

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ A ENVIRONMENTÁLNÍHO
MODELOVÁNÍ



**VODÁRENSTVÍ – OD HISTORIE AŽ PO SOUČASNÉ
TECHNOLOGIE ÚPRAVY PITNÉ VODY**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Kuráž

Bakalant: Eva Rejlová

2010



Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra: vodního hospodářství a environmentálního modelování

Fakulta životního prostředí

Školní rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro: **Eva Rejlová**

obor: DUTSS

Název tématu: Vodárenství – od historie až po současné technologie úpravy pitné vody

Název tématu v anglickém jazyce: Water-Supply Engineering – from its History till the Recent Drinking Water Treatment Technologies

Zásady pro vypracování:

Studium vybrané tuzemské a zahraniční literatury

Studium příslušné normy ČSN 755201 a ČSN 750150

Příkladová studie – popis úpravní pitné vody v místě bydliště diplomantky (Hradec Králové)

Historie vodárenství ve starém Římě

Historie vodárenství na území ČR

Klasické způsoby úpravy vody

Membránové filtry



Rozsah grafických prací: 0

Rozsah průvodní zprávy: cca. 35 stran

Seznam odborné literatury:

- Grunwald, A., Macek, L., Šrytr, P.: Vodárenství TK 11, Praha, 1998
- ČSN 750150
- ČSN 755201
- Vědecký časopis Vodní hospodářství
- Juuti, S., Katko S., T., Vuorinen, S., H., Environmental History of Water: Global Views on Community Water Supply and Sanitation, IWA Publishing, London, 2007

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Kuráž

Konzultant bakalářské práce: Ing. Michal Kuráž

Datum zadání bakalářské práce: 1.10.2009

Termín odevzdání bakalářské práce: 30.4. 2010

L.S.

Vedoucí katedry



Děkan

V Praze dne

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením Ing. Michala Kuráže. Další informace mi poskytl Ing. Pavel Král, Ph.D., a že jsem uvedla všechny literární prameny, ze kterých jsem čerpala.

V Praze 19.4.2010

.....

Eva Rejlová

Poděkování

Touto cestou bych ráda poděkovala vedoucímu mé bakalářské práce Ing. Michalu Kurážovi, za odborné vedení, vstřícný přístup a trpělivost při psaní této práce. Dále pak panu Ing. Pavlu Královi, Ph.D., za poskytnutí technických informací.

Praze 19.4.2010

.....
Eva Rejlová

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá získáváním a úpravou vody pro pitné účely. Nejdříve je věnována pozornost historii vodárenství. Práce má stručně nastínit historický vývoj dopravy vody ve starém Římě a na území České republiky, se zaměřením na pražské vodárenství. Dále porovnání dřívější a současné spotřeby vody. Vzhledem k tomu, že obor vodárenství je velmi široké téma, tak je práce zaměřena převážně na jímání a odběr surové vody pro úpravu na vodu pitnou. Tato kapitola popisuje vhodné vodní zdroje, odlišnosti v přirozeném složení podzemních a povrchových vod, způsoby jímání a odběr vody. Nedílnou součástí je také ochrana zdrojů vody podle platného právního předpisu. Kromě přirozených látek jsou ve vodě obsaženy i různé nečistoty z lidské činnosti, a proto jsou zde vyjmenovány zdroje znečišťování a popsána různá hlediska hodnocení a stanovení ukazatelů jakosti vody. Poslední část se soustředí na základní technologické stupně úpravy vody, ale i zatím méně využívaný proces membránové filtrace. Nakonec je uveden konkrétní příklad, a to princip úpravy vody v královéhradecké vodárně.

Klíčová slova: pitná voda, zdroje vody, ochrana , jakost, úprava vody.

Abstract

The goal of this thesis is to bring a description of processes related to the drinking water abstraction, treatment and distribution. First attention paid to the history of the water supply. The work is to briefly outlines the historical development of water transportation in ancient Rome and the Czech Republic, with a focus on Prague's water supply. Furthermore, comparison of the past and the current water consumption. As the field of the water supply is very wide, the work is primarily focused on collecting and sampling of raw water for treatment of drinking water. This work describes the available water resources, natural variations in the groundwater and surface water, collecting methods and water uptake. Is also an integral part of water resource protection under existing legislation. The water is by its nature contaminated by various sources of pollution of natural and anthropogenic origin. And therefore various criteria and sources of the pollution are listed. The last chapter focuses on the basic level of water treatment technology, and the membrane filtration process. Finally a particular example is given namely the principle of water treatment in waterworks Hradec Králové.

Key words: drinking water, water resources, protection, quality, water treatment.

Obsah

1. ÚVOD	8
2. CÍLE PRÁCE	9
3. HISTORIE ZÁSOBOVÁNÍ PITNOU VODOU	9
3.1 ŘÍMSKÉ VODOVODY.....	10
3.2 VÝVOJ VODÁRENSTVÍ V ČECHÁCH	12
3.2.1 Historie pražského vodovodu	13
3.3 VÝVOJ SPOTŘEBY VODY	14
4. VODÁRENSTVÍ	15
4.1 VODNÍ ZDROJE, JEJICH JÍMÁNÍ A ODBĚR VODY	15
4.1.1 Podzemní vody.....	16
4.1.2 Povrchové vody a jejich odběr	19
4.1.3 Získávání vody infiltrací	22
4.2 ZDROJE VODY PRO PRAHU	24
4.3 OCHRANA VODNÍCH ZDROJŮ.....	25
4.4 ZPŮSOBY ZNEČIŠŤOVÁNÍ VODNÍCH ZDROJŮ	26
4.4.1 Hlediska posuzování vody	27
4.4.1.1 Fyzikální hodnocení.....	27
4.4.1.2 Chemické hodnocení	28
4.4.1.3 Radioaktivní hodnocení.....	30
4.4.1.4 Biologické a mikrobiologické hodnocení.....	31
4.5 POŽADAVKY NA JAKOST PITNÉ VODY	31
4.6 ZÁKLADNÍ TECHNOLOGICKÉ STUPNĚ ÚPRAVY PITNÉ VODY.....	32
4.6.1 Předčištění surové vody.....	34
4.6.2 Čiření (koagulace).....	35
4.6.3 Filtrace	38
4.6.4 Odželezování a odmanganování.....	42
4.6.5 Odkyselování vody.....	44
4.6.6 Adsorpce	45
4.6.7 Dezinfekce a oxidace	46
4.6.8 Membránové procesy.....	49

5.	ÚPRAVA PITNÉ VODY V HRADCI KRÁLOVÉ	51
6.	DISKUSE A ZÁVĚR	53
7.	POUŽITÁ LITERATURA	54
8.	PŘÍLOHY	1

1. Úvod

Základní podmínkou života je nejrozšířenější látka na Zemi – **voda**. Potřebujeme ji k hospodářskému i civilizačnímu vývoji. Skládá se z ní veškerá živá hmota. Se zvyšováním počtu obyvatel a vzrůstu jejich životní úrovně nastává rozpor ve vztahu voda – společnost. Rostou požadavky na její kvalitu a množství, na straně druhé je růst znečištění vodních zdrojů. Hledání vyváženého vztahu mezi oběma protiklady je důležitý předpoklad trvale udržitelného života.

Protože čistá, hygienicky nezávadná voda se v přírodě nevyskytuje v dostatečném množství pro zásobení obyvatelstva, tak byla potřeba vytvořit systém na úpravu vody horší jakosti. Je to odběr z přirozeného oběhu, úprava, transport, využití, odvádění a následné čištění odpadních vod.

Na čistotu vody jsou kladeny různé nároky, proto nedílnou součástí vodárenství jsou vědeckotechnické obory zabývající se stavbou a provozem objektů a zařízení na úpravu, akumulaci, dopravu, distribuci a v neposlední řadě na její ochranu.

Hlavní zdroje zásobování obyvatelstva vodou jsou vody podzemní a vody povrchové. Obě potřebují v menší či větší míře upravovat.

Podzemní voda patří k nejkvalitnějším zdrojům, avšak na území ČR je jí nedostatek. Touto vodou lze proto zásobovat jen menší průmyslové podniky a menší sídliště. Průchodem horninami, půdou a rozpouštěním nevhodných látek mohou nabývat vlastností, které nejsou vždy příznivé. Jedná se především o látky anorganického původu.

Povrchová voda slouží pro hromadné zásobování obyvatelstva. Ta bývá znečištěná hlavně splavenými látkami a odpadními vodami. Je proto třeba dbát na její kvalitu. Úprava povrchových vod obecně vyžaduje náročnější technologická opatření než v případě vod podzemních. Klasické způsoby úpravy navrhované na odstranění organických látek koloidního charakteru už proto nestačí. Je třeba stále modernizovat a doplňovat o další stupně stávající linky. Ty bývají založeny na principu oxidace, sorpce nebo také na biochemickém rozkladu. Tradičně používaný chlor se nahrazuje jinými čidly, voda se upravuje UV zářením nebo membránovými procesy.

Tím se bojuje proti různým infekčním nemocem, které dříve a v méně vyspělých zemích i dnes připravují o život tisíce lidí.

Každé odvětví si žádá vodu s různými vlastnostmi, které jsou dané platnými normami.

2. Cíle práce

Tato práce je zaměřená především na způsoby získávání vody, z jakých zdrojů a odlišnosti v chemickém složení jednotlivých zdrojů. Popisuje z jakých hledisek se posuzuje kvalita vody, po stránce fyzikální, chemické, radioaktivní, biologické a mikrobiologické. Upozorňuje, že vodu jako zdroj nevyčerpatelný, avšak poškoditelný je nutné chránit. Jaké požadavky musí splňovat pitná voda, podle platných právních předpisů. Tyto předpisy stanovují limity jednotlivých ukazatelů jakosti. Nakonec jsou vybrány různé typy úprav pitné vody v závislosti na její kvalitě se zaměřením na konkrétní úpravnu vody.

- Historie zásobování pitnou vodou (starý Řím a území ČR, zaměřené na pražské vodovody)
- Vhodné zdroje vody, jejich chemické složení a způsoby získávání
- Současné vodní zdroje pro zásobování hlavního města Praha
- Z jakých hledisek se posuzuje jakost vody
- Zdroje antropogenního znečištění vod
- Popis vybraných technologických procesů
- Zdroje vody pro město Hradec Králové a princip úpravy pitné vody

3. Historie zásobování pitnou vodou

Historie lidstva je těsně spjata s vodou. Zpočátku docházelo k zakládání lidských obydlí podél vodních toků.

K prvotnímu zásobování vodou sloužily zejména studny a jímky. Nebylo-li dostatečné množství vody k dispozici, bylo nutné ji přivést z míst vzdálenějších (Jásek a kol. 2000). K tomu sloužily přivaděče vody.

Nejstarším známým přivaděčem vody byl gravitační vodovod poblíž Bavianu v Asýrii, postavený asi roku 2000 př.n.l.. Kolem roku 1200 př.n.l. byly v Číně vodovody z bambusu, na Krétě a v Mykénách z pálené hlíny (Jásek a kol. 1997).

3.1 Římské vodovody

Samostatnou kapitolu tvoří doprava pitné vody ve starém Římě, kde vznikla rozsáhlá vodovodní síť.

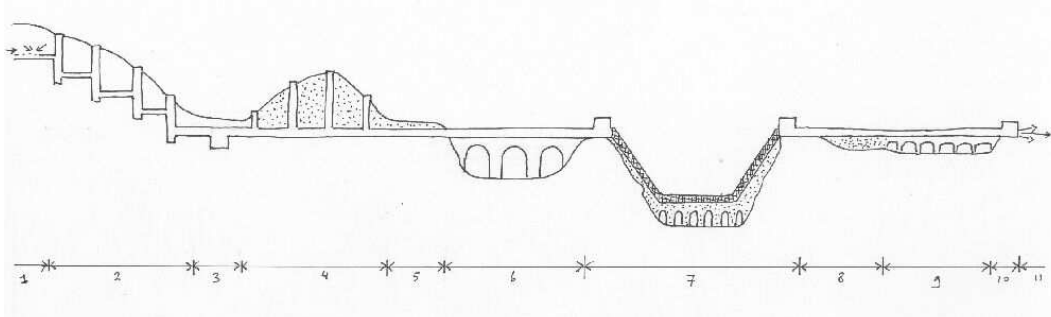
Zpočátku Římané využívali pitnou vodu z řeky Tibery, místních pramenů a z mělkých studní. Stále více znečištěná voda z těchto zdrojů začala být nevhodná a nedostačující pro potřeby rostoucí populace, a proto bylo nezbytné přivést vodu z míst vzdálenějších. Tak vznikl systém zásobování obyvatel pomocí akvaduktů (www.waterhistory.org).

Akvadukt – z latinského slova *aquaducere*, kde *aqua* znamená „voda“ a *ducere* „vést“. Jedná se o umělý (často mostní) vodní kanál, vybudovaný pro to, aby zajišťoval přívod vody do místa její potřeby či spotřeby (<http://cs.wikipedia.org/wiki/Akvadukt>)

První římský akvadukt byl vystavěn roku 312 př.n.l. za cenzury Appia Claudia Caeca a byl pojmenován *Aqua Appia* (jeho délka byla 16,6 km). Voda proudila do Říma v kamenném korytě 1,6 m vysokém a 80 cm širokém. Protože jeho vody brzy nestačily, začalo se po čtyřiceti letech se stavbou dalšího vodovodu (Lisový 2006). Takto se pokračovalo, až do 6. století, kdy byl Řím zásobován vodou z devatenácti akvaduktů s celkovou délkou 600 km (Juuti a kol. 2007)

Konstrukci vodovodu Vitruvius zmiňuje ve své osmé knize (Vitruvius 2001): Vodní vedení se buduje trojím způsobem: strouhami ve vyzděných kanálech, olověnými rourami nebo trubkami z pálené hlíny. Voda byla vedena štolami vyhloubenými pod zemí s ventilačními šachtami, které zabraňovaly tvorbě vzduchových bublin. Voda byla sváděna do kalových komor „*piscina limaria*“, kde docházelo ke zpomalení toku vody a k usazení kalu. Pročištěná voda se vlévala do potrubí samostatného vodovodu. Potrubí byla spojována kamennými spojkami. Přes údolí byly stavěny převody „*břicha*“, které umírňovaly délku spádu, aby voda nenabrala příliš velkou rychlost. Přes hluboká údolí se stavěly akvadukty. Voda byla ve městě sváděna do sběrače „*castellum*“ a odtud vedlo trojí potrubí k vodojemům.

Střední vodojem zásoboval vodou kašny a fontány, druhý veřejné lázně a třetí soukromé domy.



Obr. č. 1 Schéma římského vodovodu

(<http://www.romanaqueducts.info/introduction/index.html>)

**1. zdroj, 2. štola , 3. usazovací nádrž, 4. štola s ventilačními šachtami, 5. krytý kanál ,
6. akvadukt, 7. shybka (převody), 8. podezdívka**

Největším akvaduktem a v současnosti nejnavštěvovanější památka v jižní Francii, je akvadukt z doby Římské říše Pont du Gard. Vodovod přiváděl pitnou vodu z pramene Eure a z horských nádrží v Les Garrigues do dnešního Nimes, vzdáleného asi 48 km od pramene. Třípatrový most přes řeku Gard je vysoký 49 m a dlouhý 275 m. Spodní dvě patra nesou patro třetí, vlastní vodovod. Šířka mostu je v patrech odstupňována. První patro je široké 6 m a třetí patro s kanálem je široké pouze 3 m. Kanál vodovodu má na stěnách silnou omítku a ve dně vrstvu mramorového písku, který vodu trvale čistil (Kučera 2009).

Dalším příkladem z doby Římské říše je akvadukt ve španělské Segovii. Byl postaven ve 2. století a v provozu byl ještě na začátku 20. století. Tento dvoupatrový most dlouhý 848 m a vysoký 34 m, vede středem města (Kučera 2009).

Starověk znamenal mnohem vyšší úroveň vodního hospodářství než později ve středověku. Evropský středověk znamenal úpadek ve vodárenství. Bylo to způsobeno především vlivem církevních dogmat, kdy bylo na péči o tělo, hygienu a ochranu zdraví pohlíženo jako na zbytečnou a hříšnou záležitost (Plecháč 1999). Římské vodovody a lázně byly zničeny. Místo kanalizace sloužily jako sběrače odpadů otevřené příkopy na ulicích, které ústily přímo do vodních toků. Proto byla voda

odebíraná z řek či studní hlavním důvodem vzniku infekčních onemocnění, na které umírali milióny lidí (Plecháč 1989). I v současné době, především v rozvojových zemích, umírají lidé na nemoci způsobené znečištěnou vodou.

3.2 Vývoj vodárenství v Čechách

Dostatek vody rozhodoval o rozvoji osídlení krajiny a české země nebyly výjimkou. Zpočátku se voda roznášela či rozvážela z řek a potoků (Jásek a kol. 2000).

Vodovody se začaly budovat až o mnoho let později. První gravitační přivaděče se objevily až ve 12. století. V té době byl postaven vodovod pro Strahovský klášter a Vyšehrad, později pro Zbraslavský klášter a Pražský hrad. Tyto vodovody byly soukromé a veřejnosti nesloužily (Jásek 1997).

Za počátek zásobování obyvatelstva vodou z veřejných vodovodů lze považovat polovinu 14. století, kdy byl postaven vodovod Nového Města pražského (Jásek a kol. 2000).

Období renesance se vyznačuje rozvojem vodárenství i vodárenského stavitelství. Vznikaly nové vodní věže a dokonalejší gravitační vodovody (Jásek a kol. 2000).

19. století bylo pro vodárenství českých zemí obdobím stagnace. Až konec tohoto století se stal obdobím vzniku většiny moderních vodárenských systémů, z nichž velká část funguje dodnes (Jásek 1997).

Výstavba nových vodovodů byla zpomalena hospodářskou krizí třicátých let 20. století a pak prakticky zastavena válkou.

Nové pojetí rozvoje vodovodů přichází se Státním vodohospodářským plánem (SVP), zpracovaným v letech první pětiletky 1949 – 1953. Od místních vodovodů, zásobujících zpravidla jedno město nebo obec, se přechází k vodovodům skupinovým pro několik měst a obcí, pak k vodovodům oblastním pro celé okresy, až nakonec v 70. letech dvacátého století k budování velkých vodárenských soustav. Rozvoj veřejných vodovodů je spjat zejména od roku 1960 s rozvojem komplexní bytové výstavby (Plecháč 1989).

3.2.1 Historie pražského vodovodu

Od 12. století se jednalo o formu otevřených koryt nebo vodovodních řadů z různých materiálů (dřevo, kámen, pálená hlína, olovo). Tato díla byla gravitační bez čerpací techniky a pouze soukromého charakteru. Teprve nedostatek vody v některých částech Nového Města pražského vedl k budování veřejných vodovodů. Novoměstský vodovod přiváděl vodu z pramenů poblíž osady Na rybníčku ke kašnám na dnešním Karlově a Václavském náměstí (Broncová 2006).

Doba renesance znamenala rozmach ve vodárenství. Vznikaly vodní věže, byl ustálen vodohospodářský systém a stanoveny technologie kladení potrubí i způsob odběru vody z kašen či nádrží. Postupně byly založeny čtyři vltavské vodárny - Staroměstská, Petržilkovská, Šítkovská a Novomlýnská. Tento způsob zásobování vodou sloužil až do počátku 19. století. Samozřejmě vyžadoval doplňování pro potřeby rozrůstajícího se města (Jásek 2000). Až třicátá léta 19. století si vyžádala rekonstrukci vodárenských sítí, zařízení a zdrojů. Dřevěná potrubí se vyměňovala za litinová, hledaly se nové zdroje (Broncová 2006). V padesátých letech devatenáctého století proběhla výstavba Žofínské vodárny, která využívala pro pohon čerpadel parní energii. V osmdesátých letech devatenáctého století byla nutná rekonstrukce stávajících vltavských vodáren, z důvodu zvýšení výkonu a částečně také kvality vody. V roce 1885 proběhla výstavba první novodobé vodárny na parní pohon v Podolí, která čerpala spodní vodu přirozeně filtrovanou ze tří studní vyhloubených na Schwarzenberském ostrově, mísená s vodou vltavskou (Jásek 2000).

Stále se zhoršující kvalita a rostoucí nároky na množství pitné vody vedly k hledání nového zdroje, který by vyřešil na delší dobu kvalitativní i kvantitativní zásobování města pitnou vodou. V roce 1914 vznikla nová éra pražského vodárenství, zahájením provozu vodárny v Káraném na soutoku Labe a Jizery. Vodárna využívá zdroje velmi kvalitní podzemní vody, uměle infiltrované jizerské vody a artéské vody (Broncová 2006). V současné době se káránská voda podílí na zásobování obyvatel Prahy asi 25 % (<http://www.pvk.cz/upravny-vody.html>).

O patnáct let později byla uvedena do provozu nová úpravná vody v Podolí, založená na provzdušňování a vícestupňové filtraci. Technologie úpravný se postupně doplňovala o další stupně. Vzhledem k rostoucí spotřebě pitné vody v padesátých letech byla nutná rekonstrukce, která znamenala změnu technologie

úpravy vody a uspořádání úpravny. Poslední náročná rekonstrukce zahájená v roce 1992 byla rozdělena do tří etap. První etapa znamenala přestavbu pískových filtrů na filtry bez mezidna, výstavbu nových čerpacích stanic. Ve druhé etapě došlo k rekonstrukci chemického hospodářství a třetí etapa řešila rekonstrukci kalového hospodářství, odpadních potrubí v prostorách úpravny a dalších provozních objektů (Broncová 2006). V současnosti slouží jako rezervní zdroj při poruchách ve vodárnách v Káraném a Želivce.

Poslední a zároveň největší úpravnou vody je Želivka, uvedená do provozu v roce 1972. Voda odebíraná z vodárenské nádrže Švihov je výtlačnými řady dopravována ke třem samostatným úpravárenským linkám. Upravená voda je odváděna štolovým přivaděčem dlouhým 52 km k vodojemu Jesenice v Praze. Podíl Želivky na zásobování Prahy pitnou vodou je asi 74 % (<http://www.pvk.cz/upravny-vody.html>).

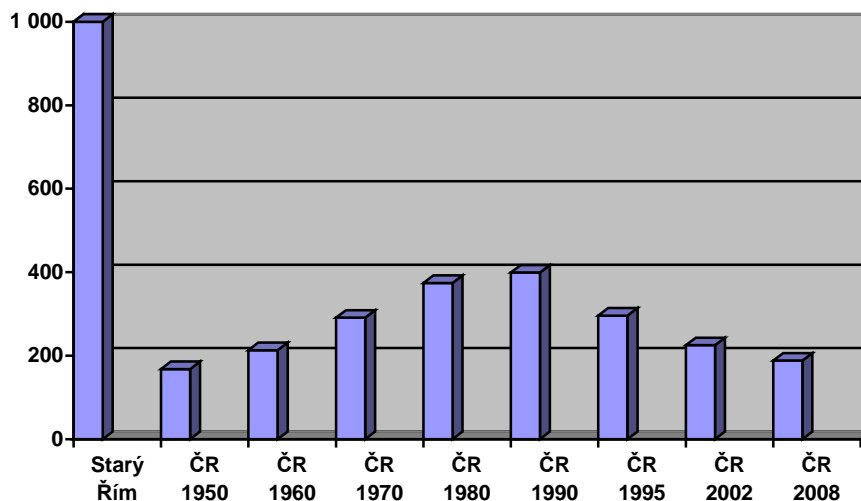
3.3 Vývoj spotřeby vody

Potřebu vody ve starém Římě nelze přesně určit, vzhledem k tomu, že neexistovaly žádné přesné záznamy o počtu obyvatel a rozdílné bylo i členění mezi veřejnou spotřebou a malým počtem soukromých uživatelů.

Bruun (1991) preferuje počet 600 l/os/den. Tento počet je mnohem nižší než odhady např., Cf. Homo 1951, který kalkuloval s minimem 600 – 900 l/os/den, Hansen 1986 a Coarelli 1989 zmiňují počet 1 000 l/os/den, zatímco Adam 1990 udává 1 100 l/os/den.

Dnešní potřebu vody nelze srovnávat se spotřebou v antickém Římě, protože voda byla dodávána v neustálém průtoku a ne jako moderní systémy, které regulují průtok vody kohoutky apod. (<http://www.waterhistory.org>).

Spotřeba vody v Čechách od padesátých let až do devadesátých let 20. století významně stoupala. Teprve po roce 1990 výrazně klesá. Nárůst odběrů pitné vody z veřejných vodovodů byl způsoben zejména růstem počtu a podílu obyvatel zásobovaných z veřejných vodovodů, zvyšováním kvality bytového fondu a jeho vybavenosti, procesem urbanizace, kdy pokračuje soustřeďování lidí do měst s vyšší občanskou vybaveností a vývojem odběrů pitné vody pro průmysl (Plecháč 1989).



Obr. č. 2 Vývoj specifické potřeby vody celkem v l/os/den (Bruun 1991; Plecháč 1989; Plecháč 1999; <http://eagri.cz/public/eagri/voda/>)

Celková potřeba pitné vody se zpravidla odvozuje podle počtu osob, vybavenosti bytů a ukazatelů stanovených ve směrnici č. 9/1973 ú.v., pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů (Plecháč 1989).

4. Vodárenství

ČSN 75 0150 definuje vodárenství jako technický obor, který se zabývá jímáním, odběrem, úpravou, akumulací, dopravou a rozvodem vody pro potřeby obyvatelstva, průmyslu a zemědělství.

4.1 Vodní zdroje, jejich jímání a odběr vody

Pod pojmem vodní zdroj rozumíme zdroj povrchové nebo podzemní vody, které jsou nebo mohou být užívány pro různé potřeby společnosti.

ČSN 75 0150 rozlišuje pojmy jímání a odběr vody. Jímání vody znamená odebírání podzemní vody jímacím zařízením a pojem odběr vody je odebírání vody z povrchových vodních útvarů odběrným zařízením.

4.1.1 Podzemní vody

Jak stanovuje zákon č. 254/2001 Sb. „zákon o vodách“, jsou podzemními vodami, vody přirozeně se vyskytující pod zemským povrchem v pásmu nasycení v přímém styku s horninami; za podzemní vody se považují též vody protékající drenážními systémy a vody ve studních.

Druhy podzemních vod pro vodárenské využívání lze rozdělit do následujících skupin (Štícha a kol. 1969):

- 1.) Pravé podzemní vody: do této skupiny patří vody freatické (s volnou hladinou) a artéské vody (s napjatou hladinou).
- 2.) Voda puklinová (štěrbínová), která proudí v puklinách, trhlinách a zlomech
- 3.) Voda v říčních náplavech (břehová): pohybuje se v propustných nánosech podél vodních toků. Bývá směsí vod pravých podzemních s vodami infiltrovanými z vodního toku.

Využívání zdrojů podzemních vod v ČR odpovídá v současné době asi 70 – 75 % využitelného množství. Z toho je většina (90 %) pro vodárenské účely (Vostrčil a kol. 2005).

Na chemickém složení podzemních vod se podílí mnoho faktorů, mezi které patří působení srážkových a povrchových vod, půdní a horninové prostředí a podzemní atmosféra, které ovlivňují jejich kvalitu a samozřejmě i kvantitu. Při průchodu půdním a horninovým prostředím dochází k chemickému působení, kdy se voda obohacuje o minerální látky především o vápník, hořčík, sodík, draslík, křemík a hydrogenuhličitany. Dále huminiovými látkami obsaženými v půdě. Srážkové a povrchové vody jsou zase komponenty různých škodlivin z antropogenních činností. Mají vliv zejména na složení mělkých podzemních vod ve svrchních zvodněných vrstvách.

Podzemní vody se liší od vod srážkových a povrchových vyššími koncentracemi CO₂, vyššími koncentracemi kovů, jde hlavně o Fe a Mn. Mají stálější teplotu, která se pohybuje kolem hodnoty 10 °C a minimum nerozpuštěných organických látek. Klasifikace probíhá na základě převládajících iontů a jejich kombinací. V ČR podle hydrochemického výzkumu dominují vody hydrogenuhličitano–vápenaté a hydrogenuhličitano–síranové–vápenaté (Pitter 1999)

Jímání podzemních vod lze vertikálními nebo horizontálními jímadly. Volba způsobu závisí na vydatnosti zdroje a proto se musí provést hydrogeologický průzkum, kterým získáme též znalosti o jeho vlastnostech. Má se jím stanovit, podle geologické stavby zvodněných vrstev a podle charakteru sběrného území v souladu se srážkovými poměry možnost, vytvořit zásoby podzemní vody a hospodárně jich využít k vodárenským účelům (Roth 1953). Na základě čerpacích zkoušek se stanoví také odběr vody (l/s).

Nejčastěji se používá vertikálních jímacích zařízení. Horizontální jímání je vhodné v případech, je-li nepropustné podloží v hloubce menší než 5 m a mocnost zvodněné vrstvy do 1 m (Kroupa 1967)

Vertikální jímací objekty, neboli studny rozdělujeme na :

a) Studny trubkové (jehlové) – jsou nejjednodušším typem pro jímání malých množství vody (do 1 l/s). Jejich použití je omezeno pro provizorní zásobování nebo při hydrogeologickém průzkumu k odběru vzorků. (Strnadová , Janda 1999)

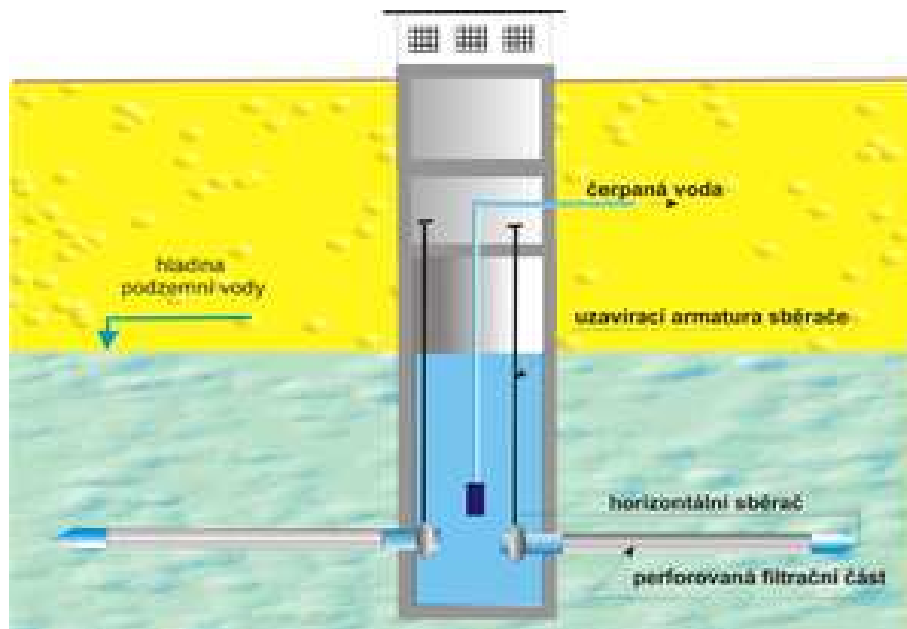
b) Trubní studny (vrtané) – nejpoužívanější typ vhodný pro jímání vody z větších hloubek. Jejich výhodou je, že se dají vybudovat v jakýchkoli horninách. Studny se hloubí vrtáním. Stěny vrtu se zajišťují ocelovými pažnicemi. Jednotlivé pažnice se sešroubovávají (Kroupa 1967). Vystrojení studny se provádí tak, že do ukončeného zapaženého vrtu se spustí trouby (zárubnice) a vybuduje se filtrační a nad filtrační část studny, Potom následuje vytahování pažnic a utěsnění horní části prostoru mezi nadfiltrační rourou a stěnami vrtu. Nakonec se vybuduje zhlaví studny (Grünwald a kol. 1998).

Části studny jsou:

- **Kalník** – vkládá se na dno studny. Slouží k sedimentaci a shromažďování částic
- **Filtrační část** – tvoří nejčastěji perforovaná ocelová trouba obklopená obsypem, který je nejčastěji tvořen přírodním tříděným materiálem
- **Zhlaví studny** – je horní část studny. Zabraňuje poškození vrtu. V případě potřeby umožňuje montáž měřících zařízení
- **Obetonování studny** – se provádí jako opatření proti sedání studny a proti zatékání nečistot z povrchu. Hloubka obetonování má být větší, než je zámrzna hloubka. (Grünwald a kol. 1998)

c) Šachtová studna – podle způsobu výstavby se rozděluje na kopanou nebo spouštěnou. Vzhledem k velkému akumulacnímu prostoru je vhodná většinou tam, kde je nerovnoměrný odběr vody a pro jímání nevelkého množství vody pro jednotlivé spotřebitele (Strnadová, Janda 1999). Používají se do menších hloubek. Jsou výhodné v místech, kde by velká vtoková rychlost podzemní vody byla příčinou vplavování písku do zárubnice. V tomto případě se zmírní vtoková rychlost zvětšením plochy pláště (Roth 1953)

d) Radiální studny – jedná se o kombinaci vertikálního a horizontálního způsobu jímání podzemní vody.. Jde v podstatě o šachtové studny, z nichž jsou do zvodněné vrstvy zaháněny radiálně trubní studny. Jejich výhodou je, že umožňují jímat velké množství vody (Roth 1953)



Obr. č. 3 Schéma studny s horizontálními sběrači (<http://cs.wikipedia.org/wiki/studna>)

Horizontální jímací zařízení se podle stavební úpravy dělí na:

a) Jímací zářezy – uplatňují se především u slabě propustných zvodněných vrstev. Většinou se budují kryté jímací zářezy, protože se tak zabrání jejich znečišťování z povrchové vody. Zářezy se hloubí až na nepropustné podloží a probíhají kolmo na proudnici podzemní vody. Jímání se provádí kameninovými troubami, které se ukládají na nepropustné dno (Strnadová, Janda 1999). Trouby jsou v dolní polovině

plnostěnné a v horní polovině perforované. Potrubí se ukládá v takovém spádu, aby průtočná rychlost nepoklesla pod 0,5 m /s, jinak by mohlo docházet

k usazování částic v potrubí (Kroupa 1967). Položené potrubí se obkládá plochým lomovým kamenem a obsypává štěrkopískem nebo štěrkem do výšky minimálně 60 cm. Na štěrkovou vrstvu se položí betonová deska, která má zabraňovat průsaku znečištěné vody. Deska má žlabovitý povrch, na kterém se uloží ještě 15 cm silná vrstva jílovitého těsnění. Na této vrstvě je umístěna drenáž ústící do odpadu. Nakonec se zářez zasype vytěženým materiálem s pečlivým upěchováním a zatravněním (Roth 1953). Jímací zářezy ústí do sběrné jímky, odkud se voda čerpá na úpravnu vody. Pro kontrolu drénů jímacích zářezů se budují po cca 50 m a v jeho lomech kontrolní šachty (Grünwald a kol. 1998).

b) Galerie - vhodné pro větší množství vody. Jsou to objekty větších rozměrů, budované v otevřených výkopech nebo hornickým způsobem. Tvoří je štoly ústící do šachtové studny. Voda stéká do svodných žlabů ve štole nebo puklinami ve stěnách (Sobota 2006).

4.1.2 Povrchové vody a jejich odběr

Podle ČSN 75 5201 je návrhovým zdrojem vody pro úpravu na vodu pitnou zpravidla vodárenský tok nebo vodárenská nádrž.

Povrchové vody mají ve srovnání s vodou podzemní obvykle vyšší koncentrace sloučenin dusíku a fosforu, organických látek, vyšší proměnlivou teplotu, vyšší koncentrace kyslíku a naopak nízkou koncentraci CO₂, hydrolyzujících kovů - především železo a mangan, menší mineralizaci. Rozdílné je i zastoupení mikroorganismů, které je povrchových vod výrazně vyšší (Strnadová, Janda 1999). Celkově lze říci, že chemická rozmanitost je u většiny povrchových vod menší než u vod podzemních, výjimku tvoří bezodtoková jezera.

Složení povrchových vod je ovlivněno skladbou podloží a složením dnových sedimentů, hydrologicko–klimatickými poměry (srážkovými, teplotními, ročním obdobím), půdně–botanickými poměry (zalesněním, druhem půd, aj.), antropogenní činností (průmyslem, zemědělstvím, komunálními odpady), příronem podzemních vod (Pitter 1999). Hodnota pH neznečištěných vod se většinou pohybuje v neutrální až slabě alkalické oblasti, výjimku tvoří vody stojaté. Změny ve složení tekoucích

povrchových vod jsou způsobeny převážně hydrologickými a klimatickými poměry. Dlouhodobější změny ve složení vod bývají zapříčiněny většinou antropogenními činnostmi. Velký vliv na jakost povrchových vod má vypouštění odpadních vod do recipientů. Nařízení vlády č. 61/2003 Sb. stanovuje ukazatele a hodnoty přípustného znečištění povrchových vod. Kromě těchto hodnot ukazatelů se používá ještě další klasifikační systém, podle ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. Tato norma je základem hodnocení výsledků kontroly jakosti v tekoucích povrchových vodách z obecného ekologického hlediska. Tekoucí povrchové vody se člení do pěti tříd pomocí soustavy mezních hodnot charakteristických ukazatelů.

Tab. č. 1 Třídy jakosti povrchových vod (ČSN 75 7221)

I. třída	Voda neznečištěná
II. třída	Voda mírně znečištěná
III. třída	Voda znečištěná
IV. třída	Voda silně znečištěná
V. třída	Voda velmi silně znečištěná

Zvláštní pozornost vyžadují vody stojaté, ve kterých dochází v důsledku časových změn k vertikální stratifikaci (zonaci) – rozvrstvení vody do jednotlivých vrstev s různou kvalitou. Což zásadně ovlivňuje způsob odběru vody pro vodárenské účely. Velkým problémem je eutrofizace a acidifikace nádrží a jezer (Pitter 1999).

Odběr povrchových vod se dá obecně rozdělit na odběr z tekoucích nebo stojatých vod. Podobně jako u podzemní vody je třeba nejprve prokázat vydatnost povrchového zdroje a jeho kvalitu (Kroupa 1967).Proto se provádí podrobný chemický a hydrobiologický průzkum všech v úvahu přicházejících zdrojů, aby náklady na úpravu byly co nejnižší (Roth 1953). Odebírá se řada vzorků pro fyzikální, chemický, bakteriologický a biologický rozbor. Na pitnou vodu lze upravovat surovou vodu z toků I.třídy a nejvýše III. třídy jakosti. Ukazatele jakosti vody jsou upraveny předpisy ČSN 75 7221 a Nařízením vlády č. 61/2003 Sb. Klasifikace jakosti vychází ze zhodnocení vybraných ukazatelů, které se rozdělují do

šesti skupin podle tabulky ČSN 75 7221 – Hodnotící ukazatele. Tyto ukazatele jsou závazné (Strnadová, Janda 1999).

Tab. č. 2 Vybrané ukazatele hodnocení jakosti povrchových vod (ČSN 75 7221)

SKUPINA UKAZATELŮ	OZNAČENÍ SKUPINY
Kyslíkový režim	A
Základní chemické a fyzikální ukazatele	B
Doplňující chemické ukazatele	C
Těžké kovy	D
Biologické a mikrobiologické ukazatele	E
Ukazatele radioaktivity	F

Odběrná zařízení tekoucích vod – před návrhem odběru vody z toku musí být prověřovány průtokové poměry na podkladech dlouhodobého měření vodních stavů dešťových srážek (Štícha a kol. 1969). Konstrukce odběrných zařízení bude podmíněna tvarem říčního koryta a vhodností toku. Důležitá je stabilita řečiště v místě odběru, aby nedocházelo k zanášení odběrného zařízení. Odběr vody musí být vodoprávně zajištěn, kvůli zachování nároků všech ostatních uživatelů vody a musí být zabezpečen minimální průtok v řečišti (Tesařík 1987). Odběr musí být vždy nad spotřebištem, kde tok není ještě znečištěn odpadními vodami z obydleného území (Štícha a kol. 1969).

Podle způsobu umístění v toku rozlišujeme odběrná zařízení břehová, řečištní, případně odběr ve dně koryta.

Odběr ve dně je využíván jen výjimečně, u toků bystřinného charakteru s umělým vzdouváním. Řeší se jako odběrný žlab napříč celého koryta nebo jako jímací drén (Grünwald a kol. 1998)

Odběrné zařízení v řečišti, tj. nad dnem, je možné situovat u širších vodních toků s nestabilními břehy a s neostatečnou hloubkou vody u břehů v důsledku častého kolísání hladiny. Důležitá je ochrana zařízení před plovoucími předměty a před účinky ledu. Vtokový otvor musí být chráněn česly, v hlubších vodách štětovou stěnou.

V našich podmínkách jsou nejčastější břehová odběrná zařízení. Jsou vhodná především na středních a dolních tocích se stabilním dnem a břehy, v místech s minimálním hromaděním splavenin (vrchol konkávního břehu). Vtokový otvor odběrného zařízení musí být opatřen hrubými česly. Mezi vtokovou část a odběrné potrubí se vkládá uklidňovací komora (sedimentační prostor) osazená jemnými česly. Vlastní odběr se provádí z odběrové části zařízení. Celý objekt je opatřen betonovým poklopem (Strnadová, Janda 1999).

Odběrná zařízení stojatých vod

Rozhodnutí o stavbě nádrže na vodním toku přichází v okamžiku, kdy není možné odebírat z toku požadované množství vody z hlediska zachování minimálních průtoků vody. V takovém případě se budují vodárenské nádrže (Grünwald a kol. 1998).

Odběrná zařízení ve stojatých vodách lze rozdělit na odběrné objekty věžové, které mohou být umístěny samostatně v prostoru nádrže nebo jsou zabudovány přímo v tělesa hráze a na odběrná zařízení nad dnem, která se budují pouze v hlubokých nádržích s čistou vodou, kde nedochází k sedimentaci nánosů.

Věžové odběrné objekty musí mít alespoň tři odběrné otvory umístěné v různých hloubkách, aby bylo možné regulovat hloubku odběru a tím volit neoptimálnější kvalitu odebírané vody z hlediska další úpravy (Grünwald a kol. 1998)

4.1.3 Získávání vody infiltrací

Infiltrace vody je proces, při kterém se povrchová voda z toků nebo nádrží dostává do propustného prostředí a obohacuje tak zvodněné horizonty (Štícha a kol. 1969). Jde vlastně o přirozený jev zasakování povrchových vod, které obohacují zásoby vody podzemní. Tento proces může být tedy přirozený = břehová infiltrace nebo umělý = umělá infiltrace.

Umělá infiltrace

Je umělé zvyšování množství vodních zdrojů a zlepšování jejich vlastností (Strnadová, Janda 1999). Vhodnost vybudování umělé infiltrace závisí na propustnosti horninového prostředí, na hloubce nepropustného podloží a na

chemickém složení vod. Použitý typ vody nesmí obsahovat mnoho plovoucích a nerozpuštěných látek, oleje, fenoly a látky organického zatížení.

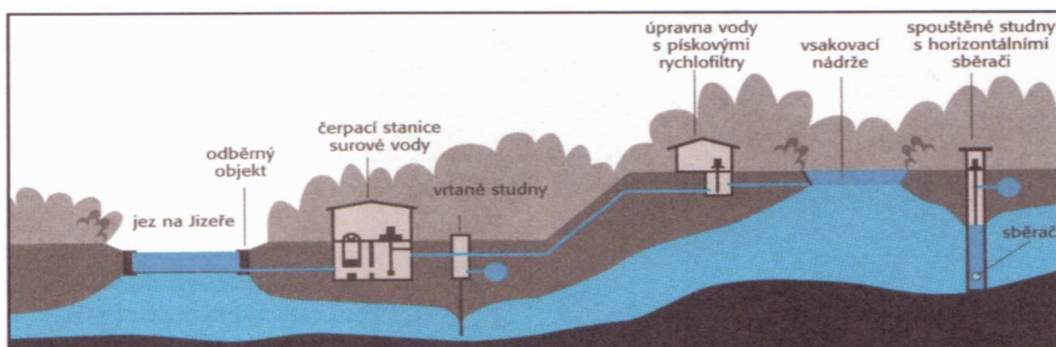
Voda se odebírá z vodního toku a po předúpravě v sedimentačních nádržích s provzdušněním se čerpá do umělých vsakovacích nádrží. Na dno vsakovací nádrže se ukládá 30 – 50 cm silná vrstva praného písku, která má funkci biologického filtru. Nad vrstvou filtrátu se udržuje hladina vody ve výšce od 1 do 1,5 m (Štícha a kol. 1969).

Optimální doba průtoku infiltrované vody je 50 až 200 dní. Vzdálenost mezi vsakovací nádrží a jímacími zařízeními by měla být alespoň 50 m. Čím déle je voda vedena pod povrchem, tím lepší bude její kvalita. Infiltrovaná voda se nakonec jímá jako pravá podzemní voda.

Důležité je čištění filtrační vrstvy, která se po určité době zanesení a ztěžuje prosakování vody. Čištění se provádí tak, že vrchní vrstva písku, asi 3 - 5 cm silná, se sejme a nahradí čistým pískem.

Jako vsakovací zařízení se mohou použít ještě vsakovací studny nebo drenáže. Ty mají oproti vsakovacím nádržím nevýhodu, že se špatně čistí.

V našich podmínkách je umělé infiltrace využito pro posílení dosavadního zdroje podzemní vody a vody z břehové infiltrace v Káraném na 900 – 1000 l/s (Ambrožová 2003). Surová voda z řeky Jizery, předčištěná na rychlofiltrech je přečerpávána do vsakovacích nádrží s pískovým dnem ve šterkopískových náplavech. Vsakovaná voda kontaktem s geologickými vrstvami získává vlastnosti podzemní vody. Ve vzdálenosti 200 m od vsakovacích nádrží je asi po 40 – 50 dnech zdržení v podzemí jímána takto infiltrovaná voda jako kvalitní voda pitná (www.karany.cz).



Obr. č. 4 Schéma umělé infiltrace v Káraném (Broncová 2006)

4.2 Zdroje vody pro Prahu

Želivka

Vodní nádrž Želivka je vůbec největší vodárenskou nádrží v České republice. Voda z nádrže zásobuje nejen Prahu, ale i několik dalších částí středních Čech a Vysočiny. Voda je přiváděna tlakovým štolovým přivaděčem dlouhým 51 km z úpravny vody do hlavního vodojemu v Jesenici (http://www.zelivka.cz/article.asp?article_id=17). Odběr vody se provádí etážově ze dvou odběrných věží. Technologie úpravy vody spočívá v koagulační filtraci s dávkováním síranu hlinitého a kyseliny sírové. Douprava pitné vody se provádí doalkalizací vápenným hydrátem a hygienickým zabezpečením ozonem a plynným chlorem (<http://www.pvk.cz/upravny-vody.html>)

Káraný

Nejstarší ze tří současných zdrojů pitné vody. Úpravna vody dodává do pražského distribučního systému směs podzemní a infiltrované vody. Pitná voda se získává třemi způsoby (<http://www.karany.cz/firmy-v-obci/prazske-vodovody-a-kanalizace-as-vodarna-karany/>):

- a) přirozenou infiltrací jizerské vody, která infiltruje do okolních štěrkopískových náplavů, kde je ve vzdálenosti 250 m od řeky jímána ve směsi s přirozenou podzemní vodou,
- b) umělou infiltrací surové vody z řeky Jizery, která je po předúpravě na rychlofiltrech čerpána do vsakovacích nádrží. Vsakovaná voda, procházející přes tento přirozený filtr intenzivně obohacuje zásoby podzemní vody,
- c) artéská voda, která je mimořádně kvalitním zdrojem. Voda přitéká v hlubokém podzemí ze severní části geologického útvaru „Česká křída“. Její složení po jednoduché úpravě (odželeznění) odpovídá požadavkům na vodu pro přípravu kojenecké stravy.

Podolí

Vodárna v Praze Podolí je důležitým rezervním zdrojem v případě poruch v úpravně vody Želivka a Káraný, která upravuje surovou vodu z řeky Vltavy (<http://www.pvk.cz/upravny-vody.html>).

Tab. č. 3: Výroba pitné vody v roce 2009 (<http://www.pvk.cz/vyroba-a-dodavka-vody.html>)

Úpravy pitné vody	Množství vyrobené pitné vody (v m ³)	Podíl na celkovém množství vody vyrobené PVK (v %)
Želivka	91 156 108	73,5
Káraný	31 708 866	25,5
Podolí	0	0

4.3 Ochrana vodních zdrojů

Pro ochranu vydatnosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních či povrchových vod určených pro pitné účely jsou stanovena ochranná pásma. Jsou to území, ve kterých je řízeno hospodaření, výstavba, těžba, doprava a další činnosti, kterými by mohla být ohrožena vydatnost, jakost a zdravotní nezávadnost použití vody.

Pro ochranná pásma platí ustanovení zákona č. 254/2001 Sb., zákon o vodách, který dělí ochranná pásma (OP) v § 30 na:

OP I. stupně sloužící k ochraně vodních zdrojů v bezprostředním okolí jímacího nebo odběrného zařízení. Je stanoveno vodoprávním úřadem jako souvislé území:

- a) u vodárenských nádrží a u dalších nádrží určených výhradně pro zásobování pitnou vodou
- b) u ostatních nádrží s vodárenským využitím než uvedených pod písmenem a) s minimální vzdáleností hranice jeho vymezení na hladině nádrže 100 m od odběrného zařízení,
- c) u vodních toků:
 - s jezovým vzduším na břehu odběru minimálně v délce 200 m nad místem odběru proti proudu, po proudu do vzdálenosti 100 m nebo k hraně vzdouvacího objektu a šířce ochranného pásma 15 m, ve vodním toku zahrnuje minimálně jednu polovinu šířky v místě odběru,

- bez jezového vzduť na břehu odběru minimálně v délce 200 m nad místem odběru proti proudu, po proudu do vzdálenosti 50 m od místa odběru a šířce ochranného pásma 15 m, ve vodním toku zahrnuje minimálně jednu třetinu jeho šířky v místě odběru,
- d) u zdrojů podzemní vody s minimální vzdáleností hranice jeho vymezení 10 m od odběrného zařízení

OP II. stupně slouží k ochraně vodních zdrojů v územích stanovených vodoprávním úřadem tak, aby nedocházelo k ohrožení vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti. Stanoví se vně OP I. stupně; může být tvořeno jedním souvislým nebo více od sebe oddělenými územími v rámci hydrologického povodí nebo hydrogeologického rajonu.

Mezi zakázané činnosti v ochranných pásmech patří např. zákaz zemních prací narušujících půdní pokrytí, používání trhavin a toxických látek, pást zvířata a znečišťovat krycí vrstvy. Nemají zde vést železnice a komunikace. Musí se asanovat hnojiště, skládky odpadů. Nesmí se tam převádět odpadní vody, tábořit, koupat se, parkovat, atd. (Strnadová, Janda 1999).

4.4 Způsoby znečišťování vodních zdrojů

Přírodní vody obsahují celé spektrum látek různého charakteru a vlastností, které lze třídit podle skupenství, charakteru, velikosti částic, atd. (Žáček 1981). Vedle látek přirozeně obsažených ve vodách je v posledních desetiletích vážným problémem znečišťování látkami antropogenního původu. Hlavními zdroji znečišťování jsou především: (Martoň a kol. 1984)

- průmyslové, zemědělské a komunální provozy, produkující odpadní vody, odpady a plynné exhaláty,
- sídliště, rekreační zařízení, produkující zejména splaškové odpadní vody a komunální tuhý odpad,
- těžba, zpracování, používání a skladování škodlivých a radioaktivních látek,
- těžba zemin, hornin a nerostných surovin,
- ropovody, plynovody,

- zařízení a objekty zabezpečující silniční, železniční, leteckou a vodní dopravu,
- rostlinná a živočišná výroba, zejména používání a skladování hnojiv a pesticidů, odpady z velkochovů, silážní šťávy, a jiné.

4.4.1 Hlediska posuzování vody

Voda se posuzuje po odebrání vzorku po stránce fyzikální, chemické, radioaktivní, biologické a mikrobiologické.

4.4.1.1 Fyzikální hodnocení

Z fyzikálních ukazatelů se hodnotí vzhled (barva, zákal), teplota, pach, chuť.

a) Barva je fyzikálním indikátorem čistoty vod. Zabarvení způsobují rozpuštěné i nerozpuštěné látky, např. huminové látky zbarvují vodu do žlutohněda, sinice způsobují zelené zabarvení. Dalším zdrojem zabarvení mohou být i odpadní vody z průmyslu. Při hodnocení barvy se odlišuje barva vody (Horáková a kol. 2000):

- zdánlivá, kterou je možné odstranit filtrací. Tato zdánlivá barva bývá způsobena koloidními a suspendovanými nerozpuštěnými látkami.
- skutečná, kterou nelze odstranit filtrací. Je způsobena látkami rozpuštěnými, např. barvivy v odpadních vodách.

Barva se stanovuje buď vizuálně a výsledek se vyjádří slovním popisem odstínu a intenzity zabarvení, nebo porovnáváním barvy vody řadou porovnávacích roztoků. Skutečná barva se stanovuje optickými přístroji. Výsledky se uvádí v mg platiny na litr vody. Pro pitnou vodu je povoleno maximálně 20 mg Pt / litr (Pitter 1999).

b) Zákal je způsoben nerozpuštěnými látkami anorganickými i organickými. Častější je zákal u povrchových vod, který bývá zapříčiněn jíly, hydratovanými oxidy kovů (Fe, Mn), bakteriemi, fytoplanktonem, detritem, atd. Podzemní vody jsou zakalené zřídka a to převážně látkami anorganického původu. Zákal se měří z hlediska kvantitativního a provádí se spektrofotometrickým měřením procházejícího záření (turbidimetricky) nebo rozptýleného záření (nefelometricky) (Horáková a kol 2000). Výsledky se vyjadřují ve formazinových jednotkách (ZF). Pro pitnou vodu je mezní hodnota zákalu 5 ZF (Pitter 1999).

c) Teplota bývá u prostých podzemních vod většinou konstantní, a to v průměru 10 °C. Větší kolísání svědčí o rychlém pronikání povrchových a srážkových vod do podzemí, s čímž souvisí i větší nebezpečí její kontaminace. Teplota u povrchových vod má větší význam, protože dochází k výraznému kolísání v průběhu roku, ale i během dne. Teplota ovlivňuje rozpustnost kyslíku, rychlost biochemických pochodů, a tím i celý proces samočištění (čím je teplota nižší, tím pomaleji probíhají samočistící procesy). Optimální teplota pitné vody je v rozmezí 8 – 12 °C (Pitter 1999).

d) Pach vody zapříčiňují prchavé látky různého charakteru přítomné ve vodě. Zdroje pachu rozdělujeme na :

- primární, které jsou přirozenou součástí vody (sulfan), látky biologického původu (vznikají činností nebo odumíráním mikroorganismů), látky obsažené ve splaškových a průmyslových odpadních vodách.
- sekundární zdroje pachu získává voda např. při hygienickém zabezpečení chlorací.

Míra pachu se určí prahovou zkouškou, tj. zředěním vzorku do takové míry, při které je pach ještě postižitelný nebo výpočtem, tehdy jde-li o jednu pachotvornou látku ve vodě a když je její koncentrace známá (Pitter 1999).

e) Chuť obvykle ovlivňují látky, které způsobují i pach. Chuťové závady mohou vznikat i nevhodným minerálním složením vod. Významné pro chuť jsou především koncentrace vápníku, hořčíku, železa, manganu, zinku, mědi, hydrogenuhličitanů, chloridů, síranů, oxidu uhličitého, atd. Pozitivně ovlivňují chuť hydrogenuhličitanu, vápník a pH v rozmezí 6,5 – 7,5. Intenzita chuťových vjemů se stoupající teplotou klesá, proto pro sensorické hodnocení pitné vody se doporučuje teplota okolo 15 – 25 °C. Při hodnocení se stanoví prahové číslo chuti, které je ředící poměr, pod jehož hodnotou ztrácí ředěný vzorek jakoukoliv postižitelnou chuť. Hodnota prahového čísla chuti může být rovna jedné (voda bez chuti) nebo větší než jedna (Pitter 1999).

4.4.1.2 Chemické hodnocení

a) Znečištění organickými látkami může být přírodní, jako např. výluhy z půdy a sedimentů, produkty životní činnosti rostlinných a živočišných organismů a bakterií. Jde především o huminové látky. Zdroji antropogenního znečištění jsou hlavně

splaškové a průmyslové odpadní vody, odpady ze zemědělství a skládek. Mezi organické látky vyskytující se ve vodách mají zvláštní hygienický význam převážně huminové látky, fenoly, uhlovodíky, chlorované organické látky, tenzidy a pesticidy.(Pitter 1999)

Pro stanovení veškerých organických látek ve vodě se používá: (Martoň a kol. 1984)

- Chemická spotřeba kyslíku (CHSK), která vyjadřuje množství kyslíku potřebného na oxidaci organických látek ve vodě použitím silných oxidačních činidel (manganistan draselný KMnO_4 nebo dichroman draselný $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$).
- Biochemická spotřeba kyslíku (BSK_5), je množství rozpuštěného kyslíku spotřebovaného mikroorganismy za pět dní.
- Celkový organický uhlík (TOC), jehož množství charakterizuje obsah organických látek ve vodě.

b) Znečištění anorganickými látkami

Kovy: přírodní vody obsahují prakticky všechny kovy, některé alespoň ve stopových množstvích. Jejich původ je většinou přirozený (Grünwald 1997). Zvýšený obsah kovů ve vodách je zapříčiněn nejčastěji kontaminací odpadní vodou nebo znečištěnou srážkovou vodou (Martoň a kol. 1984). Při posuzování znečištění prostředí kovy nebo polokovy se hovoří o samostatné skupině tzv. těžkých nebo toxických kovů. Mezi silně toxické kovy lze považovat rtuť, olovo, kadmium, selen, měď, baryum, vanad, stříbro aj.

Hlavním antropogenním zdrojem těžkých a toxických kovů jsou některé vody z důlní činnosti a odpadní vody z povrchové úpravy kovů, zpracování rud, textilního a kožedělného průmyslu, z chemického a farmaceutického průmyslu. Kovy jsou obsaženy také v emisích vznikajících při spalování fosilních paliv, v dopravě aj.(Grünwald 1997).

Běžná úprava pitné vody rozpuštěné sloučeniny těžkých kovů neodstraní. Velmi účinnou metodou je adsorpce na aktivním uhlí.

Nekovy: mezi důležité nekovy, které jsou ukazatelem znečištění splaškovými a průmyslovými vodami patří např. fluor, chlor, brom, jod, síra, fosfor, dusík a jejich sloučeniny. Dále kyanidy, oxid uhličitý a jeho iontové formy (Pitter 1999).

Dusík - znečištění dusíkem a jeho sloučeninami je způsobováno splaškovými vodami a odpady ze zemědělství.

Amoniakální dusík – vzniká při rozkladu organických dusíkatých látek a je indikátorem čerstvého fekálního znečištění. Ohroženy jsou převážně podzemní vody, protože v anoxických podmínkách probíhají denitrifikační procesy. Dochází k redukci NO_3 na NO_2 a dále na N_2 a N_2O , malá část může přecházet na amoniak. Za oxických podmínek dochází k oxidaci amoniaku na dusičnany, které jsou konečným produktem nitrifikace a nepatří již k indikátorům fekálního znečištění. Amoniakální dusík může být i anorganického původu, který se do vody dostává hlavně splachy z polí hnojených dusíkatými hnojivy, případně ze srážkových vod. (Pitter 1999 ; Malý, Malá 1996)

Chlor - se v přírodních vodách běžně nevyskytuje. Jeho původ je převážně antropogenní. Chloridy se dostávají do vody vyluhováním z půdy. Zdroji znečištění jsou městské a průmyslové vody a v zimních měsících také splachy z vozovek (Grünwald 1997).

Fosfor – antropogenními zdroji sloučenin fosforu jsou splaškové odpadní vody, odpadní vody z praní nebo aplikace fosforečnatých hnojiv. Koncentrace fosforečnanů není ze zdravotního hlediska důležitá; v požadavcích na jakost pitné vody není limitní hodnota stanovena. Ovšem náhlý vzrůst koncentrace fosforečnanů může indikovat fekální znečištění (Horáková a kol. 2000)

Sírany a síra – zdrojem síranů jsou kyselé depozice a různé odpadní vody, hlavně z chemického, důlního, strojírenského, textilního, potravinářského a farmaceutického průmyslu. Z dalších významných sloučenin síry můžeme uvést sulfan a sulfidy (Grünwald 1997).

4.4.1.3 Radioaktivní hodnocení

Nejvýznamnějším antropogenním zdrojem radioaktivního znečištění povrchových vod jsou odpady z těžby a zpracování uranových rud, odpady z provozu jaderných zařízení, atmosférická depozice z havárií jaderných reaktorů. V podzemních vodách jsou přítomny převážně přírodní radionuklidy, jejichž zdrojem bývají důlní vody z těžby uhlí, nebo i atmosférické vody vznikající v atmosféře účinkem kosmického záření. Radionuklidy lze účinně odstraňovat spolusrážením (BaSO_4 , hydroxidem železitým) nebo adsorpcí na různých látkách (Pitter 1999).

4.4.1.4 Biologické a mikrobiologické hodnocení

Určuje vhodnost vody k využití jako vody pitné. Voda, zejména povrchová, je životním prostředím pro řadu organismů. Všechny organismy žijící ve vodě jsou ukazateli určité míry znečištění vody (Žáček 1988).

Bakterie můžeme rozdělit na:

- Nezávadné, které se objevují i ve velmi čisté vodě. Ze zdravotního hlediska jsou zdravotně nezávadné. Některé svou činností čistí vodu.
- Zdravotně závadné (patogenní), vyskytují se ve vodách znečištěných organickými látkami
- Podezřelé, jsou druhy samy o sobě neškodné, ale jejich přítomnost ve vodě ji činí podezřelou z infekce bakteriemi choroboplodnými, které jsou indikátory fekálního znečištění. Největší význam mají koliformní bakterie a enterokoky (Zeman, Moravec 1944).

4.5 Požadavky na jakost pitné vody

Pitná voda je definována ve vyhlášce č. 252/2004 Sb., jako voda zdravotně nezávadná, která ani při trvalém požívání nevyvolá onemocnění nebo poruchy zdraví přítomností mikroorganismů nebo látek ovlivňujících akutním, chronickým nebo pozdním působením zdraví spotřebitele a její smyslově postižitelné vlastnosti nebrání jejímu požívání.

V současné době je platná vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody (nahradila původní ČSN 75 7111 „Pitná voda“). Stanovuje hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních a chemických ukazatelů jakosti pitné vody, které jsou uvedeny v příloze vyhlášky. Vyhláška vychází ze směrnice Rady Evropských společenství 98/83/ES, o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu. Tato směrnice je navíc doplněna o ukazatele radioaktivity vody.

Uvedené hodnoty odpovídají nejvyšším mezním hodnotám (NMH), mezním hodnotám (MH), případně doporučeným hodnotám (DH) a mezním hodnotám přijatelného rizika (MHPR) (vyhláška č. 252/2004 Sb).

- NMH je hodnota jejíž překročení vylučuje užití vody jako pitné.
- MH představuje horní hranici rozmezí přípustných hodnot, jejímž překročením ztrácí voda vyhovující jakost v ukazateli, jehož hodnota byla překročena.
- MHPR je hodnota ukazatele jakosti vody tzv. pozdních toxických účinků. Překročení hodnoty vylučuje užití vody jako pitné.

4.6 Základní technologické stupně úpravy pitné vody

Volba způsobu úpravy vody závisí na druhu surové vody (podzemní, povrchové) a na požadované kvalitě upravené vody (pitná, užitková, provozní). Kategorizace zdrojů surové vody z hlediska upravitelnosti se provádí dle vyhlášky Ministerstva zemědělství č.428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu. Typy úprav pro jednotlivé kategorie jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. č. 4 Kategorie zdrojů dle upravitelnosti (Vyhláška č. 428/2001 Sb)

Kategorie	Typy úprav
A1	Jednoduchá fyzikální úprava a dezinfekce, například rychlá filtrace a dezinfekce, popř. prostá písková filtrace, chemické nebo mechanické odkyselení či odstranění plynných složek provzdušňováním.
A2	Běžná fyzikální úprava, chemická úprava a dezinfekce, koagulační filtrace, infiltrace, pomalá biologická filtrace, flokulace, usazování, filtrace, dezinfekce, jednostupňové či dvoustupňové odželezování a odmanganování.
A3	Intenzivní fyzikální a chemická úprava, rozšířená úprava a dezinfekce, například chlorování do bodu zlomu, koagulace, flokulace, usazování, filtrace, adsorpce (aktivní uhlí), dezinfekce (ozón, konečné chlorování). Kombinace fyzikálně chemické a mikrobiologické a biologické úpravy.

Návrh technologického postupu úpravy vychází nejen ze složení vody, ale musí se přihlížet i k výsledkům laboratorních, modelových nebo poloprovozních technologických zkoušek. Pro skutečně seriózní návrh technologie je vždy nutné provést sérii různých zkoušek, z nichž vyplyne taková technologie, která zaručí požadovanou kvalitu upravené vody (Žáček 1981).

Z obecného hlediska můžeme rozlišit úpravářenské procesy:

a) podle povahy procesu na (Strnadová, Janda 1999):

- **Fyzikální**, ke kterým patří adsorpce a desorpce plynů a tuhých látek, separace suspenzí sedimentací a filtrací.
- **Chemické** – srážení a oxidační reakce různých anorganických i organických látek.
- **Fyzikálně chemické** – chemisorpce, hydrolýza koagulantu, využití pomocných koagulantů, membránové procesy (reverzní osmóza, elektrodialýza, iontová výměna).
- **Hydraulické** – míchání, separace a zahušťování suspenzí.
- **Biologické a mikrobiologické** – odstraňování dusíkatých látek, železa a manganu, v menší míře i odstraňování organických látek.

b) podle povahy separovaných látek na (Žáček 1981):

- **Mechanické** – odstraňování suspendovaných látek sedimentací, flotací, filtrací.
- **Chemické** – odstraňování koloidních látek při čiření (vločkováním).
- **Fyzikálně chemické a biologické** – odstraňování anorganických i organických látek srážením, rozpuštěných anorganických nečistot výměnou iontů a rozpuštěných organických látek adsorpcí, oxidací či biologickou úpravou

Přehled procesů úpravy vody z hlediska povahy nečistot (viz tab.5) a podle druhu vody(viz tab.6):

Tab. č. 5 Procesy úpravy pitné vody z hlediska povahy nečistot (Podhorský, Žáček 1975)

Charakter úpravy	Postup	Povaha nečistot
Mechanické postupy	Sedimentace Flotace Filtrace	Suspendované látky
Chemické, Fyzikálně chemické, Biologické postupy	Vločkování Srážení Výměna iontů Adsorpce Oxidace Biologická úprava	Koloidní látky Rozpuštěné anorganické nečistoty Rozpuštěné organické látky

Tab. č. 6 Nejčastější procesy úpravy podle druhu vod (Grünwald a kol 1998)

Povrchová voda	Podzemní voda
Mechanické předčištění	Odkyselování
Čiření	Odželezování
Filtrace	Odmanganování
Dezinfekce	Dezinfekce
Adsorpce	Odstraňování vápníku a hořčíku
Fluoridace	Deionizace
Ultrafiltrace	Demineralizace
Nanofiltrace	Desorpce
Stabilizace	Membránové procesy

Technologické procesy se soustřeďují do čtyř hlavních skupin:

1. Předčištění surové vody
2. Čištění (čiřením)
3. Zlepšování vlastností vody
4. hygienické zabezpečení

(Kukla a kol 1981)

4.6.1 Předčištění surové vody

Před vlastní úpravou povrchové vody je nutné odstranit veškeré plovoucí látky, látky sunuté po dně a látky rozptýlené ve vodě. Tyto látky by mohly poškodit čerpací zařízení a zařízení na úpravu vody, která mohou zanášet. K tomu účelu se používají česle, síta, lapače písku, usazovací nádrže, apod.

Česle zachycují plovoucí nečistoty. Proces probíhá ve dvou stupních. Nejdříve jde voda přes hrubé česle zachycující ty nejhrubší nečistoty, velké plovoucí předměty, např. větve, ledové kry, kmeny stromů aj. Takto zachycené předměty se odstraňují většinou manuálně. Světlost mezi česlicemi je asi 100 mm a umístění je svislé nebo ve sklonu 60° až 75° (Grünwald 2002). Jemné česle se zařazují za hrubé nebo střední česle a mají zachytit všechny plovoucí nečistoty, které pronikly hrubými



česlemi (Roth 1962). Světlost mezi česlicemi je od 2 do 5 mm. Shrabky se odstraňují buď ručně, hráběmi nebo mechanickým stíráním pomocí stírek s hřebeny nebo stíracími kartáči, případně hrabicovým výkyvným ramenem.

Obr. č. 5 Strojní česle hrubé (<http://www.fontanar.cz/czech.html>)

Síta nahrazují jemné česle nebo jsou dalším stupněm předčištění, pro dokonalejší zachycení drobných plovoucích látek. Pro malé a střední výkony vodáren a malá kolísání hladiny v toku se volí sítové bubny s horizontální nebo vertikální osou, zatímco pro střední a velké výkony při velkém kolísání hladiny vody se navrhuje sítové pásy (Roth 1962).

Lapače písku a hrubých minerálních částic slouží k odstraňování látek sunutých po dně. Jsou tvořeny usazovacím žlabem s akumulacním prostorem na usazený písek. Lapače se umísťují ve vtokovém objektu před hrubé česle, příp. ještě druhý lapač za česlemi. Při proměnlivém průtoku a kolísání množství vody se před jemné česle umísťuje další lapač na jemnější suspenze (Roth 1962).

Usazovací nádrže odstraňují rozptýlené látky ve vodě. Principem je zpomalení průtokové rychlosti vody, na takovou rychlost, při které dochází k usazování rozptýlených látek. Usazovací rychlost je závislá na rozměru a tvaru částic, a na hustotě a viskozitě vody. Podle směru průtoku se pak usazovací nádrže rozdělují na horizontální, vertikální a radiální.

4.6.2 Čiření (koagulace)

Čiření patří mezi základní způsoby úpravy povrchové vody. Jde o souhrn procesů (fyzikálních, chemických a hydraulických), kterými se z vody odstraňují většinou jemné suspenze a částice koloidně dispergovaných látek anorganického i organického původu, které způsobují především zákal a zbarvení vody (Grünwald a kol 1998).

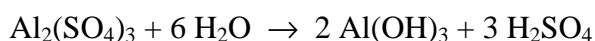
Čiření spočívá v dávkování koagulantů, tj. dávkování roztoků hydrolyzujících solí (železitých, hlinitých, železnatých), které reakcí s vodou poskytují příslušné hydroxidy. Na částicích vytvořeného hydroxidu se adsorbují ionty (Al^{3+} nebo Fe^{3+}) a vytváří se téměř nerozpustný hydroxid hlinitý nebo hydroxid železitý. Vzniklé částice hydroxidu jsou nabitы většinou kladně. Je to proto, že za podmínek čiření, zejména v kyselé oblasti, se přednostně sorbují kladně nabité vícemocné ionty. Tyto částice hydroxidů koagulují s částicemi nečistot koloidní povahy, nesoucími záporný elektrický náboj a vytvářejí se vločky, které jsou separovatelné sedimentací, ve vločkovém mraku nebo filtrací (Žáček 1981).

Mezi faktory ovlivňující koagulační proces patří (Vostrčil a kol. 2005):

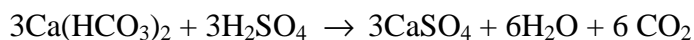
- typ a dávka koagulantu,
- pH a teplota čiřené vody,
- koncentrace suspenze a organických látek,
- cizí ionty v roztoku (např. vápník),
- intenzita a doba míchání.

Základními koagulačními činidly jsou hlavně soli hliníku Al^{3+} a železa Fe^{3+} .

Ze sloučenin hliníku se nejčastěji používá krystalický síran hlinitý $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$ (Grünwald 2002). Při rozpouštění síranu hlinitého ve vodě nastává hydrolyza za vzniku nerozpustného hydroxidu hlinitého a volné kyseliny sírové (Roth 1962):



Vzniklá kyselina sírová reaguje s uhličitanovou tvrdostí vody:



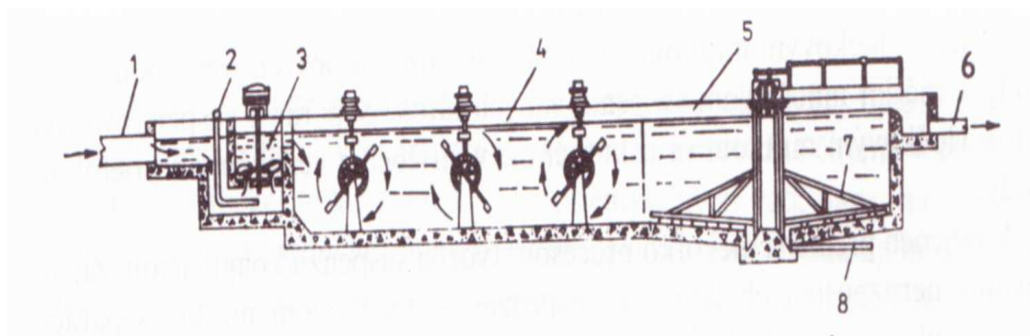
Pro srážení hydroxidem hlinitým by se optimální hodnota pH měla pohybovat v rozmezí 6,0 až 7,4 (Grünwald a kol. 1998). Jelikož upravovaná voda nemá většinou tuto optimální hodnotu, je nutné vyrovnat ji přidáním vápna (Roth 1962).

Ze sloučenin železa jsou nejběžnější síran železitý $\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$, síran železnatý $\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$ a chlorid železitý $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$. Hydrolyzou ve vodě vzniká zase nerozpustný hydroxid železitý $\text{Fe}(\text{OH})_3$. Za optimální hodnotu se považuje $\text{pH} > 5$ (Grünwald a kol. 1998).

Potřebné dávky koagulačního činidla a pomocných chemikálií (kyselina sírová, vápno, chlor, aktivní uhlí, polyelektrolyty aj.) se určují koagulační zkouškou (sklenicové zkoušky) nebo pomocí empirických vztahů a výpočtů (Martoň a kol. 1984).

Koagulace probíhá ve dvou stádiích, v perikinetickém a ortokinetickém stádiu, podle odlišného způsobu míchání. V první perikinetické fázi jde o rychlé míchání a rovnoměrného rozptýlení přidané chemikálie s vodou v celém objemu upravované vody a následného vytvoření mikrovloček. Rychlé míchání se provádí v mechanických či hydraulických rychlomísičích. Čas zdržení je asi 1 až 3 minuty (Martoň a kol. 1984). Po rychlém míchání následuje druhá ortokinetická fáze, tj. pomalé míchání, jehož cílem je vyvolat flokulaci a dosáhnout velikosti vloček pro následující separaci. Tento proces trvá zhruba 10 až 30 minut, podle velikosti dávky koagulačního činidla a podle intenzity míchání. Proces pomalého míchání se provádí ve vločkovacích nádržích, opět hydraulických nebo mechanických s horizontálním, vertikálním nebo vířivým pohybem (Žáček 1988).

Separace vloček při číření má dvě varianty, buď jednostupňovou nebo dvoustupňovou. U jednostupňové separace se voda s nadávkovaným koagulantem přivádí přímo na filtr. To se využívá v případě použití nízkých dávek koagulantu a nízké koncentrace vylučované suspenze. U dvoustupňové varianty tvoří první stupeň usazovací nádrž nebo čířič a druhým stupněm je filtrace. Vhodnější je separace vznášeným ložem vloček. Čířiče s vločkovým mrakem v sobě sdružují funkci sedimentace i částečné filtrace (Grünwald a kol 1998).



Obr. č. 6 Schéma čířiče s horizontálním prouděním vody (Martoň a kol. 1984)

- 1 - přívod surové vody, 2 - dávkování chemikálií, 3 – rychlé míchání,
4 – vločkovací prostor, 5 – usazovací prostor, 6 – odvod vyčiřené vody,
7 – shrabovač kalu, 8 – odvod kalu.**

Mezi separační procesy patří i flotace rozpuštěným vzduchem. Jedná se o vynášení vloček, přítomných ve vodě k hladině pomocí mikrobublin. Takto k hladině dopravené suspendované látky se z hladiny odstraňují mechanickým stíráním (Vostrčil a kol. 2005).

4.6.3 Filtrace

Filtrace je proces používaný k odstraňování suspendovaných částic z vody při průchodu porézním prostředím. Obvykle bývá jedním ze závěrečných technologických článků při úpravě pitné vody; následuje buď jako druhý stupeň za sedimentací nebo čiřením, anebo při jednostupňové separaci za rychlým a pomalým mícháním (Žáček 1988).

Obvykle rozlišujeme dva základní druhy filtrace:

a) Objemová filtrace (hloubková) – jde o filtraci suspenzí vrstvou zrnitého materiálu. Dále se rozděluje na pomalou a rychlou filtraci.

b) Plošná filtrace (náplavová, koláčová) – probíhá na filtrační přepážce, která bývá z tkaniny ze syntetických vláken nebo z jemného pletiva.

(Martoň a kol. 1984 ; Grünwald 2002)

Při úpravě pitných vod se používá převážně objemová filtrace, jejímž výrazným rysem je cykličnost provozu. Filtrační cyklus sestává z filtrační fáze a fáze praní. O tom, kdy je nutné filtr vyprat se rozhoduje podle dvou kritérií, při nárůstu tlakových ztrát na filtrační náplni vlivem zachycených suspenzí v náplni a při průniku suspenzí do filtrátu (Strnadová, Janda 1999).

Měření tlakových ztrát v loži filtrů spočívá v kontinuální analýze průběhu tlakových ztrát. Měřicí sondy, umístěné přímo v loži filtru zaznamenávají hodnoty tlaku každých 10 sekund do počítače. Z těchto měření lze získat řadu technologicky významných informací (Dolejš 2009):

- průběh zachycování suspenze ve filtru a vhodnost suspenze pro daný typ filtrátu,
- nalezení optimální délky filtračního cyklu,
- vliv nárazového zatížení filtru při regulaci průtoku, v důsledku otevírání/zavírání odtoku z filtru či přítoku na filtr, kdy dochází k nárazovým tlakovým změnám, které mohou negativně ovlivnit efektivitu filtrace,

- srovnávání funkce jednotlivých filtrů (srovnávání průběhu tlakových ztrát a proměření filtračního cyklu jednotlivých filtrů).

Účinnost filtrace je ovlivňována řadou faktorů, mezi které patří např. charakter a množství suspendovaných látek ve filtrované vodě, zrnitost a výška filtrační náplně, filtrační rychlost, filtrační odpor písku k průtoku filtrované vody a samozřejmě teplota vody (Podhorský, Žáček 1975).

Podle odlišné funkce rozdělujeme filtry na pomalé a rychlofiltry.

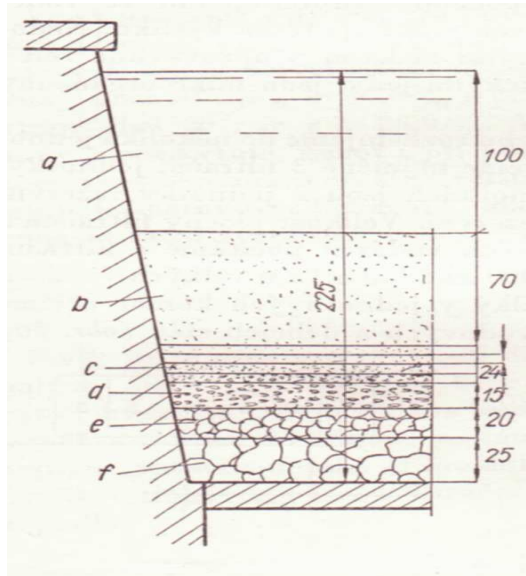
Pomalá filtrace napodobuje přirozené pochody při samočištění vody protékající půdními vrstvami. Čistící efekt zajišťuje biologická blána na horní vrstvě filtračního materiálu. Pomalé filtry se používají k filtraci surové vody (prostá filtrace). Nejsou vhodné k odstraňování nerozpuštěných látek z vody po koagulaci, odželezování, odmanganování apod. Parametry pomalého filtru jsou uvedeny v tabulce (Grünwald 2002)

Tab. č. 7 Parametry pomalého filtru (Grünwald 2002)

Výška pískové filtrační vrstvy	0,9 až 1,2 m
Zrnitost	0,3 až 1,0 mm
Filtrační rychlost	0,2 až 0,3 m ³ /m ² /h
Výška vody na náplni	0,5 až 1,5 m
Délka filtrační fáze	3 až 6 týdnů v létě 7 až 12 týdnů v zimě

Náplň pomalého filtru má tři hlavní vrstvy (Martoň a kol. 1984):

1. filtrační vrstva je z písku o velikosti zrn 0,25 až 1,0 mm a výška vrstvy je 0,7 až 1,2 m,
2. přechodná vrstva je složená ze tří až čtyř vrstev hrubého písku o velikosti zrn 1 až 5 mm a z jedné nebo dvou vrstev jemnějšího štěrku o zrnitosti 1 až 3 cm,
3. drenážní vrstva tvořená dvacetimetrou vrstvou štěrku o zrnitosti 5 až 10 cm a z třicetimetrou vrstvou kamenů o velikosti 15 až 20 cm.



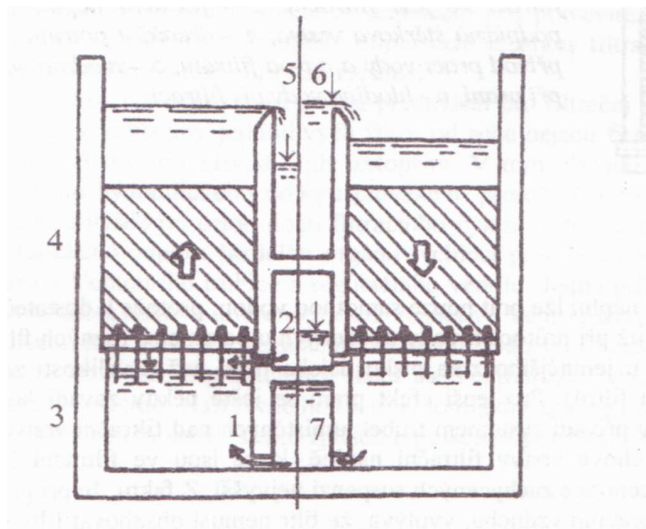
Obr. č. 7 Průřez pomalým filtrem (Roth 1962)

a – voda, b – písek, c – písek s odstupňovaným zrnem, d – šotolina nebo kačírek zrnitosti 2 až 3 cm, e – štěrk nebo oblázky zrnitosti 5 až 10 cm, f – kámen velikosti 15 až 20 cm

Rychlá filtrace odstraňuje nevýhody pomalé filtrace, např. velké nároky na plochu, malá filtrační rychlost, malý výkon atd.. Je vhodná pro chemicky předčištěné vody s malým obsahem suspendovaných látek (Martoň a kol. 1984 ; Roth 1962). Princip filtrace na otevřených rychlofiltrech a jejich praní je zobrazené na obrázku v **příloze č. 1** (obr.č. 15).

Rychlé filtry se dělí na:

- Evropské filtry
- Americké filtry
- Koagulační filtrace – zařízení filtru v technologické lince, kdy bezprostředně po rychlém míchání následuje filtrace.



Obr. č. 8 Schéma evropského filtru

V levé části je uvedena situace při praní filtru a v pravé části fáze filtrační.

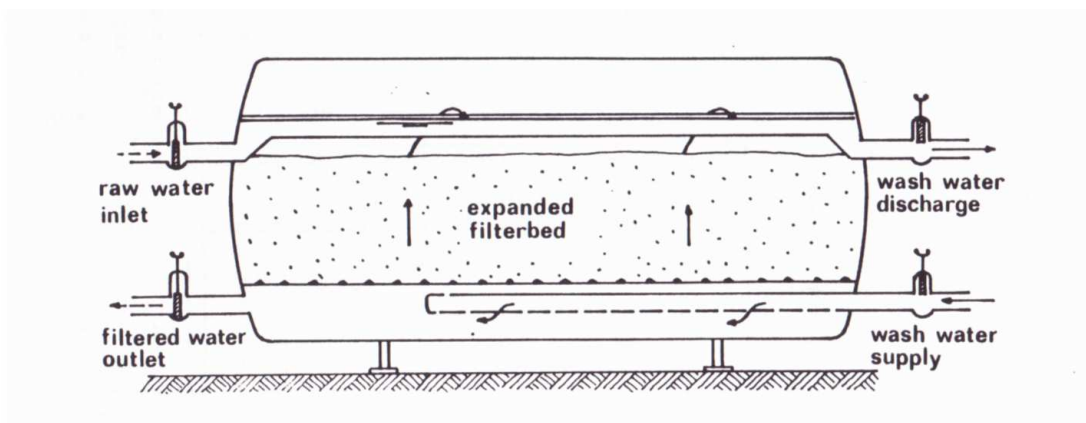
1 – přívod prací vody, 2 – přívod tlakového vzduchu, 3 – prostor mezidna, 4 – filtrační náplň, 5 – odběr prací vody, 6 – přívod vody na filtraci, 7 – odvod filtrátu.

Jednotlivé druhy filtrů mají odlišné parametry, které jsou uvedeny v tabulce:

Tab. č. 8 Parametry rychlých filtrů (Strnadová, Janda 1999)

Druh filtru	Evropské filtry	Americké filtry	Koagulační
Zrnitost (mm)	0,7 až 1,1	0,4 až 7	1,1 až 1,6
Filtrační rychlost (m/h)	4,5 až 7	4,5 až 7	3,5 až 6
Výška náplně (m)	1,1 až 1,3	0,8	1,4 až 1,8

Filtry evropské a americké jsou filtry otevřené. Ještě lze využít filtrů uzavřených. Jedná se o válcové nádoby, vertikální nebo horizontální. Filtrační vrstva je písek o větší velikosti zrn než u filtrů otevřených a výšce 3 až 4 m. Tyto filtry jsou tlakové a proto jejich filtrační rychlost bývá vyšší (8 až 10 m/h). Uzavřená (tlaková) filtrace se používá i pro koagulační filtraci. Je to výhodnější způsob, protože nevyžaduje zvláštní zařízení pro koagulaci a sedimentaci. Koagulace probíhá nad pískovou filtrační vrstvou a je dokončena v náplni. Sedimentace odpadá. Výhodami jsou rychlost procesu a úspora koagulantu (Malý, Malá 1996)



Obr.č. 9 Horizontální tlakový filtr (Huisman, van Dijk 1998)

Praní filtrační náplně je stejně důležité jako vlastní filtrace. Nedostatečné praní zkracuje filtrační fázi a prodražuje se provoz filtru. Způsoby praní náplně závisí na jejich vlastnostech. Podle konstrukce filtru se náplň pere buď vodou, nebo vzduchem a vodou. Nejdříve se vrstva pere samotným vzduchem, přiváděným ze zdola, přibližně 3 až 5 minut a potom společně vzduchem a vodou po dobu 5 až 15 minut. Nakonec se dopírá jen vodou (Grünwald a kol. 1998). Prací voda vznáší filtrační vrstvu. Uvnitř vznášené vrstvy písku dochází k turbulentnímu mísení. Vznášejí zrna se navzájem otírají a zachycené nečistoty se vyplavují. Rychlost při vznášení závisí na tíži zrn. Při praní filtrační vrstvy je vzestupná rychlost až desetinásobná oproti rychlosti při filtraci (Tesařík 1982).

4.6.4 Odželezování a odmanganování

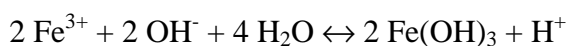
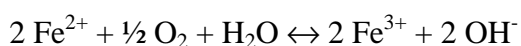
Železo a mangan obsahují povrchové i podzemní vody, ale v odlišné formě. Zatímco v podzemních vodách se vyskytují v rozpustné dvojmocné formě (Fe^{2+} , Mn^{2+}), tak v povrchových vodách jako málo rozpustné trojmocné (Fe^{3+} , Mn^{3+}). Mangan může mít dokonce i vyšší formy - Mn^{4+} , Mn^{6+} , Mn^{7+} (Hlaváč a kol. 2005).

Podstatou je převedení rozpustných forem železa a manganu na formu málo rozpustnou, snadno odstranitelnou z vody sedimentací a filtrace. Principem je tedy oxidace iontů Fe^{2+} (Mn^{2+}) na Fe^{3+} (Mn^{3+} , případně vyšší) (Pitter a kol. 1977).

Železo i mangan způsobují hygienické a technické problémy. Způsob jejich odstraňování je závislý především na formě, v jaké se ve vodě vyskytují. V praxi se používají tyto metody (Žáček 1981):

- provzdušňování rozpuštěným kyslíkem
- alkalizace
- oxidace různými činidly
- kontaktní odželezování a odmanganování na preparovaných píscích vyššími oxidy manganu

Metoda provzdušňování se používá u podzemních vod s obsahem CO₂ a menšího množství železa bez manganu. Provzdušňováním rozpuštěným kyslíkem dochází ke zmenšení CO₂, tedy ke zvýšení pH. Oxidace iontů probíhá podle následujících rovnic (Žáček 1981):

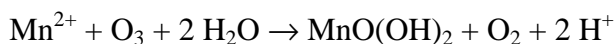
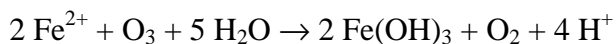


Pro odstraňování manganu provzdušňováním je nezbytná úprava pH vápnem, protože optimální průběh oxidace iontů Mn²⁺ probíhá až při hodnotách pH nad 9 (Pitter a kol. 1977).

Při **alkalizaci** dochází ke srážení alkáliemi, např. hydroxidem vápenatým, uhličitanem sodným nebo hydroxidem sodným za vzniku sraženiny Fe(OH)₂, která při vyšším pH a dostatku kyslíku přechází na Fe(OH)₃ (Grünwald a kol. 1998).

Oxidační činidla se používají u vod, v nichž je železo vázáno v organických komplexech, např. s huminovými látkami. Oxidačními činidly mohou být ozon, chlor a jeho sloučeniny, manganistan draselný aj. (Grünwald a kol. 1998).

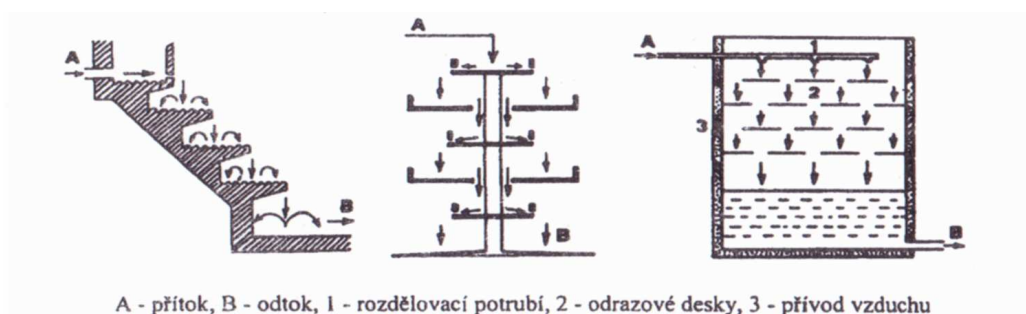
Ozon je nejsilnějším oxidačním činidlem, které oxiduje železo i mangan do vyššího stupně, bez ohledu na pH vody. Reakce probíhají následovně (Strnadová, Janda 1999):



Chlor se dává ve formě roztoku chlornanu sodného nebo chlorové vody. Oxidace probíhá u železa a manganu odlišnou rychlostí. Zatímco oxidace manganu vyžaduje delší dobu zdržení při pH nad 8, tak oxidace železa probíhá již při pH nižším než 7 (Strnadová, Janda 1999).

Kontaktní odželezování a odmanganování je způsob, který se využívá především k odstranění manganu. Proces je založen na filtraci pískem preparovaným vyššími oxidy manganu (používá se manganistan draselný KMnO_4). Nejdříve probíhá sorpce iontů, které se dále oxidují. Tento proces je možné použít i k sorpci iontů těžkých kovů, radioaktivních látek i amonných iontů (Žáček 1981).

K odželezování a odmanganování se využívají způsoby mechanické založené na provzdušňování vody (kaskády, sprchy, rozprašovací hubice apod.) nebo chemické založené na vyvločkování vody chemickými srážedky (Roth 1962).



Obr. č. 10 Zařízení na odkyselování, odželezování a odmanganování – kaskády, fontány a sprchy (Grünwald a kol. 1998)

4.6.5 Odkyselování vody

Jde o proces, kterým se z vody odstraňuje agresivní CO_2 způsobující korozi. Je součástí úpravy podzemních vod a často bývá spojováno s odželezováním a odmanganováním (Grünwald a kol. 1998).

Odkyselování lze provádět dvěma způsoby:

a) Mechanicky – odstraňování CO_2 provzdušňováním. Postup je založen na desorpci oxidu uhličitého z vody vzduchem. Zařízení jsou stejná jako v případě odstraňování železa a manganu provzdušňováním. Mechanický způsob je vhodný zejména u tvrdých vod, protože tvrdost vody se nezvyšuje (Pitter a kol. 1977).

b) Chemicky – odstraňování oxidu uhličitého spočívá v průtoku vody přes odkyselovací hmotu, na kterou se CO_2 váže. Jako odkyselovací hmotu lze použít mramor, magno, dolomit, fermago aj. Může se též použít hydroxid nebo uhličitán sodný (Strnadová, Janda 1999). Jelikož při chemickém odkyselování dochází ke

zvyšování tvrdosti, tak je to způsob vhodný u měkkých vod s nízkou koncentrací Ca^{2+} a Mg^{2+} .

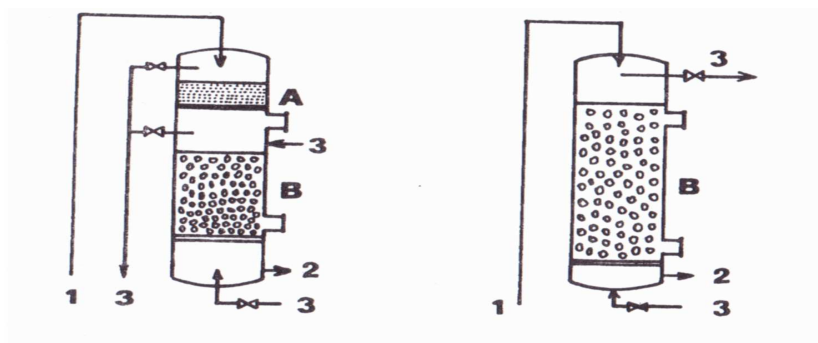
4.6.6 Adsorpce

Adsorpce lze úspěšně odstraňovat organické látky, které způsobují nepříjemnou chuť a zápach vody. Principem adsorpce je zachycování organických nečistot na povrchu adsorbentu. Mezi nejčastěji používané adsorbenty patří aktivní uhlí, sorpční hmoty na bázi měničů iontů a další sorpční materiály, jako např. oxidy kovů, hydroxidy, uhličitany aj. (Žáček 1988 ; Vostrčil a kol. 2005)

Z velkého množství tuhých látek s adsorpční schopností se při úpravě pitné vody využívá aktivní uhlí v práškové, nebo častěji v granulované formě (Grünwald a kol. 1998). Aktivní uhlí je vyráběno ze dřeva, rašeliny, lignitu a živičného uhlí.

Granulované aktivní uhlí (GAC) – plní se jím tlakové nebo otevřené filtry. Voda přiváděná na GAC filtry musí být předčištěna, aby se zabránilo ucpání lože filtru suspendovanými látkami nebo vysráženým CaCO_3 , Fe a Mn (Vostrčil a kol. 2005). Nejčastěji se tento stupeň zařazuje po čiření a filtraci vody.

Existují dva typy tlakových filtrů, buď jednovrstvé s náplní GAC nebo dvouvrstvé s náplní písek a GAC. Písek slouží k zachycení nerozpuštěných látek (Grünwald a kol. 1998).



Obr. č. 11 Schéma tlakových filtrů s GAC (Grünwald a kol. 1998)

1 – přítok, 2 – odtok, 3 – prací voda, A – písek, B – GAC

Práškové aktivní uhlí (PAC) – dávkuje se ve stádiu rychlomísení s koagulantem a odstraňuje se sedimentací, nebo se aplikuje ještě před čířičem s vločkovým mrakem a ve spojení s nízkotlakovými membránami (Vostrčil a kol. 2005).

Látky snadno odstranitelné adsorpcí (Grünwald a kol. 1998):

- aromatické uhlovodíky (benzen, toluen, nitrobenzen)
- chlorované aromatické uhlovodíky (PCB, chlorbenzen, chlornaftalen)
- fenoly a chlorfenoly
- pesticidy a herbicidy (DDT, heptachlor)
- vysokomolekulární látky (barviva, huminové látky)

4.6.7 Dezinfekce a oxidace

Dezinfekce vody je pochod, při kterém jsou zničeny patogenní organismy. Je také posledním krokem při úpravě pitné vody, a to jak povrchových, tak podzemních vod.

Základy ochrany vody před choroboplodnými zárodky sahají do doby první poloviny 19. století, kdy docházelo k urbanizaci a industrializaci. S tím související znečišťování vod, doprovázené šířením chorob (cholera, břišní tyfus aj.) (Tesařík a kol. 1987).

Vodu lze dezinfikovat způsoby chemickými, fyzikálními, případně jejich kombinacemi. Dezinfekce chemickými způsoby je založena na působení silných oxidačních činidel zneškodňující choroboplodné zárodky. Současně probíhá oxidace některých anorganických i organických látek přítomných ve vodě (Grünwald a kol. 1998). Mezi látky podléhající oxidaci patří látky huminové, bílkovinné, sacharidy, tuky, ropné produkty, tenzidy, fenoly, pesticidy, aromatické sloučeniny, a další látky. Ovšem oxidací některých těchto látek mohou vznikat látky nové, hygienicky závadné tzv. vedlejší produkty dezinfekce. Nejčastěji vznikají při použití chloru trihalogenmethany (THM) a další chlorované uhlovodíky, které mají toxické účinky (Hlaváč a kol. 2005). Vznik těchto toxických sloučenin je podmíněn přítomností, tzv. prekurzorů (určitých organických látek). K nejvýznamnějším prekurzorům v případě tvorby THM patří především huminové látky, dusíkaté organické sloučeniny,

městské splašky a v nich obsažené aminokyseliny a nachlorované organické látky vyšší molekulové hmotnosti, v menší míře také řasy a sinice (Břízová a kol. 1999).

Mezi další faktory ovlivňující vznik vedlejších produktů patří dávka dezinfekčního prostředku, teplota a pH vody.

Omezení vzniku vedlejších produktů dezinfekce lze v zásadě třemi způsoby (Grünwald a kol. 1998):

1. Snížením obsahu organických látek ve vodě před dezinfekcí, zařazením preoxidace činidly, která neobsahují chlor. Vhodný je ozon nebo manganistan draselný. Po preoxidaci následuje čiření, filtrace a nakonec dezinfekce.
2. Odstraněním prekurzorů tvorby vedlejších produktů dezinfekce po chloraci. Jedná se o využití sorpčních vlastností GAC.
3. Použitím jiných dezinfekčních činidel než chloru, při nichž vedlejší produkty nevznikají (UV záření) nebo vznikají ve velmi malých koncentracích (ozon, oxid chloričitý, chloraminy) (Hlaváč a kol. 2005).

Účinnost dezinfekce závisí na celé řadě faktorů (Hlaváč a kol. 2005):

- na charakteru a koncentraci anorganických a organických látek ve vodě
- na druhu a počtu mikroorganismů, bakterií a virů a na jejich odolnosti vůči dezinfekčním prostředkům
- na druhu a dávce dezinfekčního a oxidačního činidla
- na teplotě a pH vody
- na optimálním průběhu všech předřazených procesů, které mají eliminovat veškeré odstranitelné anorganické i organické složky včetně NH_4^+ , aby se zabránilo tvorbě výše zmiňovaných vedlejších produktů dezinfekce
- na zařazení oxidace do celého úpravárenského souboru. Při zařazení na konec souboru se sleduje většinou dezinfekční účinek, a vedlejším efektem je oxidace anorganických i organických složek z vody. Zařazením na začátek souboru (mezi první a druhý separační stupeň) se naopak sleduje oxidační účinek anorganických a organických složek a zvyšuje se efekt následujícího stupně úpravy, kterým je obvykle čiření.

Volba vhodného dezinfekčního činidla se ověřuje experimentálně technologickými zkouškami a to stanovením závislosti zbytkového obsahu dezinfekčního činidla na čase a dávce činidla.

Chlorování vody – chlor a jeho sloučeniny jsou stále nejpoužívanější, vzhledem k vysoké účinnosti, dostupnosti a snadnému dávkování. Nevýhodou chloru je již zmiňované působení na organické látky za vzniku THM a dalších chlorovaných látek, které mohou mít karcinogenní účinky. Tomu lze předejít použitím sloučenin chloru, např. chloraminy nebo oxid chloričitý. Účinek chlorování je závislý na hodnotě pH (při vyšším pH je účinek dezinfekce větší), na teplotě vody (se stoupající teplotou se snižuje jeho rozpustnost). Dávky chloru jsou závislé na jakosti vody, teplotě a době styku dezinfekčního prostředku s vodou. Dosahují hodnot asi 0,2 až 1,0 mg.l⁻¹ (Žáček 1988).

Chloraminace – chloraminy se vyrábějí přímo v upravované vodě dávkováním chloru a amonných iontů, zpravidla ve formě síranu amonného. Její nevýhodou je slabší účinek oproti samotnému chloru, ale na druhou stranu je zde i řada výhod, např. postupné uvolňování chloru, produkují podstatně nižší koncentrace vedlejších produktů (Strnadová, Janda 1999).

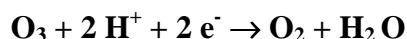
Oxid chloričitý – jeho výhodou je, že při jeho použití nevznikají chlorované uhlovodíky a chlorfenoly a jeho účinnost je méně závislá na pH. Jeho použití je však omezeno složitostí přípravy s většími náklady na dezinfekci (Žáček 1988). Z bezpečnostních důvodů se připravuje až na místě použití. K jeho výrobě se využívá reakce chloritanu sodného s chlorem nebo kyselinou chlorovodíkovou (Hlaváč a kol. 2005).

Ozonizace vody – první použití ozonu k dezinfekci se datuje 1891 v Berlíně, u nás až v roce 1914 (Tesařík 1982). Ozon je plyn, který se vyrábí ozonizací vlhkosti zbaveného vzduchu v ozonizátorech, v nichž se na vzduch působí elektrickým výbojem (Pitter a kol. 1977).

Je velmi účinným dezinfekčním a oxidačním činidlem, zlepšuje organoleptické vlastnosti vody. Je vhodný k odbarvování vody, odželezování a odmanganování i k oxidaci některých toxických látek ve vodě. Jeho nevýhodou je, že se ve vodě poměrně rychle rozpadá za vzniku atomárního kyslíku (Žáček 1988). Proto je po ozonizaci nutné provést stálejší zabezpečení, např. nízkými dávkami

chloru. Dochlorování zabrání ve vodovodním rozvodu rekontaminaci (Strnadová, Janda 1999).

Oxidace ozonem probíhá podle následující rovnice (Malý, Malá 1996):

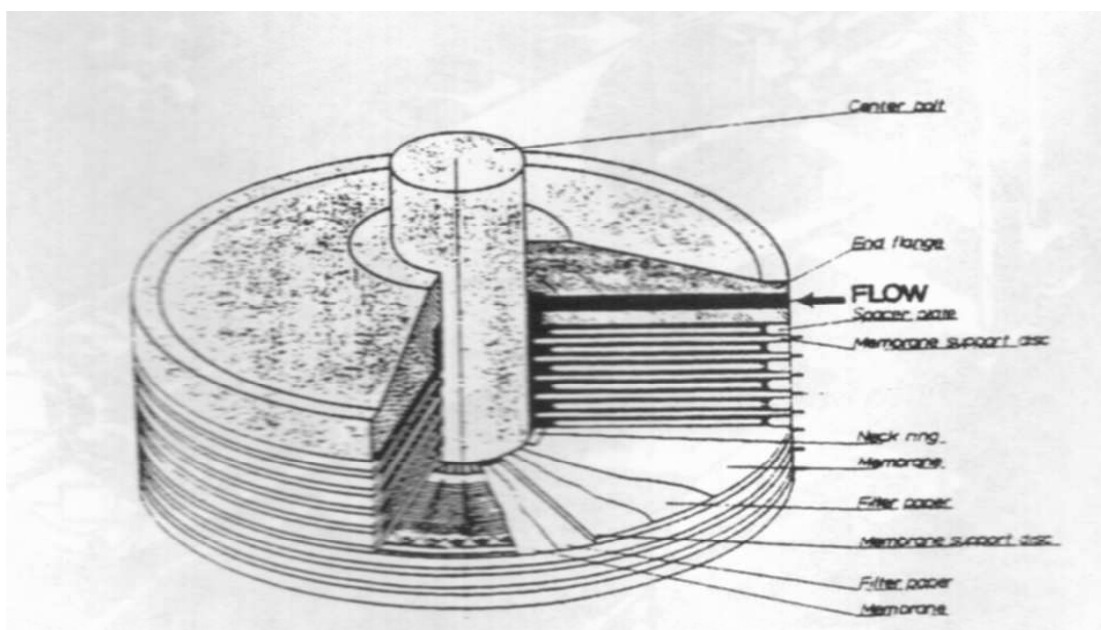


Dalšími méně využívanými způsoby, které se uplatňují především u malých zdrojů vody jsou dezinfekce UV zářením a využívání oligodynamických vlastností některých těžkých kovů – v praxi se dnes používá pouze stříbro a jeho soli (Strnadová, Janda 1999).

4.6.8 Membránové procesy

Jedná se o procesy fyzikální separace bez přídavku chemického činidla. Jako základní separační element se využívá selektivních, polopropustných (semipermeabilních) membrán, které mají schopnost zachycovat ve vodě přítomné částice různých velikostí, případně určitého elektrického náboje.

Membrány se zhotovují z acetátové celulózy, ze syntetických materiálů (polyamidů) nebo keramické na bázi Al_2O_3 a ZrO_2 . Vyrábějí se buď ve formě archů nebo jako trubky různých průměrů. Membrány jsou zabudovány do modulů (ochranná pouzdra), ty mohou být deskové (obr. č. 12), spirálovitě vinuté, trubkové nebo ve formě svazku dutých vláken (Grünwald a kol. 1998 ; Vostrčil a kol. 2005).



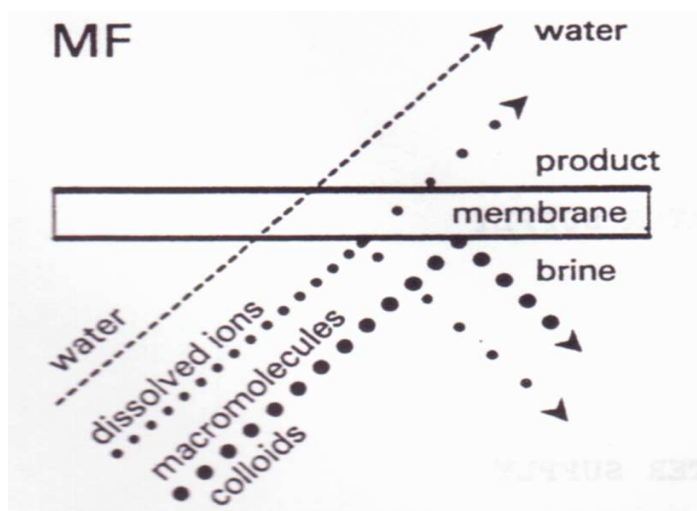
Obr. č. 12 Deskový modul (van Dijk 1998)

Uspořádání toku při membránových procesech je tzv. příčný tok, kdy upravovaná voda proudí velkou rychlostí podél povrchu membrán a permeát (kapalina, která projde membránou) odtéká v kolmém směru na vstupní proud. Tento pohyb zabraňuje kumulaci částic na povrchu membrán. Rychlost proudění je od několika setin až jednotek $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$, v závislosti na typu procesu a použitém membránovém modulu (Vostrčil a kol. 2005). Hnací silou membránových procesů může být rozdíl tlaků, rozdíl koncentrace složek nebo rozdíl elektrických potenciálů na obou stranách membrány.

Do skupiny membránových procesů lze zařadit mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu, případně elektrodialýzu (Grünwald a kol. 1998). Uvedené typy se navzájem liší velikostí používaných tlakových rozdílů, velikostí pórů a převažujícím transportním mechanismem. U mikrofiltrace a ultrafiltrace probíhá separace na základě různých velikostí a tvaru separovaných částic, a velikosti pórů membrán. Zatímco u nanofiltrace a reverzní osmózy je kromě velikosti pórů, důležitý i náboj povrchu membrány a náboj a difúzní vlastnosti separovaných částic (Vostrčil a kol. 2005).

Mikrofiltrace je vhodná pro separaci částic o velikosti $0,1\mu\text{m}$ až několik μm , provozovaná při tlacích 30 až 200 kPa. Využívá se k odstraňování suspendovaných částic a mikrobů, a také k úpravě kalové vody z praní filtrů (Vostrčil a kol. 2005).

Obrázek č. 13 ukazuje průchod různých látek přes membránu (voda, rozpuštěné ionty). Membrána zachycuje makromolekulární a koloidní látky.



Obr. č. 13 Princip mikrofiltrace (van Dijk 1998)

Ultrafiltrace je neoptimálnější membránový proces ve vodárenství, kterým lze separovat veškeré látky o velikosti menší než 0,1 μm , organické látky s molekulovou hmotností větší 10^5 Da, anorganické partikule, veškeré řasy, prvoky a bakterie, některé viry, huminové kyseliny a koloidy (www.vodnizdroje.cz/vodu.htm). Velikost pórů se pohybuje od 0,1 až $< 0,01\mu\text{m}$ a provozní tlak má rozsah 50 až 500 kPa. Tento způsob může nahradit primární dezinfekci (Vostrčil a kol. 2005).

Nanofiltrace probíhá při provozním tlaku od 0,5 až 0,7 MPa a odstraňuje organické látky s relativní molekulovou hmotností 500 až 1000 Da. Membrány s velikostí pórů cca 0,001 μm mají schopnost snížit koncentraci celkových rozpustných látek o 50 až 70 % ; vápník a hořčík až o 95 % (hovoří se o tzv. membránovém změkčování).

Reverzní osmóza je proces, který z vody odstraňuje veškeré rozpuštěné soli i organické látky, jejichž částice jsou menší než 0,002 μm . Provozní tlak bývá vyšší než 5 MPa. Tento proces není vhodný pro úpravu na vodu pitnou. Uplatňuje se při odsolování mořské vody. (Vostrčil a kol. 2005 ; Grünwald a kol. 1998)

Úprava vody a filtrační technologie									
Mikrony	0,0001	0,001	0,01	0,1	1,0	10	100	1000	
Příklady	Ionty kovů	Vodné soli	Koloidní viry	Bakterie		Pyly Jemný písek			
Filtrační technologie				Mikrofiltrace		Filtrace pevných částic			
				Ultrafiltrace					
				Nanofiltrace					
	Hyperfiltrace								

Obr. č. 14 Volba způsobu filtrace v závislosti na velikosti částic (www.powerplastics.cz)

5. Úprava pitné vody v Hradci Králové

Pro Hradec Králové jsou využívány podzemní zdroje pitné vody z jímacího území Litá. Toto prameniště spadá do „Podorlické křídy“. Soustavou vrtaných studní je jímána voda spodnoturonského stáří s artéským stropem. Studny prameniště patří svoji vydatností k nejvýznamnějším zdrojům Východočeské vodárenské soustavy.

Tato podzemní voda je středně mineralizovaná, velmi tvrdá 3,8 – 4,3 mmol Ca + Mg a trvalá hodnota CHSK je pod 1 mg/l, to znamená, že jde o kvalitní zdroj. Pouze u tří zdrojů byl zjištěný zvýšený obsah železa. Podzemní voda je takové kvality, že se obejde bez výraznějších chemických zásahů. Jedná se o úpravu jednostupňovou s odželezněním (odstranění železa oxidací chlorem) a následnou filtrací na tlakových rychlofiltrech (Broncová 2006).

Při nedostatku podzemní vody je nutné, využít povrchovou vodu z řeky Orlice. Proces úpravy je zde mnohem složitější a neobejde se bez použití různých chemikálií.

Kvalita vody je závislá na průtocích, je charakteristická středním organickým znečištěním, při nízkých průtocích s vysokým biologickým oživením a nepříznivými organoleptickými vlastnostmi.

Úprava vody má více stupňů. První stupeň tvoří čičiče. K čiření se používá jako koagulant síran železitý a pomocný flokulant značky Praestol. Na doúpravu pH se dává vápno, ale uvažuje se o přechodu na NaOH (Ing. Pavel Král, Ph.D., III. 2010, in verb). Druhým stupněm je otevřená písková filtrace s dvouvrstvou náplní a třetím stupněm jsou tlakové filtry s granulovaným aktivním uhlím. Před čičiče je zařazena preozonizace, která má zvýšit efektivitu procesu čiření. Po filtraci na pískových filtrech následuje doozonizace. Nakonec před čerpáním do sítě se hygienicky zabezpečuje chlorem. Používá se plynný chlor nebo chlornan sodný (Ing. Pavel Král, Ph.D., III. 2010, in verb). Schéma technologie úpravy surové vody z Orlice je uvedeno v **příloze č. 2**.

Část vody pro Hradec Králové je nakupována prostřednictvím Východočeské vodárenské soustavy, z regionu Náchod a Pardubice. V obou případech jde o kvalitní zdroje podzemní vody (www.khp.cz).

V tabulce jsou uvedeny vybrané ukazatele kvality pitné vody ve vodovodní síti v Hradci Králové.

Tab. č. 9 Průměrné hodnoty vybraných ukazatelů kvality pitné vody v síti Hradec Králové (www.khp.cz)

	Jednotka	Limit	Průměrná hodnota v síti
Mikrobiologické			
Escherichia coli	KTJ/100 ml	0	0
Koliformní bakterie	KTJ/100 ml	0	0
Chemické ukazatele			
Tvrдост	mmol/l	2 – 3,5 (DH)	3,4 (velmi tvrdá)
Dusičnany	Mg/l	50	15,9
pH reakce	-	6,5 – 9,5	7,11
Železo	Mg/l	0,20	0,13
Mangan	Mg/l	0,05	0,03
Zákal	ZFn	5	1,4
Sírany	Mg/l	250	98,7
Chloridy	Mg/l	100	25,6

6. Diskuse a závěr

Práce měla poskytnout v úvodní kapitole náhled do historie zásobování pitnou vodou. Vývoj dopravy vody od počátku, kdy se voda musela donášet z řek do obydlených míst až po výstavbu vodovodů a zásobování přímo do domů.

Obor vodárenství se kromě dalšího zabývá jímáním a odběrem surové vody. Přednostně se využívají vody podzemní, jejichž úprava není tolik náročná na úpravárenské stupně a tudíž ekonomicky přijatelnější. Bohužel jí není v dostatečném množství a proto je nutné odebírat vodu z povrchových zdrojů, která je z hlediska množství dostačující, ale z hlediska kvality mnohem horší. Povrchové vody nejsou chráněny před znečištěním, hlavně z lidské činnosti. Tato antropogenní znečištění jsou z vody hůře odstranitelná a to si žádá vysoké náklady na jejich odstranění. Alternativou bývá posilování zdrojů podzemní vody umělou infiltrací.

Získaná voda, ať z povrchových či podzemních zdrojů vyžaduje vždy určitou úpravu vlastností, aby splňovala daná kritéria jakosti. Málodky stačí pouze hygienické zabezpečení, které je nutné vždy. U podzemních vod spočívají procesy

především v odstraňování oxidu uhličitého, železa a manganu. Mezi klasické způsoby úpravy povrchových vod patří zejména proces číření a následná filtrace vysrážených nečistot.

Pomalou filtraci, která napodobuje přirozené samočistící procesy v přírodě, nahrazuje rychlá filtrace. Ta je výhodnější z hlediska výkonu, rychlosti a také je méně náročná na prostor. Pro zvýšení kapacity úpravny je vhodné použít dvouvrstvé filtry s filtrační náplní písek - antracit nebo písek – granulované aktivní uhlí. Tyto dvouvrstvé filtry prodlužují filtrační cyklus. Je to proto, že vrchní hrubší vrstva propouští jemnější částičky, takže dochází k menšímu zanášení než u klasické pískové filtrace.

V současné době se začínají uplatňovat membránové procesy, ale zatím jen v malé míře. Je to kvůli vysokým provozním nákladům. Oproti klasickým procesům úpravy vody mají řadu výhod. Upravená voda je vysoké kvality s nízkou spotřebou chemikálií. Odstraňují i mikrobiologické znečištění a proto mohou nahradit primární dezinfekci.

Při zpracování bakalářské práce jsem si uvědomila kolik energie je třeba vynaložit k tomu, abychom mohli bez obav požívat vodu z kohoutku. Avšak kvalita této vody je na vysoké úrovni, hlavně díky tomu, že její výroba je řízena řadou právních předpisů a norem. Voda podléhá též důslednému monitoringu a to již u zdroje, dále v úpravně a nakonec i v distribuční síti u spotřebitele.

7. Použitá literatura

- **AMBROŽOVÁ J., 2003:** Aplikovaná a technická hydrobiologie. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- **BRONCOVÁ D. [ed], 2006:** Voda pro všechny. Vodárenské soustavy v ČR. Milpo media s.r.o., Praha.
- **BRUUN C., 1991:** The Water Supply of Ancient Rome: a Study in Roman Imperial Administration. Societas Scientific Fennica, Helsinki.
- **BŘÍZOVÁ E., KOŘÍNEK P., SVOBODOVÁ V., 1999:** Význam a stanovení vedlejších produktů dezinfekce v pitné vodě. Sborník konference Pitná voda 1999. W&ET Team, České Budějovice. 29 - 34.
- **DOLEJŠ P., 2009:** Provozní optimalizace a vývojové trendy vodárenské filtrace. Vodní hospodářství 2: 37 – 39.

- **GRÜNWARD A., 1997:** Hydrochemie. České vysoké učení technické, Praha.
- **GRÜNWARD A., 2002:** Zdravotně inženýrské stavby 40. Úprava vody. České vysoké učení technické, Praha.
- **GRÜNWARD A., MACEK L., ŠRYTR P., 1998:** Vodárenství. Česká komora autorizovaných inženýrů a techniků, Praha.
- **HLAVÁČ J., BIELA R., CICVÁRKOVÁ L., DOLEJŠ P., HUŠKOVÁ R., MERGL V., NOVÁK J., ŽÁČEK L., 2005:** Vodárenství. Elektronická učebnice. Brno.
- **HORÁKOVÁ M., A KOLEKTIV, 2000:** Analytika vody. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- **HUISMAN L., VAN DIJK J. C., 1998:** Rapid Filtration. Delft University of Technology. Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- **JÁSEK J., 1997:** Klenot města: historický vývoj pražského vodárenství. VR ateliér, Praha.
- **JÁSEK J., a kolektiv, 2000:** Vodárenství v Čechách, na Moravě a ve Slezsku. Milpo media, Praha.
- **JUUTI S.P., KATKO S. T., VUORINEN S. H. [eds], 2007:** Environmental History of Water: Global Views on Community Water Supply and Sanitation. IWA Publishing, London.
- **KROUPA P., 1967:** Základy zdravotního inženýrství. Díl 1., Vodárenství. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- **KUČERA V., 2008:** Architektura inženýrských staveb. Grada, Praha.
- **KUKLA V., 1981:** Zásobování vodou a kanalizace pro 3. a 4. ročník SPŠ stavebních. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- **LISOVÝ I., 2006:** Řím věčný a okouzující: průvodce dějinami a kulturou starověkého města. Repronis, Ostrava.
- **MALÝ J., MALÁ J., 1996:** Chemie a technologie vody. NOEL 2000 s.r.o., Brno.
- **MARTOŇ J., TÖLGYESSY J., HYÁNEK L., PIATRIK M., 1984:** Získavanie, úprava, čistenie a ochrana vôd. Alfa, Bratislava.
- **PITTER P., 1999:** Hydrochemie. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- **PITTER P., SLÁDEČEK V., GRÜNWARD A., 1977:** Hydrochemie, obecná technologie vody a hydrobiologie. České vysoké učení technické, Praha.
- **PLECHÁČ V., 1989:** Voda – problém současnosti a budoucnosti. Svoboda, Praha.
- **PLECHÁČ V., 1999:** Vodní hospodářství na území České republiky, jeho vývoj a možné perspektivy. Evan, Praha.
- **PODHORSKÝ J., ŽÁČEK L., 1975:** Úpravny vody a jejich provoz. Ministerstvo lesního a vodního hospodářství ČSR, Praha.
- **ROTH J., 1953:** Vodárenství. Díl 3, jímání vodních zdrojů. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- **ROTH J., 1962:** Vodárenství. Díl 4, úprava vody. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

- **SOBOTA J., 2006:** Studijní texty předmětu Vodárenství a stokování, 1. část, Vodárenství. Česká zemědělská univerzita, Praha.
- **STRNADOVÁ N., JANDA V., 1999:** Technologie vody I. Vysoká škola chemicko-technologická, Praha.
- **ŠTÍCHA V., CUREV ATANAS G., 1969:** Vodárenství: zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství pitnou a užitkovou vodou. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- **TESAŘÍK I., 1982:** Vodárenství. Úprava vody. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- **TESAŘÍK I., 1987:** Vodárenství. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- **VAN DIJK J. C., 1998:** Membrane Filtration. Delft University of Technology. Faculty of Civil Engineering and Geosciences.
- **VITRUVIUS POLLIO M.** [z latinského originálu přeložil Otoupalík A.], **2001:** Deset knih o architektuře. Arista a Baset, Praha.
- **VOSTRČIL J., HUBÁČKOVÁ J., ŠTAMBEROVÁ M., 2005:** Jakost surových vod a jejich upravitelnost ve vodárnách ČR (s využitím zahraničních zkušeností). Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, Praha.
- **ZEMAN O., MORAVEC J., 1944:** Technologie vody. Ústav pro učební pomůcky průmyslových a odborných škol, Praha.
- **ŽÁČEK L., 1981:** Chemické a technologické procesy úpravy vody. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.
- **ŽÁČEK L., 1988:** Příručka pro kontrolu a řízení provozu úpraven vody. Státní nakladatelství technické literatury, Praha.

Internetové zdroje

- **FONTANA R, s.r.o., 2009:** Strojní česle hrubé. Výrobce zařízení pro čistírny a úpravny vod, Brno, online: www.fontanar.cz/czech.html, staženo: 20. 4. 2010.
- **KRÁLOVÉHRADECKÁ PROVOZNÍ, a.s., 2010:** Kvalita vody. Hradec Králové, online: <http://www.khp.cz/kvalita-vody.html>, staženo: 6.3. 2010.
- **KRÁLOVÉHRADECKÁ PROVOZNÍ, a.s., 2010:** Vodovodní síť v Hradci Králové. Hradec Králové, online: <http://www.khp.cz/vodovodni-sit-v-hradci-kralove.html>, staženo: 6.3. 2010.
- **MIKROREGION ŽELIVKA, 2000 - 2010:** Vodní dílo Želivka, online: http://www.zelivka.cz/article.asp?article_id=17, staženo: 20.1. 2010.
- **MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2003:** Zásobování pitnou vodou. Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2002, Praha: 43, online: <http://eagri.cz/public/eagri/voda/publikace-a-dokumenty/modre-zpravy/zprava-o-stavu-vodniho-hosp-2002.html>, staženo: 18.4. 2010.
- **MINISTERSTVO ZEMĚDĚLSTVÍ, 2009:** Zásobování pitnou vodou. Zpráva o stavu vodního hospodářství ČR v roce 2008, Praha: 43, online: http://eagri.cz/public/eagri/file/6531/modra_zprava_2008.pdf, staženo: 18.4. 2010.

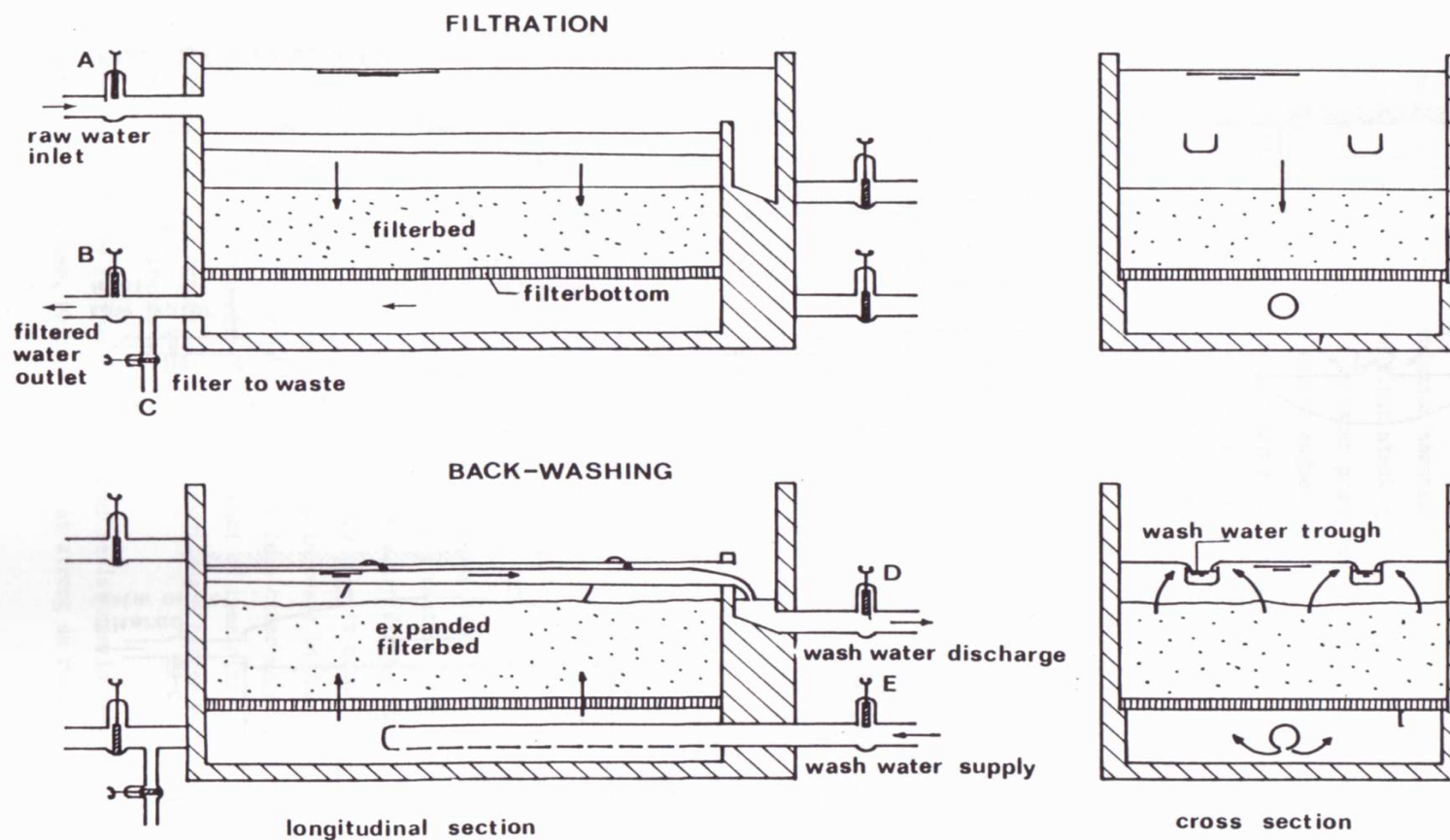
- **OFICIÁLNÍ STRÁNKY OBCE KÁRANÝ, 2008:** Pražské vodovody a kanalizace a.s., vodárna Káraný. Káraný, online: <http://www.karany.cz/firmy-v-obci/prazske-vodovody-a-kanalizace-as-vodarna-karany>, staženo: 20.1. 2010.
- **POWER PLASTICS, s.r.o., 2010:** Membránové systémy a reverzní osmózy. Úprava vody a filtrační technologie. Žďár nad Sázavou, online: <http://www.powerplastics.cz/cisteni-vody-membranova-filtrace>, staženo: 1.3. 2010.
- **PRAŽSKÉ VODOVODY A KANALIZACE, a.s., 2010:** Zdroje surové vody pro úpravu na vodu pitnou. Praha, online: <http://www.pvk.cz/upravny-vody.html>, staženo: 20.1. 2010.
- **PRAŽSKÉ VODOVODY A KANALIZACE, a.s., 2010:** Výroba a dodávka vody. Výroba vody v roce 2009. Praha, online: <http://www.pvk.cz/vyroba-a-dodavka-vody.html>, staženo: 20.1. 2010.,
- **ROGER D. HANSEN, 2009:** Water and Wastewater Systems in Imperial Rome. Online: <http://www.waterhistory.org/histories/rome>, staženo: 14.12. 2009.
- **VODNÍ ZDROJE, a.s., 2007:** Ultrafiltrace. Praha, online: <http://www.vodnizdroje.cz/vodu.htm>, staženo: 1.3.2010.
- **WIKIPEDIE – OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIJE, 2009:** Akvadukt. Online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/akvadukt>, staženo: 14.12. 2009.
- **WIKIPEDIE – OTEVŘENÁ ENCYKLOPEDIJE, 2010:** Studna. Online: <http://cs.wikipedia.org/wiki/studna>, staženo: 20.1. 2010.
- **WILKE D. SCHRAM, 2004:** A Roman Aqueduct, online: <http://www.romanaqueducts.info/introduction/index.html>, staženo 14.12. 2009.

Legislativa

- **ZÁKON č. 254/2001 Sb.,** zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).
- **VYHLÁŠKA MINISTERSTVA ZDRAVOTNICTVÍ č. 252/2004 Sb.,** kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.
- **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.
- **NAŘÍZENÍ VLÁDY č. 61/2003 Sb.,** o ukazatelích a hodnotách přípustného znečištění povrchových vod a odpadních vod, náležitostech povolení k vypouštění odpadních vod do vod povrchových a do kanalizací a o citlivých oblastech.
- **SMĚRNICE RADY 98/83/ES,** o jakosti vody určené pro lidskou spotřebu.
- **ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1994:** ČSN 75 5201 Vodárenství. Navrhování úpraven pitné vody. Praha, 20 s.
- **ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 1998:** ČSN 75 7221 Jakost vod – Klasifikace jakosti povrchových vod. Praha, 12 s.

- **ČESKÝ NORMALIZAČNÍ INSTITUT, 2008:** ČSN 75 0150 Vodní hospodářství – Terminologie vodárenství. Praha, 48 s.

8. Přílohy



Obr. č. 15 Princip otevřené rychlofiltrace a praní filtrační náplně (Huisman, van Dijk 1998)

TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ÚPRAVY PITNÉ VODY V HRADCI KRÁLOVÉ

Příloha č. 2

