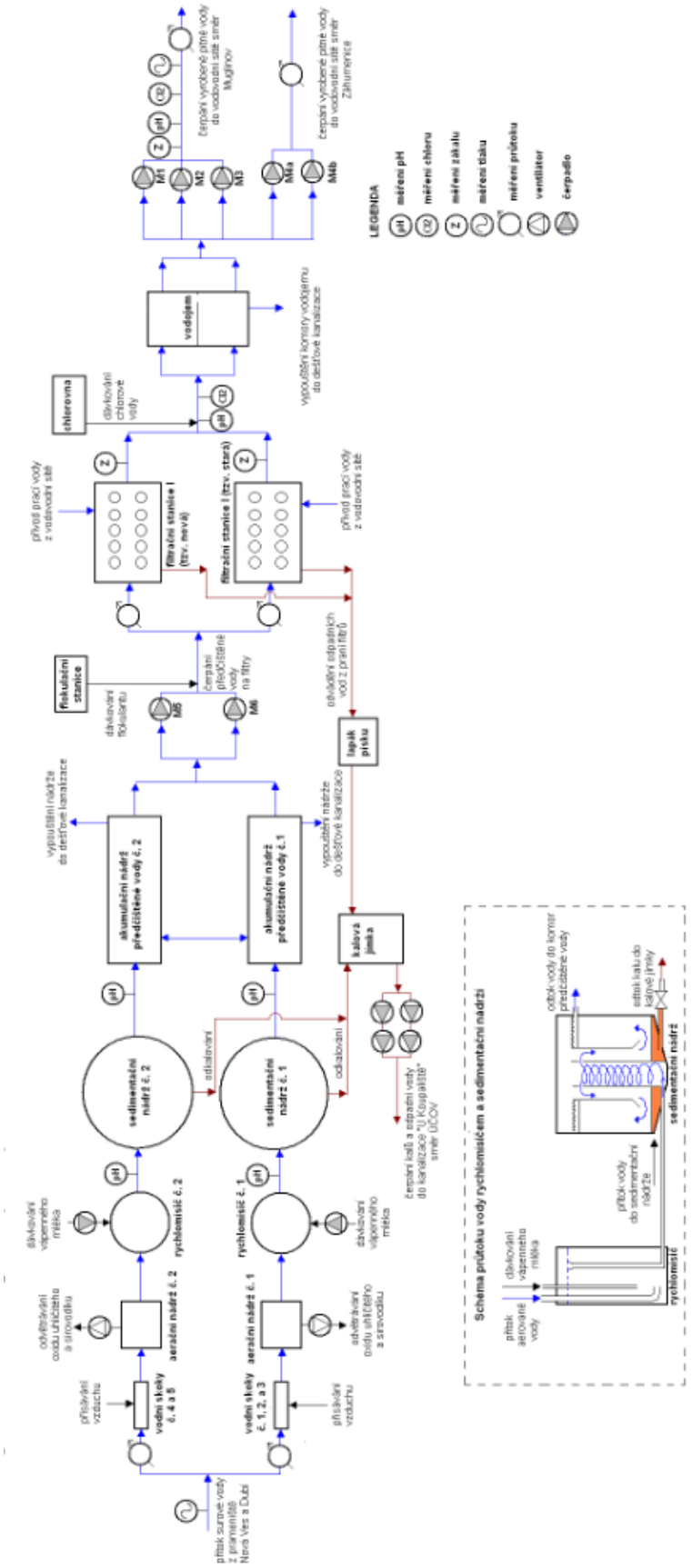
Tab. 4.1 Chemické složení surové a upravené vody v roce 2012 (vodní zdroj Nová Ves a Dubí) [10]

Název parametru	Jednotka	Surová voda	Upravená voda
pH		6,8	8,1
Oxid uhličitý agresivní	$mg.l^{-1}$	21,5	1,2
Vápník a hořčík (tvrdost)	$mmol.l^{-1}$	2,2	2,4
Vápník	$mg.l^{-1}$	64,1	77,6
Hořčík	$mg.l^{-1}$	12,2	12,1
Železo	$mg.l^{-1}$	8,5	0,05
Mangan	$mg.l^{-1}$	0,7	0,005
Arzen	$\mu g.l^{-1}$	6,8	0,3
Nikl	$\mu g.l^{-1}$	22,5	1,9
Amonné ionty	$mg.l^{-1}$	1,1	0,008
Dusičnany	$mg.l^{-1}$	1,7	5,2
Sírany	$mg.l^{-1}$	122	126
Chloridy	$mg.l^{-1}$	40	40
$CHSK_{Mn}$	$mg.l^{-1}$	1,7	1,0

Jímaná voda se provzdušňuje na vodních skocích (nově i na injektorech) a dále upravuje pomocí vápenného mléka, sedimentace a filtrace. Vyrobená pitná voda je desinfikována chlorovou vodou. Asi 70 % vyrobené pitné vody se čerpá směrem do centra Ostravy a Muglinova a zbývající část se přečerpává do vodojemu v Záhumenicích, kde se mísí s nakupovanou vodou z povrchových zdrojů. Úpravna vody Ostrava - Nová Ves zásobuje městské části Mariánské Hory, Hulváky, Novou Ves, velkou část Svinova, Přívoz, Moravskou Ostravu, dolní tlakové pásmo Slezské Ostravy, Hrušov, dolní část Heřmanic a část Muglinova. [9]

Úpravna vody má v současné době v provozu tyto technologické celky [9]:

1. prameniště v Nové vsi a na Dubí,
2. aeraci (provzdušnění surové vody a vytěsnění oxidu uhličitého a sirovodíku),
3. koagulaci (rychlomísení a alkalizaci vápenným mlékem včetně přípravy vápenného mléka),
4. sedimentaci a akumulaci předčištěné vody,
5. čerpání předčištěné vody na filtraci,
6. filtraci a akumulaci upravené vody včetně přípravy chlorové vody,
7. čerpání vyrobené pitné vody do vodovodní sítě do dvou směrů: směr VDJ Muglinov a směr VDJ Záhumenice,
8. kalové hospodářství.



Obr. 4.2 Technologické schéma úpravny vody Ostrava - Nová Ves [9]

Jednotlivé technologické celky úpravny vody jsou děleny na 2 samostatné poloviny (linky), z nichž každá má maximální výkon 110 $l.s^{-1}$. [9]

Voda je čerpána ponornými čerpadly z prameniště v Nové Vsi a Dubí. Na úpravně vody surová voda nejprve protéká vodními skoky (tzv. aerace). Zde dochází k provzdušnění a okysličení surové vody a tím k vytěsnění oxidu uhličitého (CO_2) a sirovodíku (H_2S). Postupně dochází také k oxidaci železnatých iontů na železité. Pak voda gravitačně natéká do rychlomísičů, kde je přidáváno vápenné mléko za účelem zvýšení pH pro odželeznění a odmanganování. [9]

Následně je voda přiváděna do kruhových sedimentačních nádrží, kde probíhá vločkování a usazování převážně hydroxidů manganu a železa. Ze sedimentačních nádrží voda odtéká do komor předčištěné vody a následně je čerpána čerpadly umístěnými ve strojovně na tlakové filtry, kde se odstraní zbytky železa, manganu, amonných iontů a dusitanů. Ve strojovně na výtlaku čerpadel předčištěné vody je pro zvýšení účinnosti filtrace zaústěno dávkování flokulantu. Ze dvou filtračních stanic voda odtéká do vodojemu, kam je přiváděna z budovy úpravny chlorová voda pro hygienické zabezpečení vyrobené pitné vody. [9]

Na této úpravně vody kaly vznikají na dvou místech, a to v sedimentační nádrži, odkud se přes kalovou jímku vypouští do kanalizace a na tlakových filtrech - kaly z filtrů se vypouští do kanalizace přes lapák písku. Kal, který se usadí v lapáku, je vyvážen na kalové pole.

Sedimentační nádrž

Voda z rychlomísičů je tangenciálně přiváděna do středu železobetonových válců umístěných uprostřed sedimentačních nádrží ve výšce 1,5 m nade dnem. Dochází k reakci hydrouhličitanů, solí železa a manganu s vápenným mlékem. Voda stoupá vzhůru a v horní části betonových válců vytéká obdélníkovými otvory do prostoru ocelových mezikruží, které mají tvar zvonu. Čistá voda stoupá do vlastních sedimentačních prostorů. V horních částech sedimentačních nádrží jsou zabudovány odváděcí žlaby, které jsou svedeny vždy do jednoho sběrného žlabu. Odtud voda odtéká potrubími DN 350 do dvou nádrží na předčištěnou vodu. Dno sedimentační nádrže se svažuje směrem ke středu nádrže. [9]

Kal, který sedimentuje na dně během provozu, je shrabován shrabováky směrem ke středu nádrže. Shrabováky tvoří vždy dvě ramena profilové oceli "U" vyztužená úhelníky. Sedimentovaný kal je odpouštěn kalovými potrubími DN 200 do sací jímky kalů, ze které je čerpán kalovými čerpadly umístěnými v suterénu budovy úpravny do veřejné kanalizace na ulici U Koupaliště směrem na ÚČOV v souladu s KŘ/61/01 Kanalizačním řádem, který je schválen vodoprávním úřadem. Vypouštění vodárenských kalů do kanalizace je prospěšné z toho důvodu, že se snižuje dávka koagulantu používaného k odstraňování fosforu na ČOV. Odkalování sedimentačních nádrží se provádí denně. Z jednoho odkalení jde do kanalizace a následně na ČOV cca 10 až 12 m^3 kalu. [9]

Obr. 4.3 Sedimentační nádrž - pohled zevnitř na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.4 Odkalovací potrubí na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková]

Asi 1 - 1,5 hodiny před vlastním odkalením se uvede do chodu shrabovák sedimentační nádrže, která bude odkalována. Shrabovák za tuto dobu provede cca 3 otáčky a shrne sedimentovaný kal ke středovému odkalovacímu potrubí. Před vlastním odkalením opět v dostatečném časovém předstihu obsluha zkontroluje hladinu kalu v sací jímce kalů u vchodu do budovy úpravny. Dle množství kalů v této jímce zapne do ručního provozu jeden ze dvou tzv. tandemů kalových čerpadel. [9]

Při odkalování sedimentační nádrže se postupuje dle tohoto postupu:

1. vypne se chod shrabováku,
2. otevře se naplno odkalovací šoupě příslušné sedimentační nádrže v suterénu budovy,
3. odkalení se provádí 1x za 24 hodin po dobu tří minut (jedna nádrž se odkaluje v poledne, druhá o půlnoci), v souladu se vzorkovacím plánem se asi v polovině odkalování odebírá vzorek pro stanovení obsahu nerozpuštěných látek,
4. po odkalení se uzavře odkalovací šoupě,
5. přepne se chod navoleného tandemu do polohy "AUT".

Četnost a doba odkalování může být změněna na základě příkazu vedoucího Střediska technologie úpravy vody. Obtoky odkalení u odkalovacího šoupěte jsou zavřené - nevyužívají se. [9]

Filtrační stanice

Uzavřené tlakové filtry jsou umístěny ve dvou budovách - filtrační stanice I (tzv. stará filtrační stanice - filtry jsou z konce čtyřicátých let) a filtrační stanice II (tzv. nová filtrační stanice - filtry z konce padesátých let). V každé z nich je 10 uzavřených tlakových pískových filtrů, ve kterých dochází k zachycení kalových vloček, které nebyly separovány v sedimentačních nádržích. Výška filtrační náplně je 1,6 m. Praní probíhá v třídenních intervalech. Z jednoho praní vzniká cca 35 m^3 prací vody. Na odtoku čisté vody je indikace případných toxických vlastností upravené vody prováděna pomocí chovu ryb (např. sivena amerického). Veškeré odpadní vody vznikající při praní filtrů (vypouštění, zafiltrování, použitá prací voda, odvzdušnění) je svedeno do odpadního kanálu mezi filtry a odtud potrubím DN 300, přes sedimentační jímku kalů (lapák písku) do sací jímky kalů.

Obr. 4.5 Tlakové filtry na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková]

Kalové hospodářství úpravny vody

Kalové hospodářství ÚV se skládá z těchto zařízení [9]:

1. Lapač písku (pro kalové vody z praní filtrů vedle filtrační stanice I, má tvar komolého hranolu).
2. Sací jímka kalů (před vstupem do budovy úpravny).
3. Čerpací stanice čerpadel na kaly sestávající ze dvou tandemů kalových čerpadel (v každém tandemu jsou vždy 2 kusy kalových čerpadel v provedení do suché jímky).
4. Výtlačný řad z čerpací stanice kalů do kanalizace na ulici U koupaliště.
5. Plocha pro odvodnění kalů (kalové pole).

Lapač písku (kalová nádrž) slouží k odsazení odpadních vod z praní pískových filtrů. Voda je přiváděna do nádrže potrubím DN 300. Sedimentovaný kal zůstává u dna, po naplnění prostoru jímky se vytěží a po odvodnění na ploše v prostoru vedle jímky je odvážen po dohodě s technikem odpadového hospodářství smluvním odběratelem (přidává se do kompostu). Odvoz odvodněných kalů se provádí 1 - 2 x ročně. Odsazená voda z lapače písku je odváděna potrubím DN 250 do sací jímky kalů. [9]

Sací jímka kalů je umístěna jako podzemní nádrž před budovou úpravny vody a slouží jako sací jímka pro kalová čerpadla, která jsou umístěna v suterénu úpravny vody. Do jímky je potrubím DN 250 přivedena odsazená voda z lapače písku. Do jímky je také zaústěno potrubí DN 200 z odkalování obou sedimentačních nádrží. Tímto potrubím se rovněž vypouští voda

ze sedimentačních nádrží před čištěním jednotlivých technologických stupňů úpravny. Do této jímky jsou zaústěny splaškové vody čerpané z jednotlivých objektů dislokovaných v areálu úpravny a kontaminované podzemní vody přiváděné z oblasti jímacích zářezů Hůrka (ochrana před pronikáním znečištění do prameniště Nová Ves). [9]

V suterénním prostoru vedle jímky jsou umístěny dva tandemy, každý se dvěma kusy ponorných kalových čerpadel v provedení pro suchou jímku. Každé čerpadlo má vlastní sání s montážní vložkou, šoupátkem a redukcí R 200/150. Na výtlaku každého čerpadla je zpětná klapka a šoupátko se stojanem. Tandemová čerpadla se mohou zapínat automaticky nebo ručně. Pro případ, že čerpadla nestačí odčerpávat přitékající množství a hladina v jímce dále stoupá, je těsně před přepadem instalována havarijní elektroda. Po vzedmutí hladiny k této elektrodě se sepne elektrický obvod k siréně. Cílem je zabránit úniku kalu do Červeného potoka. Sepnutí sirény signalizuje obsluze, že má přerušit přívod kalů do jímky (odkalování) ze sedimentací nebo urychleně "přiškrtit" odkalovací šoupě na odkalované sedimentační nádrži. [9]

Výtlačný řad z čerpací stanice kalů do kanalizačního sběrače na ulici U koupaliště je proveden z PVC DN 160. Je vyveden ze společného výtlaku obou tandemů mezi objektem sedimentace II a zámečnickou dílnou, kolem bývalého koupaliště a je zaústěn do kanalizace na ulici U koupaliště. [9]

Obr. 4.6 Lapák písku na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.7 Odvodňovací plocha kalů (kalové pole) na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.8 Odkalovací potrubí (za stěnou je sací jímka kalů) na ÚV Ostrava Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.9 Sací jímka kalů na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková]

Tab. 4.2 Parametry lapače písku [9]

Rozměry horní část	5,2 x 4,1 m
Rozměry dna	4,35 x 4,1 m
Kóta hladiny vody v nádrži max.	210,6 m n. m.
Kóta dna	208,75 m n. m.

Tab. 4.3 Parametry odvodňovací plochy kalů (kalové pole) [9]

Rozměry	9,0 x 8,8 x 0,7 m
Užitný objem	47,5 m^3
Užitná plocha	79,2 m^2

Tab. 4.4 Parametry sací jímky kalů [9]

Počet kusů	1
Rozměr nádrže š x d x v	5 x 7 x 3,4 m
Objem nádrže	119 m^3
Hladina v nádrži max.	2,5 m
Max. objem vody v nádrži	87,5 m^3
Kóta hladiny vody v nádrži max.	208,50 m n. m.
Kóta dna	205,90 m n. m.

Tab. 4.5 Celková produkce kalů za rok 2012 - 2013 na úpravně vody - Ostrava Nová Ves [13]

Rok	2012	2013
Průměrná koncentrace NL v čerpaných OV [mg.l^{-1}]	4120	4414
Množství čerpané vody - tandemy [m^3]	136606	124325
Hmotnost sušiny kalů čerpaných na ČOV [t]	562,8	548,8
Hmotnost odvezených kalů [t]	58,76	14,78
Sušina odvezených kalů [t]	34	43
Hmotnost sušiny odvezených kalů [t]	20,096	6,355
Celkem produkce kalů [t]	582,9	555,1

4.1.2 Ostatní vodní zdroje provozované společností Ovak a.s.

Společnost Ovak a.s. kromě vodních zdrojů Nová Ves a Dubí provozuje i další vodní zdroje, kde je jímaná voda pouze provzdušňována na aeračních věžích za účelem odstranění oxidu uhličitého a následně desinfikována chlornanem sodným nebo dávkováním plynného chloru. Mezi tyto zdroje patří například vodní zdroj Ještěrka I a Ještěrka II (situované v katastru obce Bartovice), vodní zdroje ve Staré Bělé (Palesek - 40 l.s^{-1}, Pešatek - 6 l.s^{-1} a Sýkorův důl - v současnosti mimo provoz), vodní zdroj Důlňák (4 samostatná prameniště - Rakovec, Stará Datyně, Zimnice a Les, které dodávají surovou vodu v množství cca 20 l.s^{-1} do čerpací stanice umístěné v lese Důlňák na katastrálním území Vratimov) a vodní zdroj II. vodovod - Bělský les, Zábřeh (složen ze 3 jímacích řadů - celkem 36 studní a 3 čerpací stanice, tento zdroj vyrábí průměrně 20 l.s^{-1} pitné vody). Všechny tyto uvedené zdroje nemají ani jeden separační stupeň a tudíž úplně chybí kalové hospodářství. [10]

4.2 ÚPRAVNY VODY PROVOZOVANÉ SPOLEČNOSTÍ SMVAK OSTRAVA A.S.

Společnost zásobuje pitnou vodou z veřejných vodovodů odběratele v městech a obcích bývalých okresů Frýdek - Místek, Karviná, Nový Jičín a Opava. Na základě smluvního vztahu dodává pitnou vodu i do veřejné vodovodní sítě města Ostravy, Studénky, Hlučína a několika dalších obcí. Rozhodující podíl (více než 94 %) vyrobené vody připadá na vodu z centrálních zdrojů upravovanou a rozváděnou v rámci jedné z nejrozsáhlejších vodárenských soustav v ČR - OSTRAVSKÉHO OBLASTNÍHO VODOVODU. Jako hlavní velkokapacitní zdroje povrchové vody slouží tomuto systému údolní nádrže Kružberk v Jeseníkách, Šance a Morávka v Beskydech. Největšími úpravnami vody jsou Podhradí (maximální kapacita 2700 l.s^{-1}), Nová Ves u Frýdlantu nad Ostravicí (2200 l.s^{-1}) a Vyšní Lhoty (450 l.s^{-1}). [12]

4.2.1 Úpravna vody Podhradí

Úpravna vody se nachází ve Vítkově - Podhradí. Byla postavena mezi roky 1954 až 1962. Upravuje se zde povrchová voda z přehradní nádrže Kružberk, která leží na řece Moravici. Maximální kapacita úpravny je 2700 l.s^{-1}. Průměrný přítok je cca 1000 l.s^{-1}.

Na této úpravně vody se uplatňuje koagulační filtrace. Jako koagulant je využíván síran hlinitý. Úprava vody je jednostupňová. Jako jediný separační stupeň jsou zde umístěny otevřené pískové rychlofiltry (26 kusů) s výškou filtrační náplně 1,0 m, filtrační plochou 72 m^2 a frakcí písku 1 až 2 mm.

Obr. 4.10 Úpravna vody Vítkov - Podhradí [11]

Vzhledem k tomu, že je před přehradní nádrží Kružberk, odkud pochází surová voda předřazena přehradní nádrž Slezská Harta, má surová voda velmi nízké hodnoty zákalu, protože Slezská Harta funguje částečně jako usazovací nádrž. Na úpravně vody v Podhradí vzniká většina kalu na filtrech. Denně se upraví cca 80000 m^3 vody, množství prací vody je zhruba 5 % z celkové výroby. Praní filtrů probíhá 1x za 24 hodin. Pere se po dobu 5 minut vzduchem, následně 8 minut vodou a vzduchem a 5 minut pouze vodou.

Voda z praní filtrů teče kontinuálně do třech usazovacích nádrží (odsazená voda se vypouští do recipientu). Kal z usazovacích nádrží putuje do zahušťovací nádrže a následně na odstředivku Alfa Laval Aldec G2-60. Odstředivka zde byla osazena v roce 2003. Výkon odstředivky je cca 10 až 12 $m^3.hod^{-1}$. Čím je výkon menší, tím se kal lépe odstředí. Dalším parametrem je počet otáček, který se pohybuje kolem 2600 $ot.min^{-1}$. Při vyšších otáčkách se kal lépe odstředí, ale fugát není tak kvalitní. Vstupní sušina kalu, který jde na odstředivku je cca 2,1 %, z odstředivky odpadá odvodněný kal o sušině 20,7 %. Před usazovacími nádržemi a odstředivkou se dávkuje Praestol (organický flokulant). Kal odvodněný na odstředivce se vyváží na kalová pole. Kaly z kalových polí se odváží jednou ročně na skládku.

Dalším zdrojem kalu jsou sytiče vápna, ve kterých se připravuje vápenné mléko za účelem zvýšení pH upravované vody. Vzhledem k tomu, že vápno je ve vodě špatně rozpustné, dochází v sytičích k usazování nerozpustného podílu a ten putuje také do kalového hospodářství. Vápenná hlušina je odtahována ze sytičů vápna v době praní filtrů a spolu s prací vodou je odváděna do usazovacích nádrží. Celková produkce kalu na této úpravně je 1000 $t.rok^{-1}$. Kromě výše zmíněných zařízení se na úpravně nachází dvě kalové laguny, které slouží v případě technologické údržby zařízení, nebo v případě poruchy, nebo havárie. Rozměry kalových lagun jsou 20 x 100 x 1,4 m. Nápustný objem kalové laguny je 2300 m^3.

Obr. 4.11 Praní filtrů na ÚV v Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.12 Usazovací nádrž na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.13 Odstředivka na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.14 Odtok fugátu z odstředivky na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.15 Odstředěný kal na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.16 Jedno z kalových polí na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková]

4.2.2 Úpravna vody Nová Ves u Frýdlantu nad Ostravicí

Na úpravně vody Nová Ves u Frýdlantu se upravuje povrchová voda z přehradní nádrže Šance, která leží na řece Ostravici. Maximální kapacita úpravny je 2200 $l.s^{-1}$. Průměrný přítok na úpravnu je cca 800 $l.s^{-1}$. Stejně jako na úpravně vody v Podhradí se i zde využívá koagulační filtrace (koagulant síran hlinitý). Úprava vody je jednostupňová. Na rozdíl od úpravny vody v Podhradí jsou zde osazeny i pravoúhlé usazovací nádrže, které se využívají v případě zhoršené kvality surové vody (obzvláště v období vysokých srážkových úhrnů).

Na úpravně vody Nová Ves u Frýdlantu se využívá 20 otevřených pískových rychlofiltrů s výškou filtrační náplně 1,5 m. Denně se pere 8 - 12 filtrů. Voda z praní teče do pravoúhlých usazovacích nádrží, ve kterých se na dně usazuje kal. Usazený kal se odčerpává do dvou přípravných nádrží, kde se smíchá s hydrátem vápenatým a poté jde na kalolis od firmy NETZCH. Vstupní sušina kalu jdoucího na kalolis je 1,96 %, sušina odvodněného kalu je 20,6 %.

Část vody nad kalovým prostorem usazovací nádrže se čerpá zpět na přítok úpravny. Objem vratné vody činí cca 50 - 75 % z celkového objemu prací vody. V provozu jsou 3 usazovací nádrže. Čtvrtá slouží k neutralizaci alkalického filtrátu z kalolisu. Filtrát se po neutralizaci vypouští s odsazenou vodou do potoka. Kalové laguny slouží v době, kdy jsou usazovací nádrže nebo kalolis mimo provoz.

Usazovací nádrže jsou mimo provoz v zimním období, kdy dochází k strojní a technologické údržbě zařízení a když klimatické podmínky znemožňují provoz usazovacích nádrží. V tomto případě se voda z praní přepouští do kalových lagun, kde se kal nechá volně sedimentovat a odsazená voda teče do recipientu. Po naplnění kalového prostoru lagun se laguny odstaví, vypustí a kal se nechá doschnout. Celková produkce kalu je 1200 $t.rok^{-1}$. Vysušený kal se odváží na skládku.

Tab. 4.6 Parametry usazovacích nádrží [17]

Počet ks	4
Šířka	7 m
Délka	47 m
Hloubka vody	3 m

Tab. 4.7 Parametry kalových lagun [17]

Počet ks	3
Rozměry dna	82,9 x 24,6 m
Plocha dna	2040 m^2
Výška přepadu	1,2 m
Plocha ve výšce přepadu	2570 m^2

Tab. 4.8 Parametry kalolisu [17]

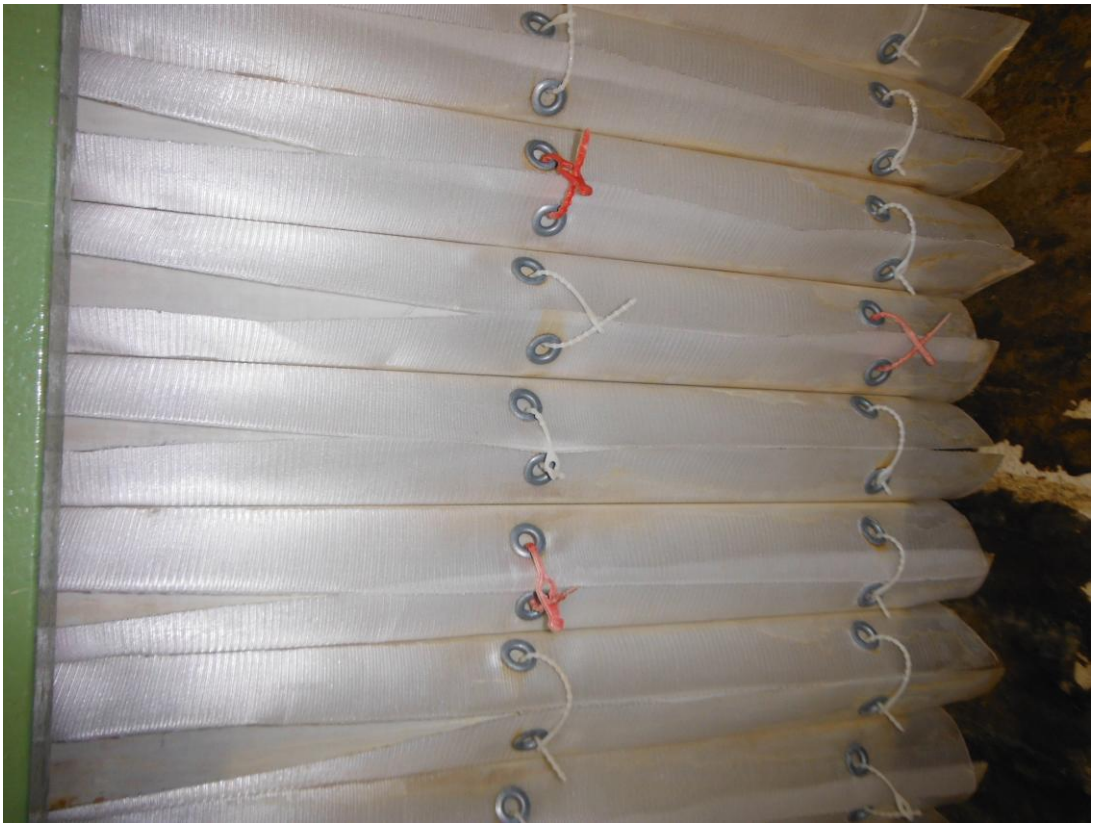
Typ kalolisu	022.71
Obsah kalolisu	1946 l
Typ hydraulického uzávěru	318
Typ automatického posuvu rámečků	595
Velikost rámečků, typ GK4	1200 mm x 1200 mm
Tloušťka koláče kalu	25 mm
Volná filtrační plocha	162 m^2
Max. filtrační tlak	15 bar
Max. uzavírací tlak	400 bar
Typ mono - čerpadla (plnící)	2 NE 80
Dopravní množství	1,5 - 23 m^3
Dopravní tlak max.	p = 15 bar
El. motor	N = 9,2 kW
Vysokotlaké čerpadlo kalu - typ	4 NE 50A
Dopravní množství	1,0 - 15,5 $m^3.h^{-1}$
Dopravní tlak max.	p = 15 bar
El. motor	N = 9,2 kW
Obsah homogenizačních nádrží kalu	2 x 30 m^3
Míchadla LM 1000 - 600 x 2200	2 x 2 ks
200 ot/min, el. Motor	N = 9,2 kW
Čerpadla surového kalu	2 ks
Typ	50-NFT-230-22-LC-0014
Dopravní množství	Q = 13,3 $l.s^{-1}$
Měrná energie	Y = 58 $J.kg^{-1}$
El. motor	N = 7,5 kW
Čerpadla filtrátu	2 ks
Typ	32 NVD 160-09-LC-1009
Dopravní množství	Q = 1 $l.s^{-1}$
Měrná energie	Y = 353 $J.kg^{-1}$
El. motor	2,2 kW

Obr. 4.17 Otevřené rychlofiltry na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.18 Pravoúhlá usazovací nádrž (na vodu z praní filtrů) na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.19 Dávkování vápna před kalolisováním na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.20 Kalolis na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 4.21 Detail plachetek kalolisu na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.22 Kalová jímka (odtok vody z kalolisu) na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.23 Kalové laguny na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.24 Kalová laguna na ÚV Nová ves u Frýdlantu (částečně vysušený kal) [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.25 Odtok vody z kalové laguny do recipientu na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.26 Vysušený kal na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková]

4.2.3 Úpravna vody Vyšní Lhoty

Na úpravně vody Vyšní Lhoty se upravuje povrchová voda z přehradní nádrže Morávka. Maximální kapacita úpravny je 450 $l.s^{-1}$. Při úpravě se využívá koagulační filtrace. Část vody vyrobené na této úpravně využívá pivovar. Voda pro pivovar se na rozdíl od pitné vody pro běžné odběratele neupravuje pomocí vápna (pH = 7) a používají se menší dávky desinfekčního činidla. Kalové hospodářství této úpravny spočívá v usazovací nádrži, ze které se kal jednou za rok přečerpá na kalové pole, kde se nechá doschnout. Vyschlý kal z kalového pole se odváží na skládku.

Obr. 4.27 Dvojice kalových polí - levé vypuštěné, pravé po napuštění [1]

4.3 ÚPRAVNY PROVOZOVANÉ DALŠÍMI PROVOZOVATELI

4.3.1 Úpravna vody Souš

Provozovatelem úpravny vody Souš jsou Severočeské vodovody a kanalizace a.s. Úpravna vody Souš je významným zdrojem pitné vody pro zásobování skupinového vodovodu Liberec - Jablonec nad Nisou. Zdrojem surové vody pro tuto úpravnu je vodárenská nádrž Souš, vybudovaná v roce 1915, která je umístěna na říčce Černá Desná. Úprava vody je jednostupňová, jako jediný separační stupeň jsou zde zařazeny filtry. Úpravna vody Souš je netradiční v tom, že v kalovém hospodářství využívá flotaci.

Filtry

V letech 2006-2009 proběhla na úpravně vody rozsáhlá rekonstrukce. Důvodem rekonstrukce byl havarijní stav systému meziden a zvýšení kalové kapacity použitím dvouvrstvé filtrační náplně. Pískové filtry jsou tvořeny dvěma vanami se středovým žlabem pro přivedení vody na filtry. Středový žlab spolu s krajními žlaby současně slouží pro odvedení prací vody. Na dně pískových filtrů je uložen drenážní systém firmy F. B. Leopold Company Inc. Drenážní systém zajišťuje odvedení vody z filtrů a rovnoměrné rozdělení prací vody a pracího vzduchu po ploše filtrů. Plocha jednoho filtru je 47,4 m^2. Celková plocha filtrů je 284,4 m^2. Každý filtr je navržen pro maximální průtok 57 $l.s^{-1}$. Na úpravně vody Souš je použita dvouvrstvá filtrační náplň (FP2 + antracit) s výškou filtrační náplně 1,8 m s rozdělením 1,1 m filtračního písku + 0,7 m antracitu. [14]

Praní filtru probíhá ve třech fázích. První fáze je praní vzduchem, které trvá 5 až 15 minut. Potom následuje praní vzduchem a vodou, které trvá 3 až 4 minuty. Nakonec se pere pouze vodou, doba trvání této fáze je 5 až 7 minut. Délka filtračního cyklu je 38 hodin, při provozu pouze pěti filtračních jednotek se tato doba zkracuje na 26 hodin. [14]

Kalové hospodářství úpravny vody Souš

Důvodem rekonstrukce kalového hospodářství bylo výrazné zhoršení kvality surové vody a tím i nárůst množství odpadních vod z praní filtrů, a s tím spojená nedostatečná kapacita kalových lagun. [14]

V roce 2004 byly provedeny poloprovozní zkoušky - ověření technologie flotace a sedimentace v lamelové usazovací nádrži v kombinaci s kontinuální filtrací a zpracováním kalu pásovým lisem a komorovým kalolisem. Pro provedení poloprovozních zkoušek bylo použito flotační zařízení IPF firmy Nijhuis Water technology b. v. Jedná se o vysoce výkonné kompaktní oddělovací zařízení k oddělování flotujících a sedimentujících částic z odpadní vody. Je vybavené vestavbou vlnitých desek s protiproudým tokem. Vločky připravené pomocí koagulace a flokulace je možno za pomoci jemných vzduchových bublinek oddělit z kapalné fáze. Flotace probíhá s velikostí vzduchové bubliny v rozmezí 30 - 50 mikronů, což je ideální velikost pro efektivní oddělování malých a větších vloček, kdy dochází k úplnému oddělení. Vyflotované vločky se shlukují do kompaktní vrstvy, kterou je možno jednoduchým způsobem odstranit. [14]

Technologická linka se skládá z: [14]

1. 2 x vyrovnávací nádrže,
2. dávkování polymerního flokulantu (Superfloc) a koagulantu (síran hlinitý),
3. 2 x trubkového flokulátoru,
4. 2 x flotační jednotky,
5. 2 x nádrže vody upravené flotací,
6. nádrže kalu,
7. dávkování polymerního flokulantu (Sokofloc 30 BG x Sokofloc 30),
8. šnekového lisu.

Odpadní prací vody (maximum 875 $l.s^{-1}$) jsou přivedeny potrubím DN 800 do dvou vyrovnávacích nádrží s provozním objemem 2 x 420 m^3. Každá nádrž pojme objem prací

vody odpovídající maximálnímu množství. Nádrže jsou navrženy obdélníkového tvaru s půdorysnými rozměry 7 x 19,5 m a s hloubkou vody 3 m. Nádrže jsou trvale míchané, aby byla zajištěna homogenita odpadních vod pro následující flotaci a minimalizovala se sedimentace. Z vyrovnávacích nádrží je voda čerpána na flotační jednotky. V suterénu armaturního prostoru objektu kalového hospodářství jsou umístěna 2 čerpadla, každé s výkonem cca 18 $l.s^{-1}$. Na vstupu do flotační jednotky se dávkuje síran hlinitý a pomocný flokulant (Superfloc). [14]

Odpadní vody a kal jsou z flotace odváděny tak, že voda z flotace (recirkulát) je gravitačně odváděna samostatně do nádrží recirkulátu a kal (pěna) s koncentrací 2 až 6 % je gravitačně odváděna do nádrže o objemu 2 m^3, která je umístěna mezi flotačními jednotkami. Do nádrže kalu 2 m^3 jsou také zaústěny odpady z odkalení sedimentu flotačních jednotek. [14]

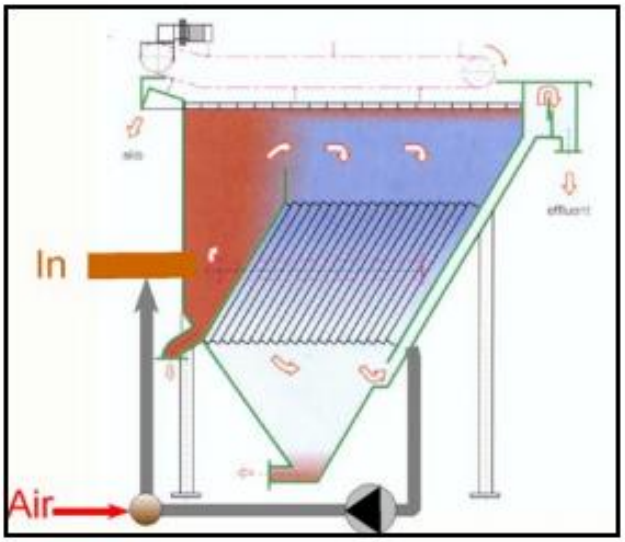
Upravená voda odtéká do recipientu. Je možné vodu z flotace vracet do surové vody (množství max. 20 $l.s^{-1}$). Vracení vody na vstup do surové vody nebylo zatím v rámci zkušebního provozu odzkoušeno. Kal je čerpán z nádrže kalu 2 m^3 do reakční nádrže před šnekový lis, kde dojde ke smísení s polymerním flokulantem. Je osazen jeden šnekový lis s výkonem 48 kg sušiny za hodinu. [14]

Odpady z kalolisu jsou odváděny tak, že koncentrovaný kal (12 až 20 % sušiny) je dopravován do dvou kontejnerů, filtrát je odváděn do vstupních vyrovnávacích nádrží, stejně jako voda z oplachu lisu. [14]

V současnosti jsou flotační jednotky provozovány diskontinuálně s výkonem každé flotační jednotky 17 $l.s^{-1}$. V rámci sledování zkušebního provozu jsou sledovány tyto parametry: barva, zákal, NL, pH, $CHSK_{Mn}$, Al u pracích vod a vody odtékající z flotace a sušina u výstupního kalu. [14]

Vzhledem k tomu, že celá technologická linka reagovala velmi citlivě na proměnlivé hodnoty pH, přistoupilo se k automatické regulaci dávkování síranu hlinitého v závislosti na pH. Takto je linka provozována od února 2010 a provoz probíhá bez problémů. [14]

Účinnost flotace při odstraňování $CHSK_{Mn}$, je průměrně 80,8 %, hliníku 58,2 a zákalu 86,1 %. Voda upravená flotací kvalitativně vyhovuje pro vrácení zpět do surové vody, i pro vypouštění do vodoteče. Sušina v kalu se pohybuje v rozmezí 12 - 20 %. [14]



Obr. 4.28 Flotační zařízení [15]

4.3.2 Úpravna vody Kroměříž

Úpravna vody Kroměříž byla vybudována a uvedena do provozu v roce 1978 pro potřebu úpravy surové podzemní vody z jímacího území Hradisko, Postoupky, Miňůvky, Podzámecká zahrada, Břest, Břestský les, Plešovec, Hulín. Úpravna vody Kroměříž zásobuje pitnou vodou celý okres Kroměříž a obec Nezamyslice. V letech 2012 - 2013 zde byla provedena rozsáhlá rekonstrukce. Úpravna je navržena na maximální výkon 170 $l.s^{-1}$. Jako minimální upravované množství se předpokládá 110 $l.s^{-1}$. [16]

Původní technologie - aerace surové vody na horizontálních provzdušňovacích zařízeních Bubla s následnou alkalizací hydrátem vápenatým je nyní nahrazena chemickou oxidací železnatých a manganatých iontů ozonem. Směšování ozonu se surovou vodou probíhá na dvou statických mísičích a následně voda odtéká do reakční nádrže, kde dochází k reakci ozonu s železnatými a manganatými ionty. Následně voda odtéká do sekce pomalého míchání, kde je míchána pádlovými míchadly. První separační stupeň tvoří dvě paralelní linky, kde se nejprve v sekci flokulace tvoří mikrovločky polyhydroxidů železa a manganu, a následně tato sekce přechází v sedimentaci, kde se vytvořené vločky usazují na dně sedimentačních nádrží. Sedimentovaný kal je průběžně stanován shrabovacími lištami řetězového dopravníku a potom jednorázově odpouštěný do zahušťovacích nádrží. [16]

Z prvního separačního stupně odtéká voda do druhého separačního stupně, který tvoří 4 otevřené pískové rychlofiltry s drenážním systémem TRITON dodaným firmou Johnson Screens z Francie. Filtry se perou kombinovaným způsobem pomocí pracího vzduchu a prací vody. Voda z filtrů je odváděna na nově instalované aerační věže, kde dochází k odvětrání oxidu uhličitého z již upravené vody. Po aeraci je voda desinfikována plynným chlorem a následně odtéká do jednokomorové akumulační nádrže a poté je čerpána do řídícího vodojemu Barbořina. [16]

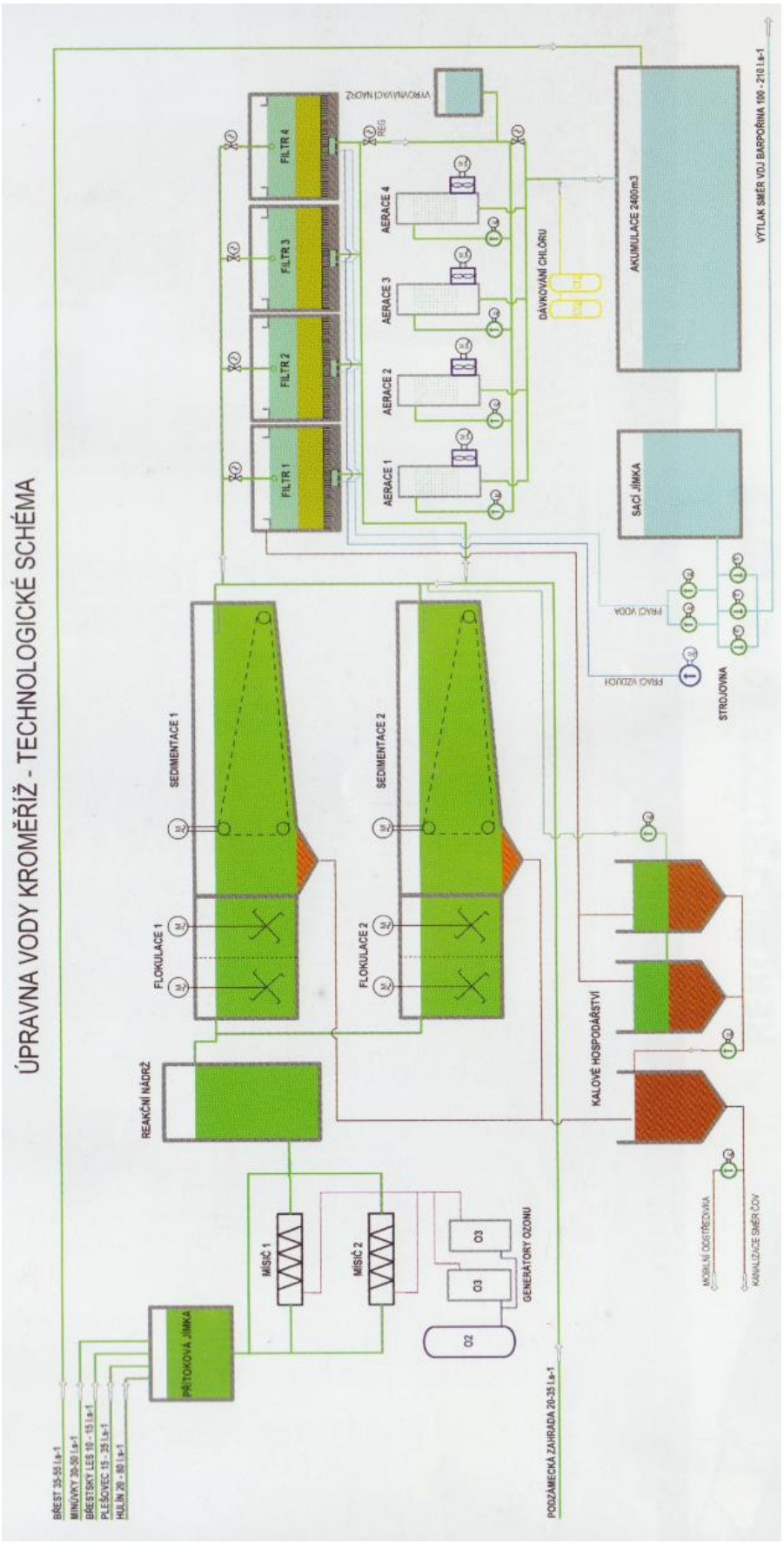
Prací vody z regenerace ("praní") filtrů jsou odváděné do budovy kalového hospodářství, kde dochází ve dvou odsazovacích nádržích (objem jedné nádrže je 150 m^3) k jejich odsazení a tím možnému čerpání zpátky do procesu úpravy vody na filtry. Tímto nově zavedeným způsobem dochází k významné úspoře finančních prostředků vynaložených na čerpání surových vod. Třetí odsazovací nádrž slouží pro odsazování kalové vody z prvních dvou nádrží a také z odkalování sedimentačních nádrží. Kalová voda po odsazení se vypouští do městské kanalizace, odkud odtéká na ČOV Kroměříž. Usazený kal je možné čerpat do městské kanalizace, případně zahustit na mobilní odstředivce a následně odvézt k likvidaci. [16]

Obr. 4.29 Usazovací nádrž na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.30 Otevřené rychlofiltry na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.31 Odsazovací nádrže na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková]

Obr. 4.32 Pohled do odsazovací nádrže na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková]



Obr. 4.33 Technologické schéma úpravny vody Kroměříž [16]

5 ZÁVĚR

V bakalářské práci jsem se věnovala vodárenským kalům od jejich vzniku, přes jejich zpracování až po následnou likvidaci, případně využití v nejrůznějších odvětvích. V rámci práce bylo zmapováno kalové hospodářství na šesti úpravnách vody v České republice, z čehož jsem čtyři navštívila.

Obr. 5.1 Mapa úpraven vody obsažených v této práci

Mezi popisovanými úpravnami jsou zastoupeny jak úpravny zpracovávající vodu podzemní, tak úpravny zpracovávající vodu povrchovou. Různý je i počet separačních stupňů, přičemž se ve všech případech jedná o jednostupňovou či dvoustupňovou úpravu. Výjimkou jsou pouze některé podzemní zdroje provozované společností Ovak a.s. zmíněné v kapitole 4.1.2, které nemají ani jeden separační stupeň a kalové hospodářství zde tudíž úplně chybí.

Tab. 5.1 Základní informace o popisovaných úpravnách

Název úpravny	Provozovatel	Max. kapacita ÚV [$l.s^{-1}$]	Zdroj surové vody	Počet sep. stupňů
Ostrava - Nová Ves	Ovak a.s.	220	podzemní	2
Vítkov - Podhradí	SmVak Ostrava a.s.	2700	povrchový	1
Nová Ves u Frýdlantu	SmVak Ostrava a.s.	2200	povrchový	1
Vyšní Lhoty	SmVak Ostrava a.s.	450	povrchový	1
Souš	SČVK a.s.	300	povrchový	1
Kroměříž	VaK Kroměříž a.s.	170	podzemní	2

Tab. 5.2 Přehled kalového hospodářství na popisovaných úpravnách

Název úpravny	Kalové hospodářství	Likvidace/využití kalu
Ostrava - Nová Ves	vypouštění na ČOV; kalové pole	ČOV / přídavek do kompostu
Vítkov - Podhradí	usazovací nádrže + zahušťovací nádrže + odstředivka	skládkování
Nová Ves u Frýdlantu	usazovací nádrže + kalolis; kalové laguny	skládkování
Vyšní Lhoty	usazovací nádrž + kalové pole	skládkování
Souš	flotace	není známé
Kroměříž	odsazovací nádrže + vypouštění na ČOV; mobilní odstředivka	ČOV / neznámý zp. likvidace

Z tabulky 5.2 vyplývá, že technologie využívané v kalovém hospodářství na úpravnách vody v České republice jsou velmi různorodé, přičemž většinou jsou kaly zahušťovány přímo na úpravně vody v různých nádržích (usazovací nádrže, zahušťovací nádrže, odsazovací nádrže atd.) a následně gravitačně odvodňovány na kalových polích nebo kalových lagunách. Využívají se i strojní odvodňovací zařízení, nejčastěji odstředivky, mobilní odstředivky nebo kalolisy. Na dvou ze šesti popisovaných úpraven se kal vypouští do kanalizace a likviduje se až na ČOV. Pouze jediná úpravna vody v České republice, a to úpravna vody Souš, využívá na kalovém hospodářství flotaci.

Nejčastější způsob likvidace vodárenských kalů je dle tab. 5.2 skládkování, které se využívá přesně na polovině z uvedených úpraven. Využití vodárenských kalů v České republice není příliš rozšířené, výjimkou je úpravna vody Ostrava - Nová Ves, odkud si část odvodněného kalu odváží externí odběratel a následně kal využívá jako přídavek do kompostu.

Vzhledem k tomu, že je v současné době snaha vytvářet co nejméně odpadu a odpad spíše využívat jako surovinu než likvidovat, lze předpokládat, že se v následujících letech vodárenské kaly začnou využívat více než dnes, ať už v zemědělství nebo v průmyslu.

6 POUŽITÁ LITERATURA

[1] KYNCL, Miroslav. *Technologie, zpracování a využití vodárenských kalů: monografie*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2007, 127 s. ISBN 978-80-248-1604-3-.

[2] TUHOVČÁK, Ladislav, et al. *Vodárenství: Studijní opory.* 1. vydání. Brno: VUT FAST, 2006. 252 s.

[3] ČR. Vyhláška 120/2011 Sb. In: *Sbírka zákonů*. Praha: Tiskárna ministerstva vnitra, p.o., 6. května 2011, č. 120, 46.

[4] TESAŘÍK, Igor. *Vybrané statě z vodárenství II*. 1. vyd. Brno: VUT, 1984, 129 s.

[5] ŽÁČEK, Ladislav. *Chemické a technologické procesy úpravy vody*. 1. vyd. Brno: Noel 2000, 1999, 239 s. ISBN 80-860-2022-2.

[6] *Patok: Odvodňování kalů* [online]. [cit. 2014-03-09]. Dostupné z: http://www.patok.cz/odvodnovani_kalu.html#prettyPhoto

[7] GRÜNWALD, Alexander. *Zdravotně inženýrské stavby 40. Úprava vody*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1997, 103 s. ISBN 80-010-1658-7.

[8] BIELA, Renata. *Úprava vody a balneotechnika*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004, 164 s. ISBN 80-214-2563-6.

[9] ORSZULIKOVÁ, Eva. *Provozní řád úpravny vody Ostrava - Nová Ves*. 3. vyd. Ostrava.

[10] *Propagační materiál Ostravských vodáren a kanalizací a.s.* Ostrava, 6 s.

[11] Vítkov - oficiální stránky města: Úpravna vody s reliéfem. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.vitkov.info/turistika/zajimavosti/zajimavosti-v-okoli/kulturni-pamatky/upravna-vody-s-reliefem-257.html

[12] *SmVaK: Produkce pitné vody* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: http://www.smvak.cz/

[13] ORSZULIKOVÁ, Eva. *Interní materiál úpravny vody Ostrava - Nová Ves*. Ostrava, 2013.

[14] *Sborník konference Pitná voda 2010: 10. pokračování konferencí Pitná voda z údolních nádrží: 17.5 - 20. 5. 2010 v Táboře*. Editor Petr Dolejš, Nataša Kalousková. České Budějovice: W, 2010, 441 s. ISBN 978-80-254-6854-8.

[15] Nové technologie pro úpravny vody. [online]. [cit. 2014-05-10]. Dostupné z: http://www.smv.cz/res/data/014/001691.pdf

[16] *Propagační materiál úpravny vody Kroměříž*. Kroměříž, 6 s.

[17] *Interní materiály úpravny vody Nová Ves u Frýdlantu*.

[18] CRITTENDEN, John, et al. Water Treatment: Principles and Design. 2nd Edition. John Wiley and Sons, 2005. 1948 p. ISBN 0-471-11018-3.

SEZNAM TABULEK

Tab. 3.1 Složení vodárenských kalů ze zahušťovací nádrže v $g.l^{-1}$ [1] 12
Tab. 3.2 Složení kalů z odželezování a odmanganování [1] 12
Tab. 3.3 Potřebná plocha kalových polí [1] 17
Tab. 3.4 Způsoby likvidace vodárenských kalů v Německu [1] 26
Tab. 3.5 Možné směry výzkumu ve využití kalů (A = v aplikaci, V = ve výzkumu) [1] 27
Tab. 4.1 Chemické složení surové a upravené vody v roce 2012 (vodní zdroj Nová Ves a Dubí) [10] 29
Tab. 4.2 Parametry lapače písku [9] 37
Tab. 4.3 Parametry odvodňovací plochy kalů (kalové pole) [9] 37
Tab. 4.4 Parametry sací jímky kalů [9] 37
Tab. 4.5 Celková produkce kalů za rok 2012 - 2013 na úpravně vody - Ostrava Nová Ves [13] 38
Tab. 4.6 Parametry usazovacích nádrží [17] 43
Tab. 4.7 Parametry kalových lagun [17] 43
Tab. 4.8 Parametry kalolisu [17] 44
Tab. 5.1 Základní informace o popisovaných úpravnách 57
Tab. 5.2 Přehled kalového hospodářství na popisovaných úpravnách 58

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 2.1 Blokové schéma jednostupňové úpravny vody bez separačního stupně [2] 8
Obr. 2.2 Blokové schéma úpravny vody s jednostupňovou separací [2] 9
Obr. 2.3. Blokové schéma úpravny vody s dvoustupňovou separací [2] 9
Obr. 2.4 Blokové schéma úpravny vody s vícestupňovou úpravou [2] 10
Obr. 3.1 Schéma zahušťovací nádrže [8] 15
Obr. 3.2 Zahušťovací nádrž [2] 15
Obr. 3.3 Schéma kalového pole [8] 18
Obr. 3.4 Kalové pole [zdroj: Ilona Ševčíková] 18
Obr. 3.5 Schéma kalové laguny [8] 19
Obr. 3.6 Napuštěná kalová laguna [1] 20
Obr. 3.7 Kalová laguna po vysušení a vymrznutí [1] 20
Obr. 3.8 Odvodňovací vak [6] 21
Obr. 3.9 Schéma kalolisu [8] 22
Obr. 3.10 Pohled na kalolis [1] 23
Obr. 3.11 Otevřený kalolis po vyprázdnění [1] 23
Obr. 3.12 Schéma pásového lisu [8] 24
Obr. 3.13 Schéma odstředivky [8] 25
Obr. 4.1 Historická fotografie strojovny a kalového rybníka 28
Obr. 4.2 Technologické schéma úpravny vody Ostrava - Nová Ves [9] 30
Obr. 4.3 Sedimentační nádrž - pohled zevnitř na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková] 32
Obr. 4.4 Odkalovací potrubí na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková] 32
Obr. 4.5 Tlakové filtry na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková] 34
Obr. 4.6 Lapák písku na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková] 35
Obr. 4.7 Odvodňovací plocha kalů (kalové pole) na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková] 36
Obr. 4.8 Odkalovací potrubí (za stěnou je sací jímka kalů) na ÚV Ostrava Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková] 36
Obr. 4.9 Sací jímka kalů na ÚV Ostrava - Nová Ves [zdroj: Ilona Ševčíková] 37
Obr. 4.10 Úpravna vody Vítkov - Podhradí [11] 39
Obr. 4.11 Praní filtrů na ÚV v Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková] 40
Obr. 4.12 Usazovací nádrž na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková] 40
Obr. 4.13 Odstředivka na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková] 41
Obr. 4.14 Odtok fugátu z odstředivky na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková] 41

Obr. 4.15 Odstředěný kal na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková] 42
Obr. 4.16 Jedno z kalových polí na ÚV Podhradí [zdroj: Ilona Ševčíková] 42
Obr. 4.17 Otevřené rychlofiltry na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 45
Obr. 4.18 Pravoúhlá usazovací nádrž (na vodu z praní filtrů) na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 45
Obr. 4.19 Dávkování vápna před kalolisováním na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 46
Obr. 4.20 Kalolis na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 46
Obr. 4.21 Detail plachetek kalolisu na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] .. 47
Obr. 4.22 Kalová jímka (odtok vody z kalolisu) na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 47
Obr. 4.23 Kalové laguny na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 48
Obr. 4.24 Kalová laguna na ÚV Nová ves u Frýdlantu (částečně vysušený kal) [zdroj: Ilona Ševčíková] 48
Obr. 4.25 Odtok vody z kalové laguny do recipientu na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 49
Obr. 4.26 Vysušený kal na ÚV Nová Ves u Frýdlantu [zdroj: Ilona Ševčíková] 49
Obr. 4.27 Dvojice kalových polí - levé vypuštěné, pravé po napuštění [1] 50
Obr. 4.28 Flotační zařízení [15] 52
Obr. 4.29 Usazovací nádrž na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková] 54
Obr. 4.30 Otevřené rychlofiltry na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková] 54
Obr. 4.31 Odsazovací nádrže na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková] 55
Obr. 4.32 Pohled do odsazovací nádrže na ÚV Kroměříž [zdroj: Ilona Ševčíková] 55
Obr. 4.33 Technologické schéma úpravny vody Kroměříž [16] 56
Obr. 5.1 Mapa úpraven vody obsažených v této práci 57

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

pH ..... záporný logaritmus molární koncentrace vodíkových iontů [-]

např. .. například

č. ..... číslo

Sb. .... sbírky

odst. .. odstavec

JO ..... jímací objekt

P ..... provzdušnění vody

OJ ..... odlučovače jemné

OH .... odlučovače hrubé

K ..... koagulace

A ..... akumulace

HZ .... hygienické zabezpečení

CH H chemické hospodářství

KH ... kalové hospodářství

CO_2 .... oxid uhličitý

H_2S ... sirovodík

Rn ..... radon

ÚV .... úpravna vody

DAF .. dissolved air flotation

VDJ .. vodojem

DN ... jmenovitá světlost

ČOV.. čistírna odpadních vod

PVC .. polyvinilchlorid

NL .... nerozpuštěné látky

CHSK ... chemická spotřeba kyslíku

Ovak a.s. ..... Ostravské vodárny a kanalizace, akciová společnost

SmVaK Ostrava a.s. ..... Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava, akciová společnost

SČVK a.s. ..... Severočeské vodovody a kanalizace, akciová společnost

VaK Kroměříž a.s. ..... Vodovody a kanalizace Kroměříž, akciová společnost

SUMMARY

This bachelor thesis deals with water treatment sludge. The thesis tells us the story of sludges lifecycle, from its creation through all treatments to final solution which changes sludge into something else, like waste, energy or manure. The thesis consists of theoretical and practical part. Theoretical part analyses technology of sludge treatment. More important part is the practical one, which compares six different water treatment plants in the Czech Republic and their sludge managements.

In each one of them they use different technology of water treatment what leads to different slugde management. One of the most important features of water treatment plant is a kind of the water source. For example some of underground water sources runned by Ovak company, don´t use any separation stages in treatment so they do not produce any sludge.

The sludge is mostly separated on centrifugal or sedimentational separators. I´ve visited 4 water treatment plants and two of them treat sludge in the nearest wastewater treatment plants. A new technology used in sludge management is dissolved air flotation which is used by only one water treatment plant in the Czech Republic - Souš.

The most popular way how to get rid of sludge is landfilling, but pressure of society leads reducing, recycling or reusing waste materials. Good example of using sludge is Ostrava - Nová Ves, water treatmant plant, which donates its sludge to near composting plant, where it´s used for improving quality of compost.