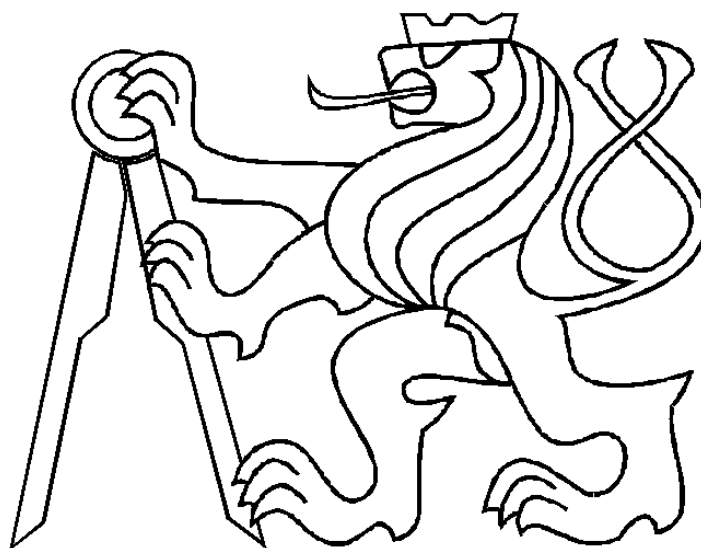


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav procesní a zpracovatelské techniky



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Zařízení pro výrobu pitné vody

2017

Stanislav Viktora

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Viktora** Jméno: **Stanislav** Osobní číslo: **423335**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav procesní a zpracovatelské techniky**
Studijní program: **Teoretický základ strojího inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Zařízení pro výrobu pitné vody

Název bakalářské práce anglicky:

Equipment for drinking water production

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte literární rešerši se zaměřením na výrobu pitné vody úpravou surové vody. Při zpracování rešerše se zaměřte zejména na:

- 1) Vlastnosti pitné vody.
- 2) Postup výroby pitné vody, schéma technologie pro úpravu surové vody na vodu pitnou.
- 3) Hlavní části a komponenty linky pro úpravu vody.

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

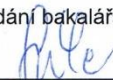
doc. Ing. Radek Šulc Ph.D., ústav procesní a zpracovatelské techniky FS


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **10.04.2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **09.06.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:


Podpis vedoucí(ho) práce


Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

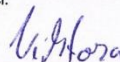

Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

19-04-2017

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Praze dne

.....

Jméno a příjmení

Poděkování

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Radkovi Šulcovi Ph.D. za pomoc, cenné rady a věcné připomínky při zpracování této práce. A dále bych chtěl poděkovat firmě Želivská provozní a.s. za umožnění přístupu k informacím.

Anotační list

Jméno autora	Stanislav Viktora
Název BP / DP	Zařízení pro výrobu pitné vody
Anglický název	Equipment for drinking water production
Akademický rok	2016/2017
Ústav / odbor	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
Vedoucí BP / DP	doc. Ing. Radek Šulc Ph.D.
Konzultant	
Bibliografické údaje	Počet stran: 45 Počet obrázků: 30 Počet tabulek: 6 Počet příloh: bez příloh
Klíčová slova	pitná voda, úprava vody, písková filtrace
Key words	drinking water, water treatment, sand filters
Anotace	Tato bakalářská práce se zabývá úpravou pitné vody. Popisuje pitnou vodu, úpravu vody v jednotlivých krocích a Úpravnu vody Želivka. Výpočetní část je zaměřena na výpočet energetického potenciálu štolového přivaděče vody do Prahy (Jesenice) a filtračních cyklů.
Abstract	This bachelor thesis focuses on the treatment for drinking water. Drinking water, individual processes of the treatment for drinking water and Upravna vody Zelivka are described. In the calculative part, the focus is given to energy potential in the stole to Prague (Jesenice) and filtration cycle.

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Pitná voda	8
3	Technologie úpravy vody	9
3.1	Mechanické způsoby úpravy.....	9
3.2	Chemické způsoby úpravy vody	12
3.3	Zdravotní zabezpečení	13
3.4	Kaly a odpady	14
4	Úpravna vody Želivka	15
4.1	Vodárenská nádrž Želivka – základní údaje:	16
4.2	Hráz a sdružený objekt.....	17
4.3	Čerpací stanice surové vody (ČSSV).....	18
4.4	Úpravna vody.....	19
5	Úpravní linka	20
5.1	Strojovna filtrace.....	24
5.2	Ozonizace.....	25
5.3	GDS systém (Gas Dispersion System).....	26
5.4	Alkalizace vápenným hydrátem.....	27
5.5	Chlorování.....	29
5.6	Regulační vodojemy.....	29
6	Štolový přivaděč Želivka	30
7	Likvidace kalů.....	31
7.1	Kalová nádrž Rýzmburk	31
8	Odhad energetického potenciálu štolý Želivka-Jesenice	33
9	Výpočet spotřeby vody za jeden filtrační cyklus (nejkratšího a nejdelšího)	38
10	Závěr	41
11	Seznamy.....	42
11.1	Seznam obrázků.....	42
11.2	Seznam zkratk	43
11.3	Seznam zdrojů.....	44

1 Úvod

Bydlím nedaleko Úpravny vody Želivky a vždy mě zajímalo, jak vznikne průhledně čistá a pitná voda, kterou má každý k dispozici díky vodovodnímu systému. Bereme čistou a pitnou vodu jako naprostou samozřejmost v našem životě. Následně vrácenou znečištěnou vodu do kanalizačních systémů od uživatelů, musíme zpětně zpracovat a upravit, aby neškodila životnímu prostředí. Teprve tehdy kdy k ní ztratíme přístup, zjistíme, jak je pro náš život zdroj pitné vody klíčový a nezbytný. Vodní hospodaření ovlivňuje přímo životní prostředí a měli bychom mu věnovat velikou pozornost.

Nedostatečné množství kvalitních podzemních zdrojů vody nás nutí upravovat vodu povrchovou, kterou teprve poté můžeme distribuovat. Když se podíváme na jezera se zásobou pro úpravu pitné vody, tak i když se voda v nich jeví čistá, není pitná jako ta z vodovodu. Povrchová voda obsahuje bakterie a má i různorodý charakter, který se mění dle geologických, meteorologických a jiných poměrů. Ze zmíněných důvodů jsem svou práci zaměřil na jednu z výrobních linek Úpravny vody Želivka.

2 Pitná voda

Parametry pitné vody definuje vyhláška 252/2004 Sb., která je v souladu se směrnicí Rady 98/83/ES o jakosti vody určenou pro lidskou spotřebu. Stanoví hygienické limity mikrobiologických, biologických, fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů

- jakosti
- 1) pitné vody
 - 2) pitné vody balené
 - 3) teplé vody

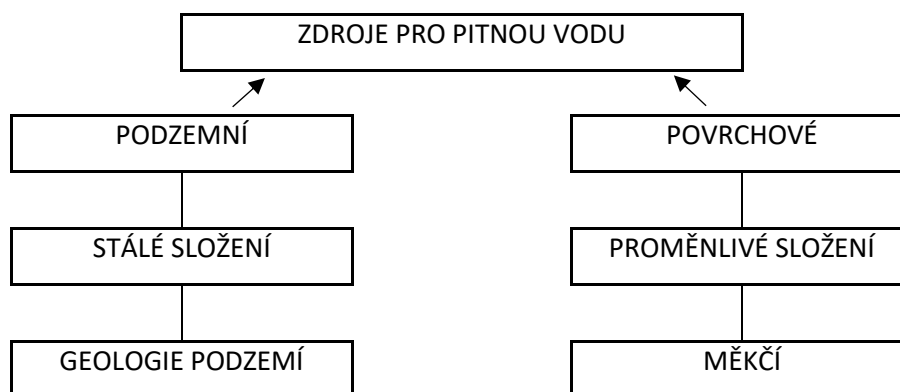
dodávané potrubím užitkové vody nebo vnitřním vodovodem, které jsou konstrukčně propojeny směšovací baterií s vodovodním potrubím pitné vody (dále jen "teplá voda"), jakož i vody teplé vyráběné z individuálního zdroje pro účely osobní hygieny zaměstnanců.

Vyhláška dále stanoví rozsah a četnost kontroly dodržení jakosti pitné vody a požadavky na metody kontroly jakosti pitné vody.“

Pitná voda se získává v ČR úpravou vody surové. Surovou vodu čerpáme buď ze zdrojů podzemních nebo povrchových. V ČR pochází zhruba 50 % surové vody pro úpravu na vodu pitnou ze zdrojů povrchových. [1]

3 Technologie úpravy vody

Surové vody pro úpravu pitné vody lze podle původu rozdělit na podzemní a povrchové – viz obr. 1.



Obr. 1: Schéma zdrojů pro pitnou vodu

Povrchová voda čerpaná z potoků, řek a vodních nádrží je směs vody pramenité, dešťové a vody ze splachů z povodí náležícímu ke zdroji. Co se týká tvrdosti, bývají tyto vody měkčí, avšak obsahují organické látky, koloidní látky, řasy a kaly. Složení těchto vod bývá proměnlivé v závislosti na ročním období a na počasí. Obecně lze říci, že úprava povrchové vody na vodu pitnou se v celém světě provádí na stejném principu a to mechanickém, chemickém, biologickém nebo fyzikálně-chemickém. Při volbě technologického postupu se přihlíží ke stavu vody odebírané ze zdroje. Vzhledem k tomu, že se tento stav mění, bývají i technologické postupy rozdílné.

Podzemní voda se nachází v půdě, nesoudržných horninách a mezi póry a puklinami. Složení této vody závisí na geologických útvarech, kterými protéká. Bývá čirá se stálou teplotou a stálým chemickým složením. Úprava této vody nevyžaduje zdaleka tak náročné postupy jako při úpravě povrchových vod, avšak její zdroje jsou omezené. [2]

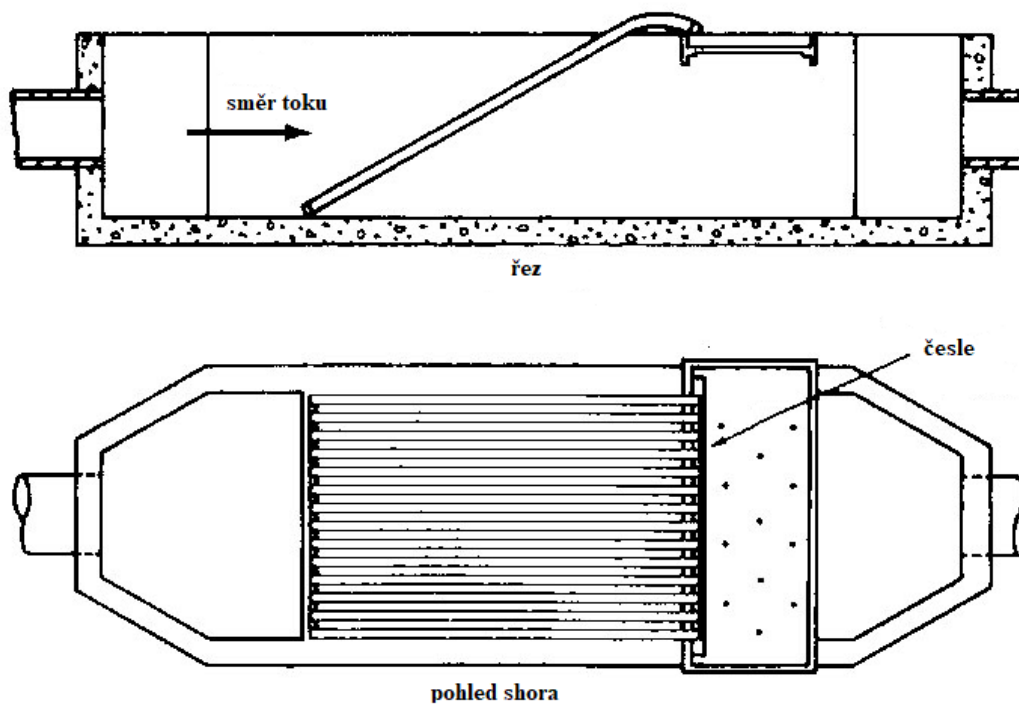
3.1 Mechanické způsoby úpravy

Nejjednodušší metodou separace tuhých nečistot je mechanické cezení pomocí česel a sít. Česle rozdělujeme podle velikosti mezer mezi česlicemi na hrubé, střední a jemné.

Hrubé česle o světlosti 50 až 150 mm.

Střední česle o světlosti 20 až 50 mm.

Jemné česle o světlosti 5 až 20 mm. [3]

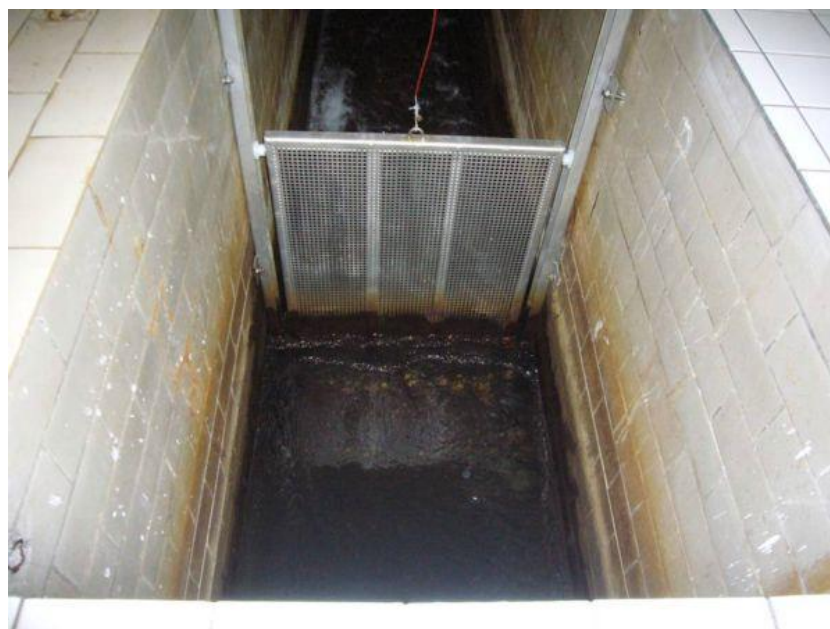


Obr. 2: Česle

[2]

Rychlost průtoku mezi česlicemi musí být taková, aby nedocházelo k usazování a ani k protlačování částic mezi česlicemi. Česle se nejčastěji užívají jako mechanická zábrana před proniknutím velkých nečistot (větve, trávy atd.) do jímacích objektů – viz obr. 2.

Síta užívaná ve vodárenství za česly mívají čtvercová oka o rozměrech 2 až 4 mm a slouží k odstraňování nečistot, které projdou česly – viz obr. 3.

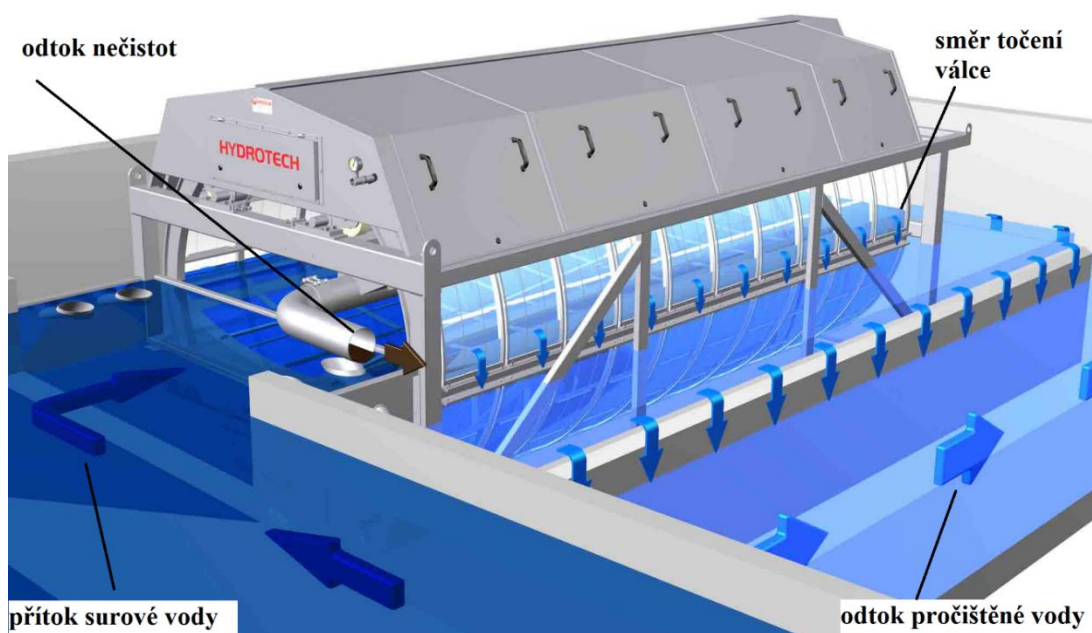


Obr. 3: Síto

[12]

K odstraňování nejmenších částic nečistot při mechanické úpravě vody se užívá tzv. mikrocezení na mikrocezu – viz obr. 4. [3]

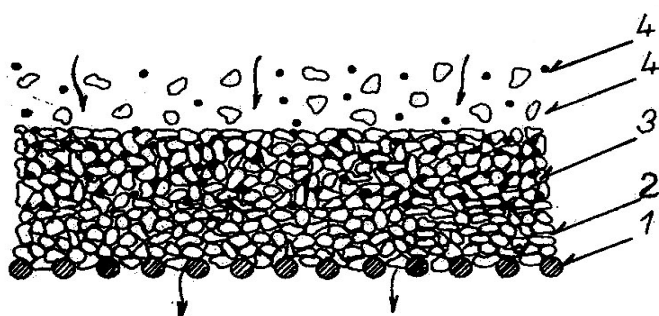
Hlavní částí mikrocezu tvoří válec, jehož plášť je zhotoven ze síta. Dovnitř válce je přiváděna voda, která protéká síťovým pláštěm válce. Nečistoty se zachycují na síťovém plášti uvnitř válce. Aby se síto během několika minut neucpalo, je válec částečně ponořen ve vodě a pomalu se otáčí. Část válce vynořená nad vodou je z vnější strany neustále oplachována. Nečistoty, které prací trysková voda uvolní ze sít, jsou odváděny kalovým žlabem, který je nainstalován uvnitř válce nad hladinou.



Obr. 4: Princip fungování mikrocezu

[13]

Náplavné filtry využívají k zachycování částic nečistot vrstvu naplavených a zachycených částic zátaku. Na pevném rámu je umístěno nosné tkanivo s mostící vrstvou materiálu. Přitékající nečistoty s vodou vytvoří další vrstvu, která působí jako filtrační blána. Po dosažení maximálního objemu je třeba tuto vrstvu odstranit a proces se může opakovat. Mezery mezi zrnky jsou nepatrné, což umožňuje zachytit částice velikosti 1 mikron – viz obr. 5. [3]



1 — tkanivo, 2 — mostící vrstva,
3 — naplavená vrstva,
4 — nečistota

Obr. 5: Kolmatace náplavného filtru

[2]

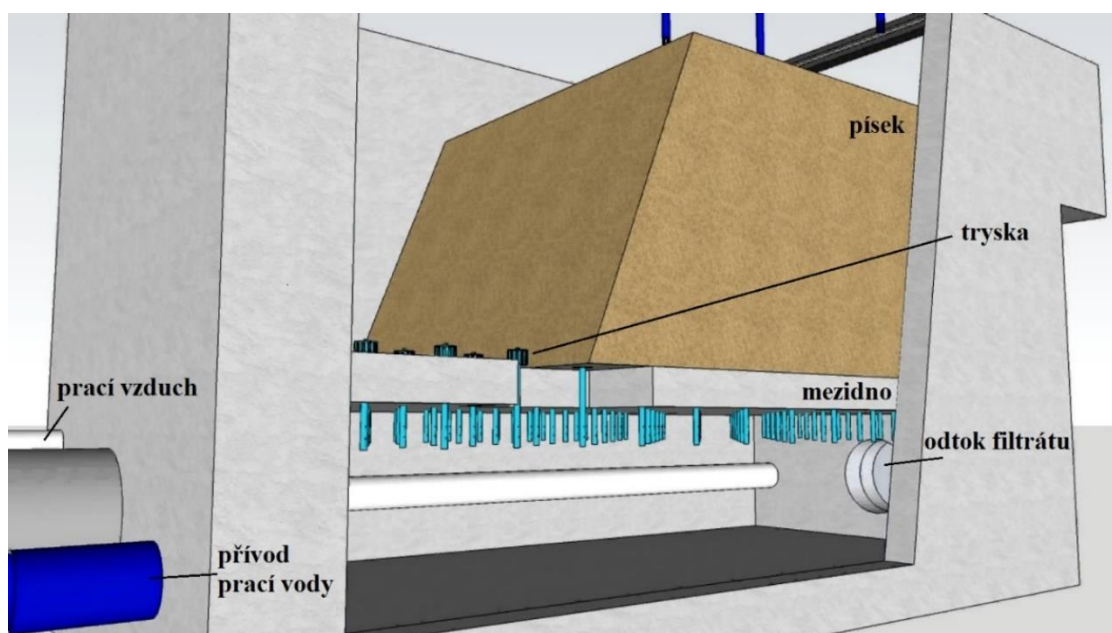
3.2 Chemické způsoby úpravy vody

Po odstranění větších nečistot mechanickými filtry následuje ve většině vodárenských zařízení chemická úprava tzv. čiření. Při této technologii se dávkuje vhodné chemikálie (srážedla, koagulant) v optimálním množství do surové vody. Přidaná chemikálie vysráží v upravované vodě vločky, které na sebe při průtoku usazovací nádrží fyzikálně-chemickými pochody váží nečistoty. Zachycené nečistoty jsou potom odstraňovány odkalovacím zařízením. Vyčiřená voda je odváděna na další stupeň úpravy – pískové rychlofiltry, kde jsou zachyceny zbývající vločky.

Pískové rychlofiltry jsou betonové nádrže s dvojitým dnem – viz obr. 6. V prostoru mezi dny jsou nainstalovány filtrační hlavice s otvory menšími, než jsou zrna filtračního písku. Na mezidně je uložena vrstva filtračního písku. Upravovaná voda je přiváděna do horní části filtru. Voda prochází filtračním pískem, kde se zachycují nečistoty do prostoru mezidna, odkud se odvádí na další stupeň úpravy. Vodu takto zbavenou nečistot je možno dále chemicky upravovat. Dalším stupněm chemické úpravy je obvykle takzvané zdravotní zabezpečení.

Dojde-li k zanesení filtrační vrstvy nečistotami, je nutné zanesený filtr vyprat. To se provádí intenzivním obráceným proudem prací vody a pracího vzduchu za pomoci pracích čerpadel a dmychadel.

Takto uvolněné nečistoty z filtračního písku jsou odváděny spolu s prací vodou vrchní částí filtru potrubím do kalových lagun. [4] [5]



Obr. 6: Řez pískovým filtrem

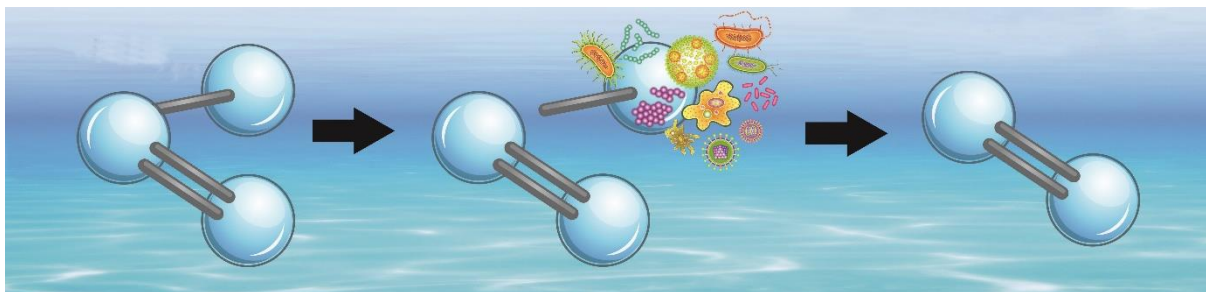
[14]

3.3 Zdravotní zabezpečení

Účelem zdravotního zabezpečení je zajistit předepsané biologické a mikrobiologické parametry vody během distribuce k zákazníkovi. Pro zdravotní zabezpečení upravené vody se ve vodárenství nejčastěji používá chlor. K dávkování chloru se vyrábí velké množství zařízení pro přímé i nepřímé dávkování. Při přímém dávkování se plynný chlor rozptýluje nejčastěji pomocí porézní keramiky do vody. Při nepřímém dávkování se nejdříve připraví roztok o koncentraci 2 až 5 procent, který se poté zavádí do vody. Velké úpravný v ČR dováží chlor v tlakových sudech. Malé úpravný jej nakupují ve formě chlornanu.

Dalším desinfekčním činidlem s dlouholetou tradicí ve vodárenství je ozon.

Ozon je nestabilní plyn, který se samovolně rozpadá na kyslík. Z tohoto důvodu jej není možno skladovat. Je nutné jej vyrábět přímo na úpravnách. Zařízení na výrobu ozonu se nazývají generátory ozonu, nejčastěji pracují na principu vysokonapětového výboje. Výboj štěpí pracovní médium – kyslík ve vzduchu nebo čistý kyslík na atomární kyslík, který se dále slučuje s molekulou kyslíku a tvoří O_3 . Ozon, tak jako chlor, může být do vody zaváděn přímo nebo nepřímo. U přímého dávkování se ozon nechává probublávat upravovanou vodou ve směšovací nádrži. U nepřímého dávkování je z přívodního potrubí upravované vody odebírán dílčí proud, který je veden přes injektor ozonu. [5]



Obr. 7: Princip ozonizace

[15]

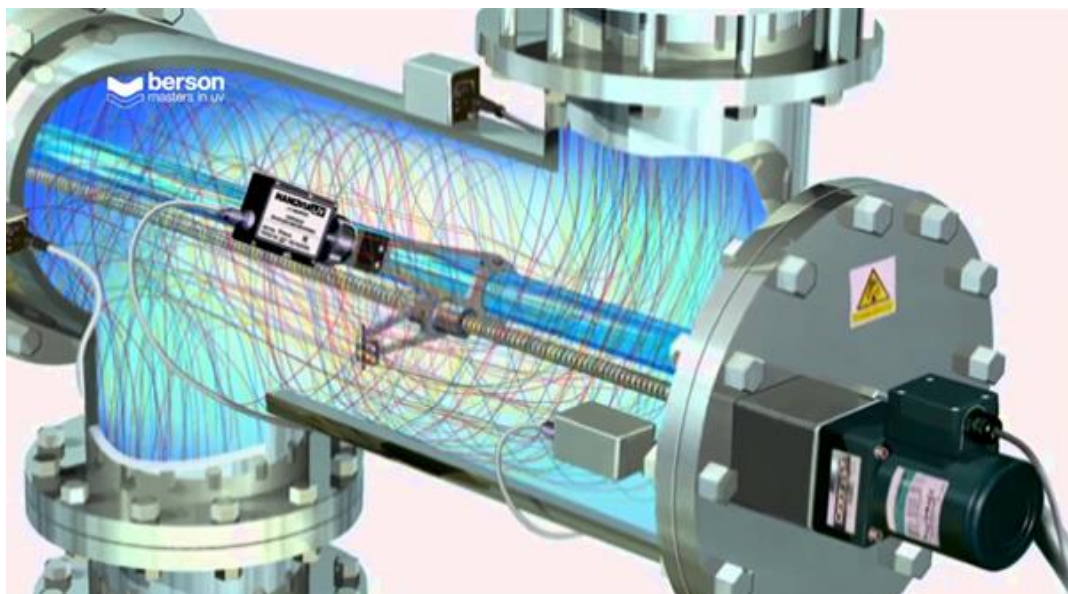
Vzniklá směs vody a plynu je vedena do směšovací nádrže, kde je rozptýlena do vody. Na obrázku molekuly (viz obr. 7) ozonu můžeme vidět slabou vazbu molekuly ozonu. Atom se odtrhne a kompletně zničí kontaminanty. Po reakci zůstává pouze molekula kyslíku. Zbytkový ozon, který probublá vodou, zůstává nad hladinou ve směšovací komoře.

Odtud je směs vzduchu a nezreagovaného ozonu nasávána do katalytických destruktorů, kde dochází k rozkladu zbytkového O_3 na kyslík.

Aktivní uhlí pro své vynikající sorpční vlastnosti bývá využíváno při odstraňování zbytků pesticidů, farmak, hormonů i dalších chemických látek. Upravovaná voda protéká

filtry, které jsou podobné pískovým filtrům. V těchto filtrech se nachází granulované uhlí. Ideální hodnoty rychlosti průtoku jsou zhruba 7 m/hod s dobou zdržení kolem 15 min.

Vodu lze zdravotně zabezpečit bez použití chemických látek chlóru a ozonu, a to využitím technologii UV záření. UV záření využívané pro desinfekci vody má vlnovou délku 100-400 nm. Zdrojem UV záření jsou výbojky nainstalované v reaktorech – viz obr. 8, kterými protéká upravovaná voda. Výbojky se rozdělují na nízkotlaké, které vyzařují většinou pouze jednu vlnovou délku a středotlaké širokospektrální. Úprava vody UV zářením bývá využívána u menších úprav. [5]



Obr. 8: Řez potrubím s UV zářičem

[16]

3.4 Kaly a odpady

Nedílnou součástí každé výroby je vznik odpadů. Hlavním odpadem vznikajícím při výrobě pitné vody jsou vodárenské kaly. Množství a složení kalů je závislé na kvalitě surové vody, technologií úpravy a chemických látkách použitých při úpravě. Kaly z jednotlivých separačních zařízení jsou nejčastěji vedeny do usazovacích nádrží. Nemá-li úpravna ve své blízkosti dostatečnou plochu k vybudování usazovacích nádrží, kde dochází k pozvolnému zahušťování, musí být odvodnění kalů provedeno v úpravně. Ke zvýšení účinnosti odvodňovacího procesu se kaly upravují pomocí flokulantů. Zahuštěné kaly mohou být poté přečerpávány k mechanickému odvodnění. Zde se používají filtry pytlivé, rotační nebo deskové kaolisy. Odvodněný kal bývá potom předán specializovaným společností k dalšímu využití.

4 Úpravna vody Želivka

Úpravna vody s přehradní hrází je situována na řece Želivce 4 km od soutoku se Sázavou. Nedostatek pitné vody odpovídající kvality v Praze se stal důvodem k výstavbě úpravní vody, avšak voda je poskytována i pro oblasti přilehlé k přehradě zejména středočeskou, východočeskou a jihočeskou. Želivka byla vybrána jako ideální zdroj pitné vody už za druhé světové války. Její stálý pramen, průmyslem neznečištěné okolí a malé osídlení z ní udělaly hlavního kandidáta pro výstavbu úpravní vody. Finální projekt byl zadán roku 1964 na základě dvacetiletého zkoumání a přepracování plánů. Během let 1965 až 1975 vzniklo jedno z nejzajímavějších a neméně dokonalých vodních děl na světě. Původní návrh počítal se dvěma etapami výstavby. V první etapě byla v plánu výstavba menší hráze a jedné výrobní linky, která by pokryla tehdejší nároky na spotřebu pitné vody. Druhá etapa by se realizovala až dle spotřeby obyvatel. V průběhu stavby první etapy byl plán přehodnocen a vystavěla se i druhá etapa.

Vodní nádrž Švihov je největší vodní nádrž ve střední Evropě, kdy při plném vzdmutí dosahuje délky 39 km a obvodu 150 km. Zatopená plocha činí 1603 ha a celkový objem nádrže dosahuje 309 mil. m³. K nádrži nedílně patří také tři představné nádrže Němčice, Sedlice a Trnávka, které zachycují naplaveniny a sedimenty z horní části řeky a jejích přítoků. Voda v nádrži se zdržuje až po dobu dvou let. V okolí nádrže jsou vyhlášena pásma hygienické ochrany, aby nedošlo ke znečištění vody v nádrži. Voda v nádrži prochází samovolnou předúpravou, která je zajištěna mechanicky sedimentací a samovolně probíhajícími biologickými procesy.



Obr. 9: Areál Úpravní pitné vody Želivka

[20]

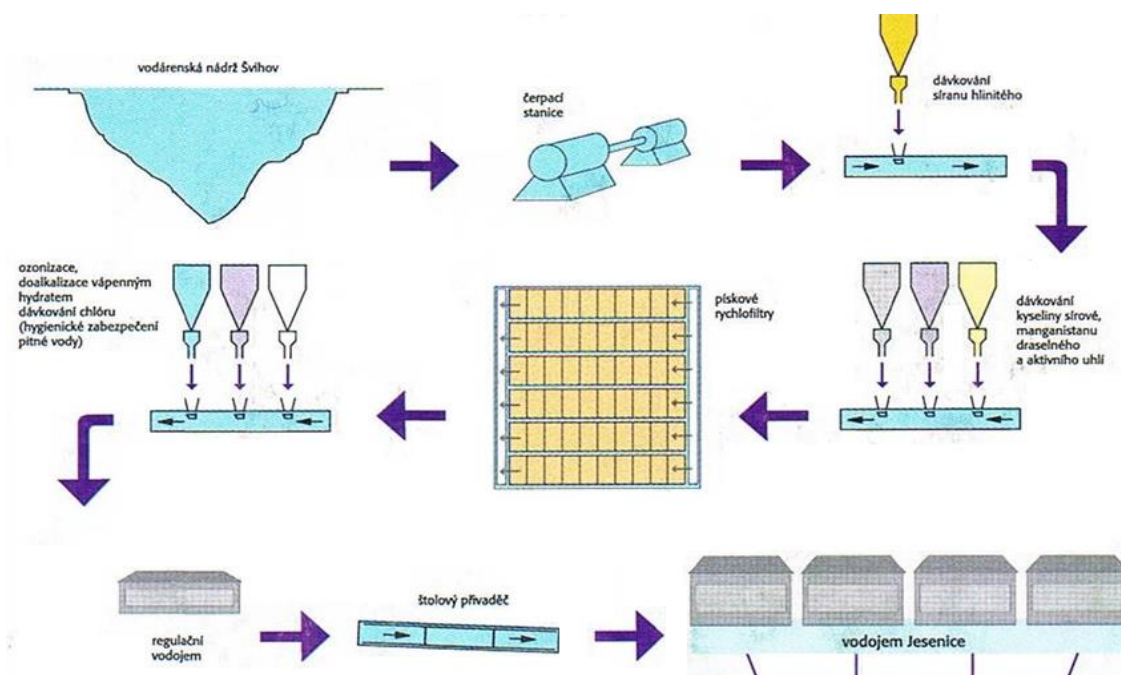
4.1 Vodárenská nádrž Želivka – základní údaje:

Přehradní profil se nachází 4,4 km nad soutokem Želivky a Sázavy. Přehradní hráz je zemní s návodním hliněným těsněním.

Parametry:

kóta koruny hráze	381,7 m n. m.
výška hráze nad údolím	58,3 m
maximální šířka hráze v patě	385 m
šířka hráze v koruně	7 m
délka hráze v koruně	850 m
sklon svahů: návodní	1:2,5 - 1:3,7
vzdušný	1:2 - 1:2,3
objem tělesa hráze	2,342 mil. m ³
délka vzduť	38 km
zatopená plocha	1 432 ha
celkový objem zdrže	264 mil. m ³
z toho objem zásobního prostoru	245 mil. m ³
nalepšovací účinek	5, 250 m ³ /s
Q1000	504 m ³ /s

[8]

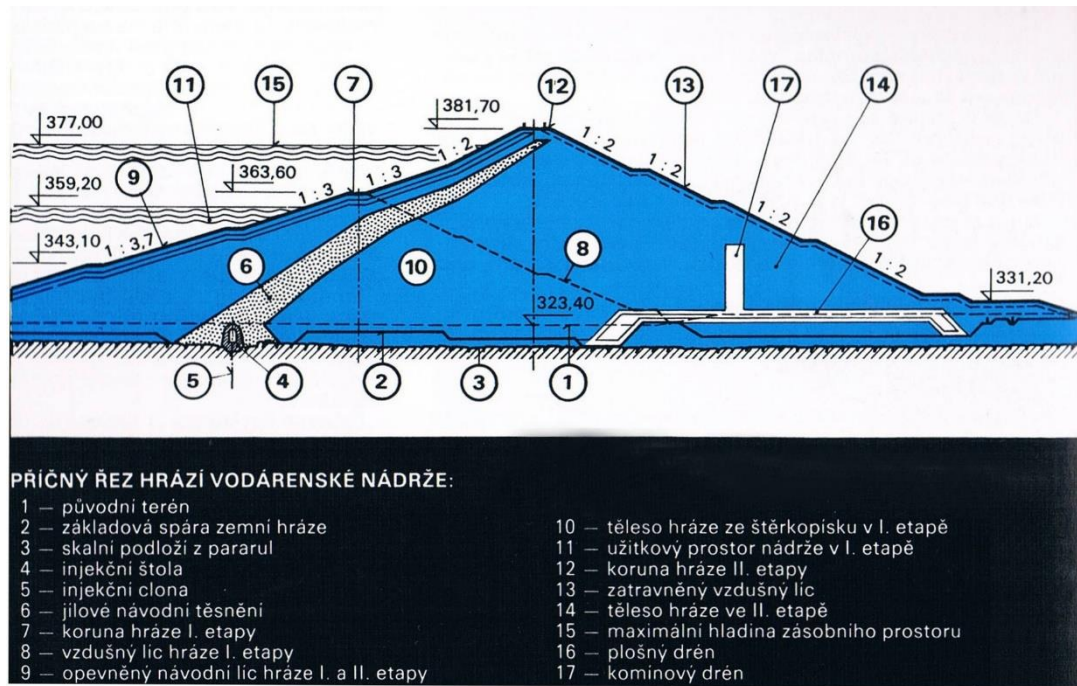


Obr. 10: Schéma úpravy vody

[8]

4.2 Hráz a sdružený objekt

Sypaná hráz je technologicky vhodnější v případě etapové výstavby. Přímé, zemní těleso hráze s hlinitým těsněním je v koruně dlouhé 860 m a v nejvyšším bodě dosahuje výšky 58,3 m nad údolím. Těleso hráze, kterým vedou chodby, šachty a potrubí, má objem 2,342 mil. m³. Příčný řez hráze je na obr. 11.



Obr. 11: Příčný řez hrází

[9]

Na hrázi se nachází sdružený objekt – viz obr. 12, který se skládá ze dvou odběrných pilířů, věže komunikační a bezpečnostního šachtového přelivu. Surová voda je odebírána z odběrných pilířů. Vzhledem k tomu, že kvalita vody se mění dle hloubky, každý odběrný pilíř má pět odběrných otvorů 1,8x1,8 m. Výškové rozmístění bylo navrženo s ohledem na trvání jednotlivých hladin a změnu kvality vody při vytváření různých stratifikačních zón během roku. Každým otvorem lze odebírat 3 m³/s. Pro udržení stabilního průtoku v řece Želivce slouží dvě samostatné spodní výpustě. Bezpečnostní šachtový přeliv je umístěn přímo mezi odběrnými pilíři. Z odběrných věží je voda vedena dvěma přívodními řády DN 1400 a DN 1600 do čerpací stanice, která leží u paty hráze.



Obr. 12: Sdružený objekt

[18]

4.3 Čerpací stanice surové vody (ČSSV)

Výškové umístění úpravný vody dovoluje přívod upravené vody gravitačním přivaděčem až do vodojemu Jesenice, avšak výškové umístění nádrže a úpravný vody si vynucuje čerpat vodu z nádrže do úpravný vody čerpací stanicí surové vody ČSSV.

Čerpací stanice surové vody (viz obr. 13) byla budována ve dvou etapách. V první etapě, uvedené do provozu v roce 1972, byla stanice osazena 4 kusy čerpadel 600BQBV se stejnosměrnými motory o výkonu 570 kW a regulací otáček v rozsahu 490-1140 ot/min. Ve druhé etapě, uvedené do provozu v roce 1987, bylo osazeno dalších 5 kusů čerpadel 1000 BQDV s regulací otáček v rozsahu 200-500 ot/min a dva kusy čerpadel 1000BQLV s regulací otáček v rozsahu 300-500 ot/min. Čerpadla byla poháněna stejnosměrnými motory o výkonu 1650 kW. U čerpadel lze regulovat množství čerpané vody změnou otáček nebo různou kombinací chodů motorů. U typu BQDV lze měnit úhly lopatek. V současné době probíhá rekonstrukce ČSSV, kdy jsou původní stejnosměrné motory, které byly osazeny třífázovými transformátory o napětí 6 kV a třífázovými dvoucestnými usměrňovači o frekvenci 6x50 Hz, postupně nahrazovány střídavými asynchronními motory s frekvenčními měniči. Důvodem změny je nižší energetická náročnost asynchronních motorů.



Obr. 13: Čerpací stanice surové vody

[20]

4.4 Úpravna vody

Z čerpací stanice je voda vedena dvěma přívodními řady DN 1400 a DN 1600 do rozdělovacího objektu, kde je voda rozdělena do dvou samostatných upravárenských linek. Úprava vody je prováděna technologií jednostupňové úpravy ve flokulační nádrži. Voda je následně filtrována na otevřených pískových rychlofiltrech při směru filtrace shora dolů. Jako koagulant je pro všechny tři linky využíván 40% roztok síranu hlinitého, s možností úpravy pH kyselinou sírovou nebo při nízké alkalitě vápennou vodou.

5 Úpravní linka

Úprava vody začíná už v rozdělovacím objektu, kde se přidává do vody kyselina sírová v množství cca 6 g/m^3 vody pro úpravu pH. Takto upravená voda se rozděluje do dvou řádů, které ji odvádí na úpravní linku 1 nebo 2.



Obr. 14: Dávkoč roztoku síranu hlinitého

[20]

Pomocí pístového čerpadla (viz obr. 14) se do vody přidává 40% roztok síranu hlinitého ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$). Síran hlinitý je přidáván v množství asi 40 g/m^3 vody.



Obr. 15: Flokulační nádrž (meandr)

[20]

Linka je vybavena hydraulickým rychlým a pomalým mícháním ve flokulační nádrži. Maximální výkon rychlomísiče je navržen pro 13 vteřinové zdržení. Rychlomísič tvoří vrtulové míchadlo o průměru 800 mm s 60 ot/min., které je osazeno nad výtokem z přívodního potrubí. Před mísičem je potřeba do potrubí ještě dávkovat síran hlinitý, aktivní uhlí a manganistan draselný. Dávkování vápenné vody, manganistanu draselného nebo aktivního uhlí je zde pro případ, že by se kvalita surové vody zhoršila a nějaký z ukazatelů překročil stanovenou maximální hranici obsažení ve vodě. Následně voda z rychlomísiče přepadá do flokulační nádrže o objemu 2560 m³, kde se dále pomalu promíchává vlastním průtokem – viz obr. 15. Maximální doba zdržení ve flokulační nádrži je až 17 min. Zatímco voda protéká meandrem flokulační nádrže, dochází k vyvločkování hrubých nečistot, které jsou poté stírány speciálním zařízením z hladiny.



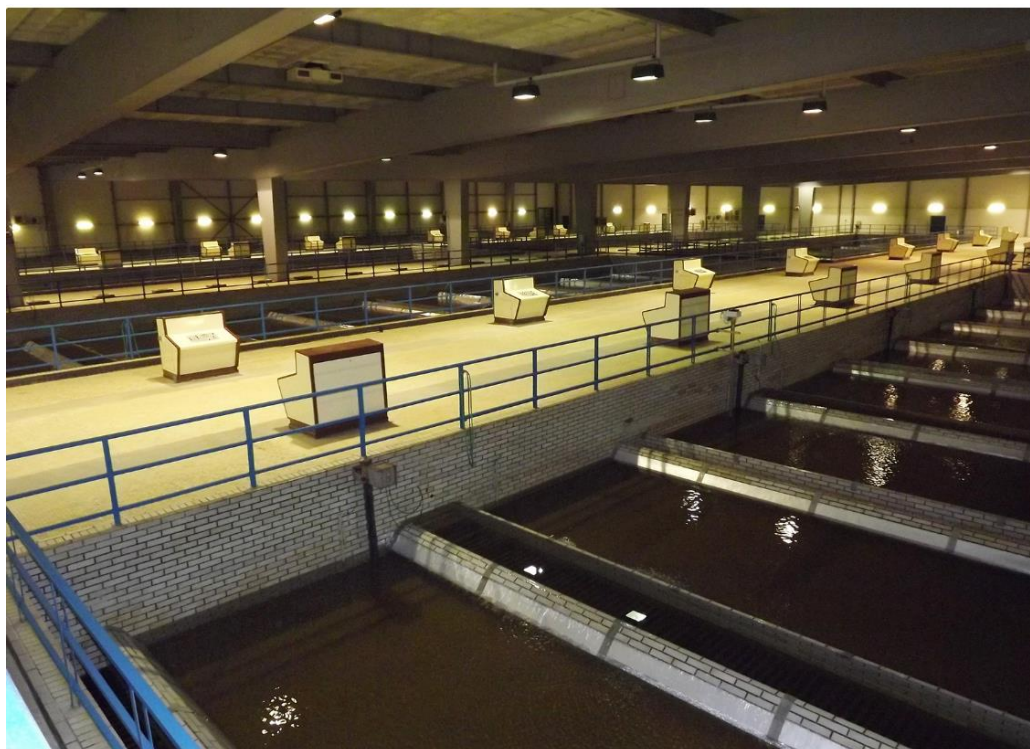
Obr. 16: Stírací zařízení na vyvločkované nečistoty

Stírací zařízení (viz obr. 16 a obr. 17) se spouští při rozšíření pěny do vzdálenosti 375 mm od zařízení. Zařízení se spustí na hladinu a pomocí stírací lišty stírá pěnu do žlabu. Ze žlabu je pěna odsávána do odlučovací nádrže, kde dojde ke zkapalnění pěny a následného odtoku do kalové nádrže.



Obr. 18: Stírací zařízení na vyvločkování nečistoty

Z budovy míchání odtéká voda do budovy filtrace (viz obr. 18) s 32 písčnými rychlofiltry evropského typu – viz obr. 20, každý má plochu 97 m². Mezi rychlofiltry jsou tvořeny provrtanými betonovými panely, které jsou osazeny plastovými čepičkami s drážkami – viz obr. 19, aby křemičitý písek nepropadával s vodou.



Obr. 17: Filtrační hala

[20]

Jako filtrační náplň je používán křemičitý písek o zrnitosti 1,1 -1,6 mm. Výška filtračního písku je 2,1 m. Filtrační rychlost je zde 4,4 m/h a přítok je rozdělován dle momentálních hydraulických podmínek. Filtrační cyklus se pohybuje v rozmezí 24 h až 72 h, kdy se filtrační náplň křemičitý písek regeneruje systémem nejdříve průtokem vzduchu, následně směsí vody a vzduchu a na konec vodou.



Obr. 19: Ochrana proti ztrátě písku

Filtrační vrstva se nejdříve rozruší bublinami vzduchu o průtoku $18 \text{ až } 20 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ po dobu pěti minut, čímž dochází k úspoře prací vody. Pak následuje praní vzduchem a vodou o intenzitě vzduchu $14 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ a vodou o průtoku $4 \text{ až } 5 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ po dobu pěti až deseti minut, posléze se pere samotnou vodou o průtoku $14 \text{ až } 18 \text{ l s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ po dobu pěti minut. Následuje zafiltrování filtrů, které trvá osm až patnáct minut, kdy dochází prvotnímu



Obr. 20: Evropský typ filtru (dvě filtrační pole)

[20]

protečení vody pískem, usednutí písku a vytvoření podtlaků. Tlakový vzduch pro praní se zajišťuje turbokompresory a prací voda čerpadly, nacházející se ve strojovně filtrace.

Po filtraci je přefiltrovaná voda odváděna potrubím do přítokového kanálu ozonizace.

5.1 Strojovna filtrace

Ve strojovně filtrace jsou nainstalována čerpadla, kompresory a dva ocelové vzdušníky, které slouží k praní pískových filtrů – viz obr. 21. Dva ocelové vzdušníky o obsahu 10 m^3 slouží jako zásobníky technického vzduchu pro pohony pneumatických zařízení. Tlak v těchto vzdušnicích je udržován v rozsahu od 0,5 MPa do 0,75 MPa. Zdrojem tlakového vzduchu pro vzdušníky jsou dva pístové kompresory ČKD o výkonu $180 \text{ m}^3/\text{h}$. Tyto kompresory jsou poháněny asynchronními motory o výkonu 25kW a 580 ot/min. Prací vzduch pro filtry je zajištěn dvěma turbodmychadly Gordner-Denver. Ty jsou poháněny elektromotory Siemens o výkonu 160 kW a 2982 ot/min. Dále jsou na strojovně umístěny tři pohonné jednotky prací vody s čerpadly KSB o výkonu 780 l/s. Pohonné jednotky tvoří motory Siemens o výkonu 200 kW a 988 ot/min.



Obr. 21: Dva vzduchové kompresory

[20]

5.2 Ozonizace

V roce 1991 byla v rámci třetí etapy výstavby uvedena do provozu linka ozonizace od francouzské firmy Trailigaz. V roce 2009 byla tato linka nahrazena novým generátorem ozonu od firmy ITT Wedeco. Tato nová linka byla uvedena do provozu v roce 2010.

Ozon jako plyn je nestabilní, který se samovolně rozpadá na kyslík, rychlost rozpadu závisí hlavně na teplotě ale i dalších faktorech. Z těchto důvodů jej není možno převážet, ani skladovat. Ozon se musí vyrábět na místě upotřebení nebo v blízké vzdálenosti.



Obr. 22: Ozonizér

[17]

Na úpravně vody Želivka je ozon vyráběn z kyslíku, který je skladován ve venkovním zásobníku. Jsou zde osazeny dvě linky s generátory Wedeco (viz obr. 22) pracující na principu vysokonapětového výboje o výkonu 2×16 kg O_3 /hod při koncentraci ozonu ve výstupním plynu směsi ozonu a nezreagovaného kyslíku 179 g/ Nm^3 .

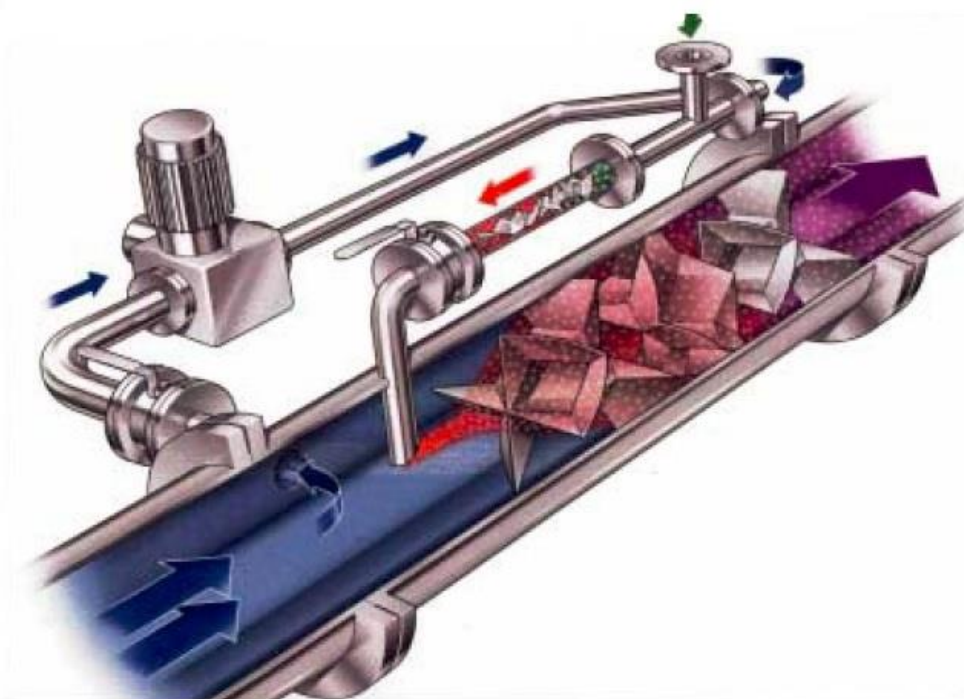
Filtrovaná voda je vedena potrubím do tří směšovacích nádrží. Každá směšovací nádrž je dimenzována na průtok $0,5$ až $2,47$ m^3/s . Směšovací nádrž se skládá ze dvou částí:

- 1) v první části dochází ke směšování vody s ozonem
- 2) ve druhé části k reakcím mezi ozonem a kontaminanty.

U každé směšovací nádrže jsou nainstalovány dva systémy GDS, které slouží k směšování ozonu s vodou.

5.3 GDS systém (Gas Dispersion System)

Z potrubí přítoku DN 1200 je část vody odebírána čerpadlem do injektoru ozonu. V injektoru je do vody přidávána směs kyslíku a ozonu. Tato směs je přes předdisperzní statický mísič (viz obr. 23) vedena do směšovací nádrže. Množství ozonu přiváděné do první komory je regulováno v závislosti na zbytkovém ozonu v reakční nádrži. Průměrná dávka ozonu se pohybuje okolo $1,2 \text{ g/m}^3$ vody.



Obr. 23: Princip směšovacího zařízení

[22]

Vzduch s nezreagovaným ozonem nad hladinou se nasává do katalytických destruktorů – viz obr. 24. Vstupující směs vzduchu a ozonu se přehřívá, aby uvnitř katalyzátoru Carulite 200 nedocházelo ke kondenzování přítomných vodních par.

Katalyzátor tvoří směs oxidu manganického, oxidu hlinitého a oxidu měďnatého. V destruktozech dochází k rozkladu zbytku ozonu na kyslík, který je potom odváděn potrubím nad střechu budovy ozonizace.



Obr. 24: Destruktor ozonu

[20]

Po ozonizaci je voda přiváděna do měrného objektu, kde se provádí měření množství upravené vody, alkalizace vápenným hydrátem a zdravotní zabezpečení chlórem.

5.4 Alkalizace vápenným hydrátem

Ke zvýšení hodnoty pH se používá nasycená vápenná voda. Vápenná voda se připravuje z vápenného hydrátu. Rozpouštění a čištění hydroxidu vápenatého probíhá v nádržích v budově dávkování II. Linka byla dimenzována na bezobslužný měsíční provoz při běžném dávkování. Sila jsou přetlakově plněna hydrátem vápenatým, který je pomocí šnekových dopravníků dopravován do sběrného skluzu, odkud hydrát vypadává do násypky dávkovače – viz obr. 25. Dávkovač se skládá z denního zásobníku vápna (násypka), objemové dávkovací jednotky, tenzometrického vážení násypky, panelu provozní vody, rozmíchávací nádrže včetně míchadla a měření hladiny, ředící nádrže včetně míchadla a měření hladiny, rozvaděče pro místní ruční ovládání.



Obr. 25: Rozpouštění hydroxidu vápenatého

[20]

Po rozmíchání je vápenné mléko přivedeno do ředící nádrže, ze kterého je vápenné mléko dopravováno čerpadlem do homogenizační nádrže. Z homogenizační nádrže je vápenné mléko čerpáno do sytičů – viz obr. 26.



Obr. 26: Sytiče vápenné vody

[20]

Hydrát vápenný se dávkuje v přibližném množství $10,61 \text{ g/m}^3$ vody.

Vápenná voda je potom přivedena potrubími DN 1200 do měrného objektu. Odtud je přes potrubní předlohy vedena do tří odtokových potrubí DN 1600 z ozonizace. [7]

5.5 Chlorování

Zdravotní zabezpečení upravené vody pro distribuci je zajištěno chlorem. Na úpravně vody je kapalný chlor skladován v tlakových sudech – viz obr. 27. Při chlorování se používá nepřímé dávkování. Kapalný chlor je od sudů veden společným potrubím, přes regulační ventily, k dávkovacím přístrojům osazených v chlorovně. Pro dávkování jsou použity tři chlorátory s automatickou regulací dávky dle průtoku upravené vody a zbytkového chloru v upravené vodě. Přibližné množství chlóru je 1 g/m^3 vody. Z chlorátorů je plynný chlor veden do injektorů. Zde se plynný chlor smíchá s tlakovou vodou. Vznikne chlorová voda, která je vedena do třech potrubí DN 1600 v měrném objektu. Zde dochází k smíšení předpřipravené chlorové vody s upravenou vodou.



Obr. 27: Sudy s kapalným chlórem

[20]

Z měrného objektu je voda odváděna do regulačních vodojemů a do štolového přivaděče.

5.6 Regulační vodojem

Regulační vodojem na Úpravně vody Želivka tvoří dvě betonové nádrže o celkovém objemu $20\,000 \text{ m}^3$. Podle hladiny v regulačním vodojemu jsou regulovány kuželové uzávěry u vodojemů v Jesenici, tak aby nedocházelo k přetlakování štol. Z vodojemů se odebírá voda přes kanálová šoupata. Spadišťová šachta má lichoběžníkový půdorys, který přechází v kruhový profil a po 9 m v oválný přechodový profil štol. Po 40 m přechodové délky, v níž se nestacionární proudění přemění na stacionární, přechází do kruhového profilu vlastní štol.

6 Štolový přivaděč Želivka

Štolový přivaděč byl vybudován ražením v letech 1964-1972. Ražen byl konvenčním způsobem.

Základní částí je cca 52 km dlouhá hydrotechnická tlaková štola, která patří u nás i ve světě mezi unikátní inženýrská díla – viz obr. 28. Je kruhového profilu o průměru 2640 mm a je v podstatné části opatřena betonovou obezdívkou o tloušťce 200-350 mm. V místech přechodů vodních toků a vyšších tlaků je štola opatřena ocelovým potrubím o tloušťce 10 mm upnutým do betonu. Výškový rozdíl mezi začátkem štoly a koncem štoly je 32 m. Mezi nejvyšším a nejnižším místem štoly je výškový rozdíl 120,8 m. Minimální výška nadloží je 7 m a maximální 175 m.

Z bezpečnostních důvodů je provoz štoly tlakový. Ve štole musí být přetlak, kdyby došlo k porušení její betonové obezdívky tak, aby se upravená voda tlačila ven a uvnitř štoly nedošlo ke kontaminaci vody.

Na štolovém přivaděči je 18 objektů, které umožňují správnou hydraulickou funkci, provoz, údržbu a revize.



Obr. 28: Štola

[19]

7 Likvidace kalů

Odpadní vody z praní 32 rychlofiltrů úpravný vody jsou odváděny prací kanalizací do kalové nádrže. Prací kanalizace na vtoku do kalové nádrže má na pravém břehu dvě výpustě vzdálené od sebe 100 m. V provozu je vždy pouze jeden podle stavu naplnění v kalové nádrži.

Prací voda obsahuje přibližně 290 g sušiny v m³.

Dešťové vody jsou z areálu úpravný odváděny jednotnou kanalizací společně s odpadní vodou z praní rychlofiltrů do kalové nádrže.

Odpadní vody, vznikající při přípravě vápenné vody v nádrži v budově dávkování II, se vypouští přes vápenné laguny do kalové nádrže.

7.1 Kalová nádrž Rýzmburk

Neprůtočná kalová nádrž Rýzmburk, vybudovaná na Rýzmburském potoce v letech 1967-1968 je nedílnou součástí úpravný vody Želivka. Nádrž slouží k dočištění prací vody před vypuštěním do recipientu, k likvidaci odpadních vápenných vod a k vyrovnávání nárazových průtoků při praní filtrů na rovnoměrný odtok z nádrže. Je nutné průběžně odstraňovat a likvidovat vzniklé sedimenty. Každoročně provozovatel odtěží sedimenty v minimálním množství odpovídajícím roční produkci kalů.

Odpad je zařazen pod kategorické číslo 190902 – Kal z čiření vody. [6]



Obr. 29: Sací bagr na kalové nádrži

[21]

Kalová nádrž také slouží jako nádrž pro první zachycení havarijního úniku chemických látek v případě havárie technologického zařízení. Pro řádnou funkci kalové nádrže je maximálně přípustný objem kalu v nádrži 500 000 m³. Vzhledem k účelu a funkci lze za optimální výšku povrchu kalu v nádrži považovat stav, kdy rezerva nezaplňného objemu je větší než 100 000 m³.

Provozní prostor nádrže:

Objem nádrže.....	735 156 m ³
Zatopená plocha.....	11,1774 ha
Maximální přípustný objem kalu.....	500 000 m ³

[10]

Usazený kal je těžen plovoucím sacím zařízením (viz obr. 29) a mobilní odvodňovací stanicí zbavován vody – viz obr. 30.



Obr. 30: Mobilní odvodňovací linka s odstředivkou

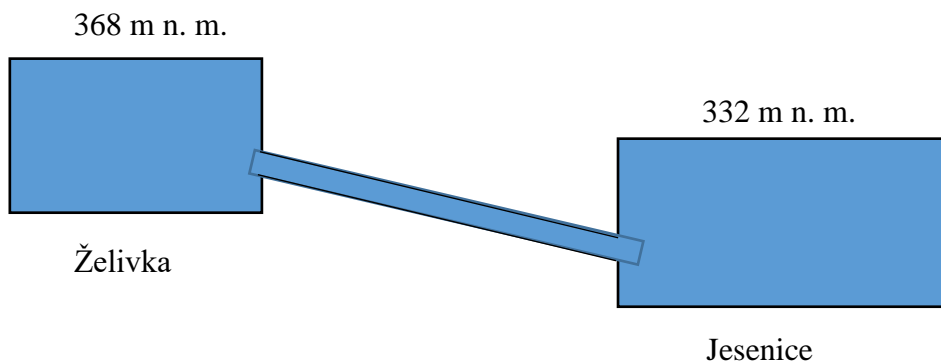
[21]

Po odvodnění je veškerý kal předán k dalšímu využití do kompostáren společnosti ZERS Kutná Hora. Společnost ZERS provozuje v Kutné Hoře dvě kompostárny a nabízí své služby v oblasti využití biologicky rozložitelného odpadu. Na těchto zařízeních bylo v roce 2015 zkompostováno 7129,29 tun kalů z Úpravny vody Želivka. Kaly jsou kompostovány dle platné normy ČSN 46 5735 – Průmyslové komposty. Tento způsob využití kalů je z hlediska životního prostředí neoptimálnější. Z kalů byl vyroben kompost, který byl využit v zemědělství jako organické hnojivo. [6]

8 Odhad energetického potenciálu štolý Želivka-Jesenice

Štolový přivaděč, který vede od Úpravny vody Želivky až do vodojemu v Jesenici, má délku 51 550 m. Na začátku a na konci štolového přivaděče jsou dva otevřené vodojemy, jejichž provozní spád je 32 m.

Cílem výpočtu je odhadnout energetický potenciál štolý. Odhad jsem provedl na základě veřejně dostupných informací, které jsou k nalezení v prospektech vydaných vodovodní společností.



Štola je kruhového průřezu o průměru 2,64 m a povrch štolý je z betonové obezdívky. Pro obezdívku jsem odhadl střední drsnost $k=0,656$ mm. Část povrchu štolý je v kritických místech ocelová, jedná se celkově asi o 1 km. Pro můj výpočet tuto změnu zanedbáme. Zanedbáme také ztráty v kolenech a kritických místech, kdy štola podchází vodní toky. Výpočet jsem provedl pro tři průtoky

1) pro minimální průtok $Q_{\min}=0,5$ m³/s

2) průměrný průtok $Q_{\text{str}}= 2,5$ m³/s

3) maximální průtok $Q_{\max}= 6,5$ m³/s.

Odhad je prováděn za předpokladu, že voda má 5°C a z toho jsou odvozeny i její vlastnosti.

Soupis vstupních hodnot k výpočtu:

Průtok	$Q_{\min}=0,5$ m ³ /s
	$Q_{\text{str}}= 2,5$ m ³ /s
	$Q_{\max}= 6,5$ m ³ /s
Viskozita vody	$\nu = 1,519 \times 10^{-9}$ m ² /S
Průměr štolý	d=2,64 m
Drsnost betonu	$k_{\text{str}}= \frac{k_{\text{str}}}{d} =0,656$ mm
	$k^*=0,000248485$

Délka štoly	$L = 51\,553\text{ m}$
Hladiny	$h_z = 368\text{ m n. m.}$ $h_j = 332\text{ m n. m.}$ $\Delta h = 36\text{ m}$
Hustota vody při 5°C	$\rho = 999,969\text{ kg/m}^3$
Účinnost elektromotoru	$\eta = 0,864$

Energetickou bilanci mezi místy 1 a 2 v kanále se ztrátami při proudění a turbínou se obecně popisuje Bernouliho rovnice (dále jen B.r.).

$$g \times h_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{1}{2} \times v_1^2 = g \times h_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{1}{2} \times v_2^2 + e_z + e_t \quad (8.1)$$

Uvažuji B.r. mezi hladiny ve vodojemu Želivka a hladinou vodojemu Jesenice s turbínou.

$$g \times h_1 = g \times h_2 + e_z + e_t \quad (8.2)$$

Kde h_1 ... nadmořská výška hladiny na Želivce
 h_2 ... nadmořská výška hladiny v Jesenici
 e_z ... celkové ztráty
 e_t ... využitelná energie pro turbínu

$$e_z = \left(\lambda \times \frac{l}{d} + \xi \right) \times \frac{u^2}{2} \quad (8.3)$$

$$e_t = \xi \times \frac{u^2}{2} \quad (8.4)$$

Ukázka výpočtu výkonu pro Q_{\min} :

Objemová rychlost $v = \frac{Q_{\min}}{S} = \frac{0,5 \times 4}{\pi \times 2,64^2} = 0,0913 \frac{m}{s}$ (8.5)

Reynoldsovo číslo $Re = \frac{v \times d}{\vartheta} = \frac{0,09134 \times 2,64}{1,5919 \times 10^{-6}} = 158\,751$ turbulentní (8.6)

Bezrozměrná drsnost $k^* = \frac{k_{str}}{a} = \frac{0,656}{2,64 \times 10^{-6}} = 0,248 \times 10^{-3}$ (8.7)

Součinitel třecích ztrát byl vypočten dle vztahu

$$\lambda = \left\{ 2 \log \left[0,27 \times k^* + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} = \left\{ 2 \log \left[0,27 \times 0,248 \times 10^{-3} + \left(\frac{7}{158\,751} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} = 0,0163$$
 (8.8) [11]

Celkový součinitel třecích ztrát $e_{tr} = \lambda \times \frac{L}{a} = 317,73$ (8.9)

Podíl místních ztrát jsem provedl pro 4 varianty $\xi_m [-]$

Podíl místních ztrát [%]	2%	3%	5%	10%
$\xi_m [-]$	6,355	9,532	15,887	31,773

Celková měrná ztráta $e_z = \left(\lambda \times \frac{L}{d} + \xi_m \right) \times \frac{v^2}{2} = \left(0,0163 \times \frac{51\,535}{2,64} + 6,355 \right) \times \frac{0,0913^2}{2} = 1,024 \frac{J}{kg}$ (8.10)

Podíl místních ztrát [%]	2%	3%	5%	10%
$e_z \left[\frac{J}{kg} \right]$	1,024	1,034	1,054	1,105

Energie využitelná turbínou pro 2% podíl místních ztrát

$$e_t = (g \times \Delta h) - e_z = (9,81 \times 36) - 1,024 = 352,14 \frac{J}{kg}$$
 (8.11)

Podíl místních ztrát [%]	2%	3%	5%	10%
$e_t \left[\frac{J}{kg} \right]$	352,14	352,13	352,11	352,06

Výkon pro 2% $P = e_t \times \rho \times Q \times \eta = 352,14 \times 999,969 \times 0,5 \times 0,864 = 152,18 \text{ kW}$ (8.12)

Podíl místních ztrát [%]	2%	3%	5%	10%
P [kW]	152,18	152,11	152,1	152,08

Výpočet výkonu pro Q_{str} .

$$v = \frac{Q_{str}}{S} = \frac{2,5 \times 4}{\pi \times 2,64^2} = 0,4567 \frac{m}{s} \quad (8.13)$$

$$Re = \frac{v \times d}{\vartheta} = \frac{0,4567 \times 2,64}{1,5919 \times 10^{-6}} = 793\,758 \text{ turbulentní} \quad (8.14)$$

$$k^* = \frac{k_{str}}{a} = \frac{0,656}{2,64 \times 10^{-6}} = 0,248 \times 10^{-3} \quad (8.15)$$

$$\lambda = \left\{ 2 \log \left[0,27 \times k^* + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} = 0,0121 \quad (8.16)[11]$$

$$e_{tř} = \lambda \times \frac{L}{a} = 236 \quad (8.17)$$

Podíl místních ztrát [%]	2%	3%	5%	10%
ξ_m [-]	4,72	7,08	11,8	23,6
e_z [$\frac{J}{kg}$]	19,02	19,2	19,58	20,51
e_t [$\frac{J}{kg}$]	334,14	333,95	333,58	332,65
P [kW]	721,72	721,32	720,51	718,5

Výpočet výkonu pro Q_{max} .

$$v = \frac{Q_{max}}{S} = \frac{6,5 \times 4}{\pi \times 2,64^2} = 1,1875 \frac{m}{s} \quad (8.18)$$

$$Re = \frac{v \times d}{\vartheta} = \frac{1,1875 \times 2,64}{1,5919 \times 10^{-6}} = 2\,063\,772 \text{ turbulentní} \quad (8.19)$$

$$k^* = \frac{k_{str}}{a} = \frac{0,656}{2,64 \times 10^{-6}} = 0,248 \times 10^{-3} \quad (8.20)$$

$$\lambda = \left\{ 2 \log \left[0,27 \times k^* + \left(\frac{7}{Re} \right)^{0,9} \right] \right\}^{-2} = 0,0103 \quad (8.21)[11]$$

$$e_{tř} = \lambda \times \frac{L}{a} = 201,66 \text{ m} \quad (8.22)$$

Podíl místních ztrát [%]	2%	3%	5%	10%
ξ_m [-]	4,03	6,05	10,08	20,17
e_z [$\frac{J}{kg}$]	109,86	110,94	113,1	118,48
e_t [$\frac{J}{kg}$]	243,3	242,22	240,07	234,68
P [kW]	1 366,3	1 360,2	1 348,2	1 317,9

Vypočtený využitelný energetický potenciál štol je v rozmezí 152 až 1360 kW v závislosti na průtoku vody. Průtok kolísá v závislosti na spotřebě vody v Praze. V průměru je průtok nejčastěji 2,5 m³/s a při této hodnotě činí odhad energetického potenciálu 720 kW. Osobně bych zvolil Francisovu turbínu s nastavitelnými lopatkami pro měnící průtok.

9 Výpočet spotřeby vody za jeden filtrační cyklus (nejkratšího a nejdelšího)

Filtr pracuje s rychlostí $3,73 \text{ m.h}^{-1}$ po dobu filtrace 24h až 72 h, s 10 minutovým odstavením po praní filtru. Po filtraci se provádí proplach filtru o rychlosti 44 m.h^{-1} za 10 minut. Vypočtete V_{fc} , V_{pc} , V_{ov} , efektivní filtrační rychlost a obnovu filtru. Hodnoty jsem získal z provozního řádu filtrace.

A. Výpočet pro nejdelší filtrační cyklus

V_{fc} ... objem přefiltrované vody na jednotku plochy filtru [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$],
(jednotka objemu filtračního cyklu)

$$V_{fc} = \frac{V_F}{a} = v_f \times t_{fmax} = 3,73 \times 72 = 268,56 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \quad (9.1)$$

V_F ... objem vody filtrované během jednoho filtračního cyklu [m^3],

a ... průřezová plocha filtru [m^2],

v_f ... filtrační rychlost (povrchový rychlost) [m.h^{-1}],

t_{fmax} ... trvání nejdelšího filtračního cyklu [h].

V_{pc} ... jednotka objemu praní [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$],

$$V_{pc} = \frac{V_{pc}}{a} = v_p \times t_p = 40 \times 0,16 = 6,66 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \quad (9.2)$$

V_P ... objem vody potřebný pro praní jednoho filtru [m^3],

v_p ... rychlost praní [m.h^{-1}],

t_p ... trvání pracího cyklu [h].

V_{ov} ... jednotka objemu odpadní vody z filtru [$\text{m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$],

$$V_{ov} = \frac{V_o}{a} = v_f \times t_o = \frac{3,73 \times 15}{60} = 0,93 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \quad (9.3)$$

V_o ... objem vody vypouštěné jako odpadní vody z filtru [m^3],

t_o ... doba trvání odvodu vody [h].

Efektivní filtrační rychlost [m.h⁻¹]

$$V_{ef} = \frac{V_{fe} - V_{pc}}{t_f - t_{pc}} = \frac{268,56 - 6,6}{72 + 0,16} = 3,62 \frac{m^3}{m^2 \times h} \quad (9.4)$$

Využitelnost filtru [%]

$$r = \frac{V_{fc} + V_{pc} + V_{op}}{V_{fc}} = \frac{268,56 + 6,6 + 0,93}{268,56} = 0,97 = 97\% \quad (9.5)$$

B. Výpočet pro nejkratší filtrační cyklus

V_{fc} ... objem přefiltrované vody na jednotku plochy filtru [m³.m⁻²],
(jednotka objemu filtračního cyklu)

$$V_{fc} = \frac{V_F}{a} = v_f \times t_{fmin} = 3,73 \times 24 = 89,52 \frac{m^3}{m^2} \quad (9.6)$$

V_F ... objem vody filtrované během jednoho filtračního cyklu [m³],

a ... průřezová plocha filtru [m²],

v_f ... filtrační rychlost (povrchový rychlost) [m.h⁻¹],

t_{fmin} ... trvání nejkratšího filtračního cyklu [h].

V_{pc} ... jednotka objemu praní [m³.m⁻²],

$$V_{pc} = \frac{V_{pc}}{a} = v_p \times t_p = 40 \times 0,16 = 6,66 \frac{m^3}{m^2} \quad (9.7)$$

V_P ... objem vody potřebný pro praní jednoho filtru [m³],

v_p ... rychlost praní [m.h⁻¹],

t_p ... trvání pracovního cyklu [h].

V_{ov} ... jednotka objemu odpadní vody z filtru [m³.m⁻²],

$$V_{ov} = \frac{V_o}{a} = v_f \times t_o = \frac{3,73 \times 15}{60} = 0,93 \frac{m^3}{m^2} \quad (9.8)$$

V_o ... objem vody vypouštěné jako odpadní vody z filtru [m³],

t_o ... doba trvání odvodu vody [h].

Efektivní filtrační rychlost [m.h⁻¹]

$$V_{ef} = \frac{V_{fe} - V_{pc}}{t_f - t_{pc}} = \frac{89,52 - 6,6}{24 + 0,16} = 3,43 \frac{m^3}{m^2 \times h} \quad (9.9)$$

Využitelnost filtru [%]

$$r = \frac{V_{fc} + V_{pc} + V_{op}}{V_{fc}} = \frac{89,52 + 6,6 + 0,93}{89,52} = 0,91 = 91 \% \quad (9.10)$$

Z výpočtu spotřeby vody pro různě dlouhé filtrační cykly vyplývá, že s rostoucí dobou filtrace se zvyšuje využitelnost filtru a naopak, což významně ovlivňuje ekonomiku provozu úpravní.

10 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo přiblížit vlastnosti pitné vody, postup úpravy surové vody na vodu pitnou a popsat hlavní části a komponenty linky pro úpravu vody.

Voda jako taková tu byla už od pradávna, průzračně čistá, čirá a hlavně pitná. Vlastnosti pitné vody definuje vyhláška 252/2004 Sb., která je v souladu se směrnicí Rady 98/83/ES o jakosti vody určenou pro lidskou spotřebu.

Bohužel, v posledních desítkách let se civilizace zapříčinila o její znečištění, kdy volně dostupná voda v přírodě nesplňuje hygienické normy, tak se musíme potýkat s problematikou úpravy surové vody na vodu pitnou, abychom ji mohli pravidelně a bez vedlejších účinků bezpečně užívat.

Surová voda, která se čerpá z podzemních uložišť nebo z povrchových jezer se nejdříve mechanicky zbaví velkých nečistot a předmětů, poté se voda chemicky zbaví menších nečistot a zdravotně zabezpečí. Pokud chceme být ekologicky a ekonomicky založení, můžeme kaly a odpady využít třeba ke kompostování.

Na jedné z největších úpravních linek ve střední Evropě musí surová voda z jezera projít nejdříve mechanickým očištěním, kdy protéká skrze česle, síta a mikrocez. Následně se do vody přidává roztok síranu hlinitého, vápenná voda, aktivní uhlí nebo manganistan draselný a dochází k vyvločkování hrubších nečistot. Z budovy míchání voda odtéká na pískové filtrace, kde dochází k dalšímu pročištění vody. Poté voda odtéká na proces chemického zabezpečení za pomoci ozonizace a chlorace. K úpravě pH se využívá chemického procesu alkalizace vápenným hydrátem. Takto upravená voda je připravena ke každodennímu užívání.

Ve výpočtové části jsem se zabýval odhadem energetického potenciálu štol Želivka-Jesenice a výpočtem spotřeby vody za jeden filtrační cyklus.

Vypočtený využitelný energetický potenciál štol je v rozmezí 152 až 1360 kW v závislosti na průtoku vody. Průtok kolísá v závislosti na spotřebě vody v Praze. V průměru je průtok nejčastěji 2,5 m³/s a při této hodnotě činí odhad energetického potenciálu 720 kW.

Z výpočtu spotřeby vody pro různě dlouhé filtrační cykly vyplývá, že s rostoucí dobou filtrace se zvyšuje využitelnost filtru a naopak, což významně ovlivňuje ekonomiku provozu úpravny.

11 Seznamy

11.1 Seznam obrázků

Obr. 1: Schéma zdrojů pro pitnou vodu.....	9
Obr. 2: Česle	10
Obr. 3: Síto.....	10
Obr. 4: Princip fungování mikrocezu	11
Obr. 5: Kolmatace náplavného filtru	11
Obr. 6: Řez pískovým filtrem	12
Obr. 7: Princip ozonizace.....	13
Obr. 8: Řez potrubím s UV zářičem	14
Obr. 9: Areál Úpravny pitné vody Želivka	15
Obr. 10: Schéma úpravy vody	16
Obr. 11: Příčný řez hrází.....	17
Obr. 12: Sdružený objekt	18
Obr. 13: Čerpací stanice surové vody	19
Obr. 14: Dávkočiv roztoku síranu hlinitého	20
Obr. 15: Flokulační nádrž (meandr)	20
Obr. 16: Stírací zařízení na vyvločkované nečistoty	21
Obr. 17: Filtrační hala	22
Obr. 18: Stírací zařízení na vyvločkované nečistoty	22
Obr. 19: Ochrana proti ztrátě písku	23
Obr. 20: Evropský typ filtru (dvě filtrační pole).....	23
Obr. 21: Dva vzduchové kompresory	24
Obr. 22: Ozonizér	25
Obr. 23: Princip směšovacího zařízení	26
Obr. 24: Destruktor ozonu	27
Obr. 25: Rozpouštění hydroxidu vápenatého	28
Obr. 26: Sytiče vápenné vody.....	28
Obr. 27: Sudy s kapalným chlórem	29
Obr. 28: Štola.....	30
Obr. 29: Sací bagr na kalové nádrži.....	31
Obr. 30: Mobilní odvodňovací linka s odstředivkou	32

11.2 Seznam zkratek

UV.....	ultrafialové záření
DN.....	nominální průměr potrubí
ČSSV.....	čerpací stanice surové vody
GDS.....	system pro dispergaci plynu
pH.....	vodíkový exponent

11.3 Seznam zdrojů

- [1] Vyhláška ministerstva zdravotnictví, kterou stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: 252/2004. 2004
- [2] TESAŘÍK, I., Vodárenství. Vyd. 1., V nakl. SNTL. Praha: Spálená, 1985
- [3] STUHLÍK, VL., Stavby zdravotně vodohospodářské. Vyd. 2., V nakl. SNTL. Praha: Spálená, 1971
- [4] PIVOKONSKÝ, M., Tvorba suspenze při úpravě vody. Vyd. 1., V nakl. Medim. Líbeznice, 2011
- [5] Malý, J., Malá, J., Chemie a technologie vody. Vyd. 1., V nakl. NOEL 2000, 1996
- [6] SVOBODA, T., Zpráva o způsobu využití a likvidaci odpadů. PLOSAB 2016
- [7] BAŤKOVÁ, P., HUŠKOVÁ, R., KRATĚNA, J., TLÁSKALOVÁ, B., Rekonstrukce vápenného hospodářství. Technická zpráva
- [8] Prospekt Výroba pitné vody, Pražské vodovody a kanalizace, Hulice: ÚV Želivka
- [9] Prospekt Vodárna Želivka voda pro Prahu, Pražské vodárny
- [10] PRAŽSKÁ VODOHOSPODÁŘSKÁ SPOLEČNOST a.s., Provozní řád vodní dílo Rýzmburk, 2006
- [11] JIROUT, T., Potrubí a potrubní sítě, [cit. 3.5.2017], Dostupné z:
http://users.fsid.cvut.cz/~jiroutom/vyuka/hmp/hmp_soubory/hmp1c.pdf
- [12] Síto, VŠB TU Ostrava [cit 20.6.2017], Dostupné z:
http://homen.vsb.cz/hgf/546/materialy/radka_2010/images/uv/sito.jpg
- [13] Mikrocez, PRLog Press Release Distribution [cit 20.6.2016], Dostupné z:
<https://www.prlog.org/12393345-discfilter-meets-urban-waste-water-treatment-regulations-standard.html>
- [14] Pískový filtr, Diwaterstofmonoxide [cit 20.6.2016], Dostupné z:
http://www.diwaterstofmonoxide.nl/h2o/article/item/rapid_dry_sand_filter/en
- [15] Molekuly, DEL Ozone [cit 20.6.2016], Dostupné z:
<http://www.delozone.com/ozone-technology/about-ozone.php>
- [16] UV princip, JAMA CZ s.r.o. [cit 20.6.2016], Dostupné z:
http://www.jama.cz/get_image.php?image=NzIxOGJkNmM5MGYxYmVlZDJmZTU5NTA1MmRhM2FiNzAuanBn&size=ODAweDYwMA==
- [17] Ozonizace, Disa [cit 20.6.2016], Dostupné z:
<https://www.disa.cz/produkty/zarizeni-pro-upravu-a-dezinfekci-vody/ozonizace/prehled-ozonizacnich-systemu/systemy-ozonizace-rady-pdoevo>

- [18] Sdružený objekt, O vodárenství [cit 20.6.2016], Dostupné z:
http://www.ovodarenstvi.cz/data/images/Zelivka%20IMG_1115.JPG
- [19] Štolový přivaděč, MAFRA, a. s. [cit 20.6.2016], Dostupné z:
http://praha.idnes.cz/foto.aspx?r=praha-zpravy&c=A120525_105810_praha-zpravy_sfo&foto=MBB43679f_12.jpg
- [20] Želivská provozní, [cit 20.6.2016], Dostupné z:
<http://www.zelivskaprovozni.cz/fotogalerie.html>
- [21] PLOSAB s.r.o., [cit 20.6.2016], Dostupné z:
<http://www.plosab.cz>
- [22] GDS systém, Lenntech [cit 20.6.2016], Dostupné z:
http://www.ovodarenstvi.cz/data/images/Zelivka%20IMG_1115.JPG