

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra vodního hospodářství obcí



**Hydraulické posouzení variant obnovy
vodovodního přivaděče v místě křížení
s železniční tratí**

Bakalářská práce

Martina Vincencová

Vedoucí práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.

Praha

květen 2024



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Vincencová** Jméno: **Martina** Osobní číslo: **501862**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra vodního hospodářství obcí**
Studijní program: **Stavební inženýrství**
Specializace: **Vodní hospodářství a vodní stavby**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Hydraulické posouzení variant obnovy vodovodního přivaděče v místě křížení s železniční tratí.

Název bakalářské práce anglicky:

Hydraulic assessment of water main reconstruction options at the crossing with the railway line.

Pokyny pro vypracování:

Rešerše literatury k dané tématice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Hydraulické posouzení variantního řešení přivaděče vodovodního systému. Vyhodnocení a shrnutí výsledků, závěry a doporučení.

Seznam doporučené literatury:

KOLÁŘ V., a kol.: Hydraulika. Praha: SNTL, 1983.
Grünwald A., a kol.: Vodárenství. ČKAIT, Praha, 1998, ISBN 80-902460-7-9.
Tesařík I. a kol.: Vodárenství. SNTL, Praha 1987
zákon č. 274/2001 Sb., vyhláška č. 482/2001 Sb., ČSN EN 805, ČSN 75 5401, ČSN 73 6005

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Filip Horký, Ph.D. katedra vodního hospodářství obcí FSv

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

Datum zadání bakalářské práce: **20.02.2024** Termín odevzdání bakalářské práce: **20.05.2024**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Filip Horký, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. David Stránský, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Jiří Máca, CSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna 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.

20.2.2024
Datum převzetí zadání

Podpis studentky

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškeré použité zdroje informací v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze 20.5.2024

Podpis:.....

Poděkování

Ráda bych poděkovala především Ing. Filipu Horkému, Ph.D. za vedení mé bakalářské práce, odborné konzultace, rady, ochotu a velkou trpělivost. Děkuji také Ing. Danielovi Švecovi za zprostředkování tématu a pomoc při získávání podkladů. Velké poděkování patří také společnosti VODÁRNA PLZEŇ a.s. za umožnění zpracování mého tématu a všechny potřebné dodané podklady. Dále bych chtěla vyjádřit upřímné poděkování všem autorům textů, obrázků a tabulek, ze kterých jsem vycházela.

Abstrakt

Tato bakalářská práce obsahuje teoretickou a praktickou část. Teoretickou částí je literární rešerše na téma vodárenství. Je zde popsán systém zásobování vodou, velká část práce se věnuje jednotlivým prvkům vodárenského systému a základním výpočtům ve vodárenství, především představení základní hydrauliky potrubí. Praktická část je věnována hydraulickému posouzení tlakových ztrát v místě křížení vodovodního přivaděče s železničním nádražím Jižní Předměstí v Plzni. Začíná představením vodovodní sítě v oblasti Plzně, popisem současného stavu podchodu, krátkým představením všech variant rekonstrukce, které byly zvažovány, a podrobným představením varianty rekonstrukce vybrané k realizaci. V hydraulickém posouzení je podrobně zpracován výpočet tlakových ztrát současné trasy a budoucí trasy v běžném a nouzovém provozu. Praktická část je zakončena krátkým představením výpočtů ztrát zahrnutých variant rekonstrukce.

Klíčová slova: vodárenství, vodovod, prvky vodárenského systému, hydraulické výpočty, tlakové ztráty, plzeňský vodovod, vodovodní podchod

Abstract

This bachelor thesis contains a theoretical and a practical part. The theoretical part is a literature search on the topic of water management. It describes the water supply system, a large part of the thesis is devoted to the individual elements of the water supply system and basic calculations in water supply, especially the introduction of basic hydraulics of pipelines. The practical part is devoted to the hydraulic assessment of pressure losses at the crossing of the water supply pipeline with the railway station Jižní Předměstí in Pilsen. It starts with an introduction of the water supply network in the Pilsen area, a description of the current condition of the underpass, a brief introduction of all the reconstruction options that were considered and a detailed presentation of the reconstruction option selected for implementation. The hydraulic assessment includes a detailed calculation of the pressure losses of the current route and the future route in normal and emergency operation. The practical part concludes with a short presentation of the loss calculations of the rejected reconstruction options.

Keywords: water supply, water supply, water supply system elements, hydraulic calculations, pressure losses, Pilsen water supply, water supply underpass

Obsah

1.	Úvod.....	12
1.1	Cíl bakalářské práce	12
2.	Teoretická částí	13
2.1	Vodárenství	13
2.2	System zásobování vodou.....	13
2.2.1	Rozdělení systémů zásobování vodou podle územního působení	13
2.2.1.1	Místní vodovod	13
2.2.1.2	Skupinový vodovod	13
2.2.1.3	Oblastní vodovod	14
2.2.2	Rozdělení vodovodů dle výškového vztahu vodojemu a zdroje vody	15
2.2.2.1	Gravitační vodovody	15
2.2.2.2	Výtlačné vodovody	15
2.3	Prvky vodárenského systému.....	16
2.3.1	Zdroje vody.....	17
2.3.1.1	Podpvrchová voda.....	17
2.3.1.2	Pvrchové vody.....	18
2.3.1.3	Ochranná pásma	19
2.3.2	Jímání a odběry vody	20
2.3.2.1	Jímání podpvrchové vody	20
2.3.2.2	Odběr pvrchové vody.....	22
2.3.3	Úprava vody.....	24
2.3.3.1	Surová voda.....	24
2.3.3.2	Stupně úpravy vody	25
2.3.3.3	Základní technologické procesy úpravy vody	26
2.3.3.3.1	Mechanické předčištění (cezení).....	27
2.3.3.3.2	Čiření.....	28

2.3.3.3.3	Filtrace	31
2.3.3.3.4	Adsorpce	34
2.3.3.3.5	Dezinfekce (a preoxidace)	35
2.3.3.3.6	Stabilizace (alkalizace)	39
2.3.3.3.7	Odkyselování	39
2.3.3.3.8	Odželezování a odmanganování	41
2.3.3.3.9	Flotace	41
2.3.3.4	Požadavky na pitnou vodu	42
2.3.4	Vodojemy.....	44
2.3.4.1	Funkce vodojemů	44
2.3.4.2	Části vodojemu a základní technické požadavky	45
2.3.4.2.1	Manipulační komora	45
2.3.4.2.2	Akumulační nádrž	45
2.3.4.2.3	Hladiny vodojemu	46
2.3.4.2.4	Potrubí vodojemu	46
2.3.4.2.5	Pozemek vodojemu	47
2.3.4.3	Typy vodojemů podle funkce	48
2.3.4.4	Základní typy vodojemů podle konstrukce	48
2.3.4.4.1	Zemní	48
2.3.4.4.2	Věžové	49
2.3.5	Vodárenské čerpací stanice.....	50
2.3.5.1	Základní požadavky	50
2.3.5.2	Automatické tlakové stanice (ATS).....	51
2.3.6	Vodovodní řady (vodovodní potrubí).....	52
2.3.6.1	Kategorie vodovodních řadů.....	52
2.3.6.1.1	Příváděcí řad	52
2.3.6.1.2	Zásobovací řad	52

2.3.6.1.3	Rozvodná síť vodovodu (spotřebiště).....	52
2.3.6.1.4	Vodovodní přípojka	53
2.3.6.2	Uložení potrubí	56
2.3.6.2.1	Uložení potrubí do rýhy	56
2.3.6.2.2	Uložení potrubí do kolektoru nebo chráničky.....	57
2.3.6.3	Umístění vodovodního potrubí	58
2.3.6.3.1	Sklon vodovodního potrubí.....	58
2.3.6.3.2	Ochranná pásma vodovodních řadů	58
2.3.6.3.3	Krytí vodovodního potrubí.....	59
2.3.6.3.4	Křížení s vedením technické vybavenosti.....	59
2.3.6.3.5	Souběh s technickou vybaveností	60
2.3.6.3.6	Křížení s vodním tokem.....	60
2.3.6.3.7	Křížení s pozemní komunikací a drahou.....	61
2.3.6.3.8	Souběh s pozemní komunikací a dráhou.....	62
2.3.6.4	Tlak ve vodovodní síti.....	62
2.3.6.5	Základní součásti vodovodního potrubí.....	63
2.3.6.6	Armatury vodovodního potrubí	64
2.3.6.6.1	Průtokoměry.....	64
2.3.6.6.2	Uzavírací armatury.....	67
2.3.6.6.3	Výtokové armatury	69
2.3.6.6.4	Vzdušník	71
2.3.6.6.5	Regulační armatury	71
2.3.6.6.6	Montážní vložka.....	72
2.3.6.6.7	Kompenzátor	72
2.3.6.6.8	Armaturní šachta	72
2.3.6.7	Materiály potrubí (trouby, tvarovky, spoje, výstelky)	73
2.3.6.7.1	Ocel	74

2.3.6.7.2	Litina	75
2.3.6.7.3	Plasty	78
2.3.7	Vodovod pro požární účely	82
2.4	Vodárenské výpočty	84
2.4.1	Potřeba vody	84
2.4.1.1	Výpočet potřeby vody	85
2.4.1.1.1	Skupiny odběratelů	85
2.4.1.1.2	Průměrná denní potřeba vody Q_p ($l. den^{-1}$)	86
2.4.1.1.3	Maximální denní potřeba vody Q_m ($l.den^{-1}$; $m^3.den^{-1}$)	86
2.4.1.1.4	Maximální hodinová potřeba vody Q_h ($l. hod^{-1}$; $m^3.hod^{-1}$)	87
2.4.2	Objem vodojemu	88
2.4.2.1	Provozní zásoba vody	88
2.4.2.2	Požární zásoba vody	89
2.4.2.3	Poruchová zásoba vody	89
2.4.3	Základní hydraulické výpočty tlakového proudění v potrubí	90
2.4.3.1	Rovnice spojitosti (zákon zachování hmoty)	90
2.4.3.2	Bernoulliho rovnice (zákon zachování mechanické energie) ..	90
2.4.3.2.1	Vypočet tlakových ztrát	91
2.4.4	Paralelní potrubí	99
2.4.5	Čerpadla	100
2.4.5.1	Základní dělení čerpadel	100
2.4.5.1.1	Ostatní čerpadla	100
2.4.5.1.2	Čerpadla hydrostatická (objemová)	100
2.4.5.1.3	Čerpadla hydrodynamická (odstředivá)	100
2.4.5.2	Základní princip čerpadla	101
2.4.5.3	Základní charakteristiky čerpadel	102
	Soustavy s více čerpadly	103

2.4.6	Výpočet vodovodní sítě	104
2.4.6.1	Výpočet odběru vody	105
2.4.6.1.1	Stanovení odběru z úseku (úsekových potřeb)	105
2.4.6.1.2	Transformace úsekových odběrů do uzlových odběrů ...	106
2.4.6.1.3	Výpočet návrhových průtoků Q_n ve větvených sítí	106
2.4.6.1.4	Dimenzování vodovodních řadů větvené sítě	107
2.4.6.1.5	Výpočet tlakových ztrát	107
2.4.6.1.6	Výpočet průtoků v okružních sítí.....	108
3.	Praktická část	109
3.1	Vodárna Plzeň.....	109
3.2	Plzeňský vodovod	109
3.3	Předmět řešení.....	112
3.4	Podklady	113
3.5	Popis současného stavu.....	114
3.6	Rekonstrukce.....	118
3.6.1	Varianta č. 1 - podchod a shybka v současné trase a uspořádání	118
3.6.2	Varianta č. 2 - stávající podchod a nahrazení potrubí dvěma DN 500/400	118
3.6.3	Varianta č. 3 – Nově ražená štola, nahrazení potrubí dvěma DN 500....	119
3.7	Plánovaná rekonstrukce (varianta rekonstrukce č. 3)	120
3.8	Hydraulické posouzení.....	123
3.8.1	Vstupy a předpoklady všech výpočtů	124
3.8.2	Potřebné výpočty pro variantu rekonstrukce č. 3	125
3.8.2.1	Tlakové ztráty současné trasy za běžného provozu	125
3.8.2.2	Tlakové ztráty nové trasy za běžného provozního stavu	128
3.8.2.3	Srovnání tlakových ztrát současné a nové trasy.....	132

3.8.2.4	Tlakové ztráty nové trasy při nouzovém provozu v případě poruchy jedné větve shybky.....	133
3.8.2.4.1	Výpočet ztrát shybce přilehlých úseků	134
3.8.2.4.2	Výpočet tlakové ztráty shybky v nouzovém provozu.....	136
3.8.2.4.3	Výpočet celkových ztrát nové trasy při nouzovém provozu.	138
3.8.2.5	Srovnání tlakových ztrát za nouzového provozu nové trasy se ztrátami současné a nové trasy za běžného provozu.....	139
3.8.3	Potřebné výpočty pro rekonstrukce variant č. 1 a 2.....	140
3.8.3.1	Tlakové ztráty současné shybky za běžného provozu	140
3.8.3.2	Tlakové ztráty shybky v případě varianty rekonstrukce č. 1 za běžného provozu	141
3.8.3.3	Srovnání tlakových ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č. 1	142
3.8.3.4	Tlakové ztráty shybky v případě varianty rekonstrukce č. 2 za běžného provozu	143
3.8.3.4.1	Tlakové ztráty při použití 2x DN 500	143
3.8.3.4.2	Tlakové ztráty při použití 2x DN 400	144
3.8.3.5	Srovnání tlakových ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č.2	145
3.8.4	Srovnání běžných provozů všech tří variant rekonstrukce se současným stavem zájmové části výtlačného vodovodního řadu	146
4.	Závěr	149
5.	Seznamy	151
5.1	Seznam obrázků	151
5.2	Seznam tabulek	158
6.	Bibliografie	161

1. Úvod

Voda je pro život nezbytná. Každá lidská civilizace je přímo závislá na zdrojích vody, s nimi buď vzkvétá nebo upadá. Množství a kvalita vody jsou rozhodující pro přežití, nejsou závislé pouze na klimatických a hydrogeologických podmínkách, ale výrazně se odvíjí i od způsobu a míry využití vody lidmi. S rostoucím počtem obyvatel, průmyslem a zemědělstvím roste spotřeba i znečišťování vody, proto jsou veškeré prvky vodohospodářské infrastruktury jako vodárenské nádrže, vodárenské soustavy, stokové soustavy a čistírny odpadních vod nezbytné a je třeba se o ně starat.

Tato bakalářská práce se zabývá vodárenstvím. V rámci vodárenské soustavy je voda jímána ze zdroje a dostává se ke spotřebitelům v domácnostech, službách, průmyslu i zemědělství. Převádění vody od zdroje k místu potřeby je jedním z nejzásadnějších pilířů vyspělé civilizace umožňující život i jinde než v bezprostřední blízkosti zdroje. První vodovodní přivaděče byli gravitační s volnou hladinou, v mírném neustálém klesajícím sklonu, takové stavby stavěli například staří Římané nebo Májové. Vznik potrubních vodovodů dnešního typu se datuje teprve do průmyslové revoluce v devatenáctém století. Jedná se o tlakové systémy, kde výškové rozdíly jsou překonávány čerpadly a principem spojených nádob. Vodu ale není potřeba jen přepravovat. Přírozené a antropogenní znečištění povrchových i podzemních vod sebou přinášejí potřebu vody čistit na úpravnách a z časově nevyrovnané potřeby vody vychází požadavek na skladování čisté vody ve vodojemech. Celkově představuje zásobování vodou rozsáhlou soustavu staveb a mnoha dílčích procesů.

1.1 Cíl bakalářské práce

Teoretická část má za cíl zpracování literární rešerše na téma vodárenství a představení základních objektů, výpočtů, pojmů a principů vodárenského systému.

Cílem praktické části je spočítat změny tlakových hydraulických ztrát pro varianty rekonstrukce vodovodního podchodu pod železničním nádražím Jižní Předměstí v Plzni. Práce se zaměřuje zejména na variantu rekonstrukce, která se bude realizovat a v rámci, které bude stávající vodovodní podchod nahrazen novým vodovodním podchodem v nové trase a současné vodovodní potrubí DN 700 bude v tomto úseku nahrazeno dvěma potrubími DN 500. Především jde o stanovení, k jakému zvýšení tlakových ztrát dojde touto rekonstrukcí za běžného provozního stavu, dále pak o určení, k jakému zvýšení ztrát dojde v případě nouzového provozu pouze jednou větví shybky.

2. Teoretická část

2.1 Vodárenství

Vodárenství je technický obor zabývající se jímáním, odběrem, úpravou, akumulací a rozvodem vody pro potřeby obyvatelstva, průmyslu a zemědělství [1].

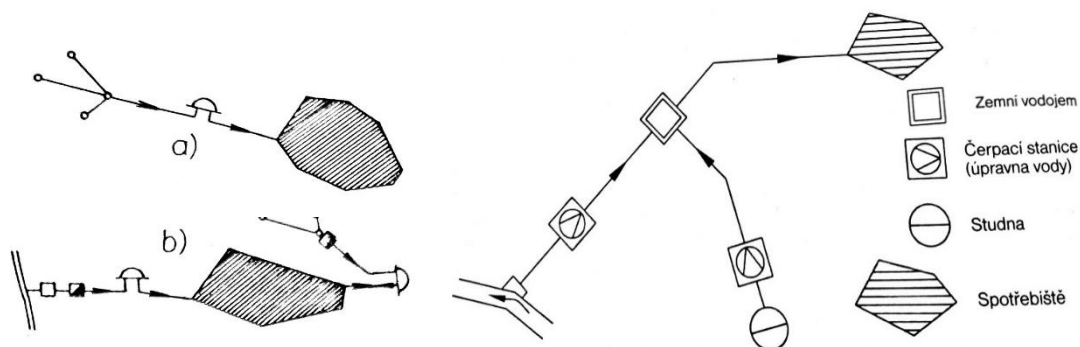
2.2 Systém zásobování vodou

Systém zásobování vodou neboli vodárenský systém zvaný také vodárenská soustava nebo vnější vodovod je soubor provozně samostatných staveb a zařízení, které společně zajišťují zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství pitnou vodou. Zahnuje vodovodní řady a vodárenské objekty (stavby pro jímání a odběr vody, její úpravu a akumulaci). Vodovod podléhá Zákonu o vodovodech a kanalizacích č. 274/2001 Sb. a Zákonu o vodách č. 254/2001 Sb. [1] [2]

2.2.1 Rozdělení systémů zásobování vodou podle územního působení

2.2.1.1 Místní vodovod

Místní vodovod zásobuje jedním nebo více vodními zdroji pouze jedno spotřebišť (město, obec). Jedná se o nejstarší typ vodovodu. Přeprava vody na základě gravitace je u něj častější než čerpání. Právě tento způsob vodárenského systému byl typický pro starověká města. Možná schéma místních vodojemů zachycují následující obrázky. [2] [3]



Obrázek 2: Územní působnost vodárenských soustav [2]

a) místní vodovod s jedním zdrojem vody,
b) místní vodovod s více zdroji vody

Obrázek 1: Místní vodovod se dvěma vodními zdroji [3]

2.2.1.2 Skupinový vodovod

Skupinový vodovod zásobuje několik spotřebišť (měst, obcí) jedním nebo více vodními zdroji. Skupinové vodovody se začaly stavět přibližně ve dvacátých letech

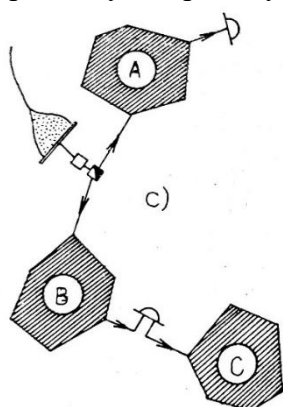
minulého století sdružováním nepříliš velkých spotřebišť. Jejich součástí často bývají čerpací stanice. Možná schémata skupinových vodovodů jsou vidět na obrázcích níže na stránce. Typy skupinových vodovodů jsou: [2] [3]

-Skupinový vodovod s jedním společným centrálním vodojemem

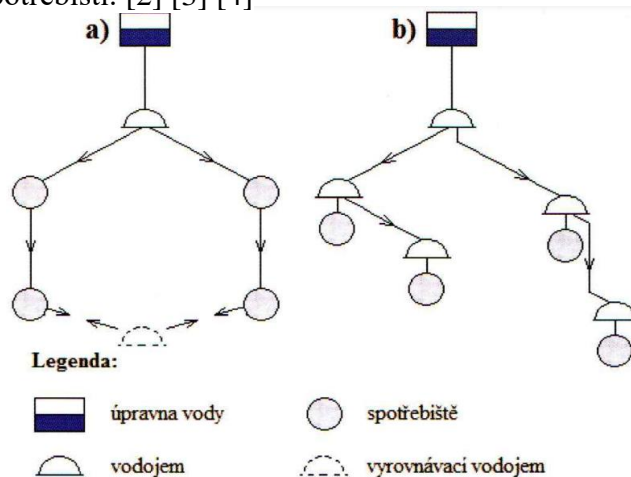
Je dobré používat, když se jedná o rovinaté území a jednotlivá dílčí spotřebišť nejsou daleko od sebe. Výhodou jsou menší investiční náklady na akumulaci vody, nevýhodou jsou větší tedy dražší potřebné průměry zásobovacích řadů a problém představuje taky značná rozkolísanost tlaků. U tohoto typu se doporučuje vybudovat vyrovnávací vodojem. [2] [3] [4]

-Skupinový vodovod s místními vodojemy u dílčích spotřebišť

Výhodou jsou menší náklady na potrubí, protože zásobovací řady, které mají větší průměr potrubí než příváděcí řady, jsou u tohoto typu místního systému kratší. Nevýhody jsou větší náklady na výstavbu vodojemů a případnou rekonstrukci v případě zvýšení potřeby vody ve spotřebišti. [2] [3] [4]



Obrázek 3:
Územní působnost vodárenských soustav – skupinový vodovod [2]



Obrázek 4: Skupinové vodovody [6]

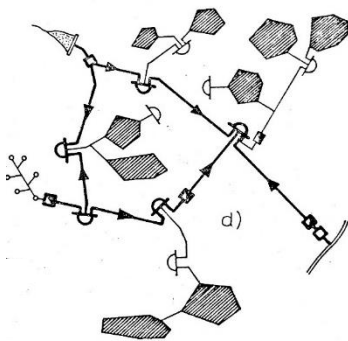
- a) S jedním centrálním vodojemem
b) S místními vodojemy

2.2.1.3 Oblastní vodovod

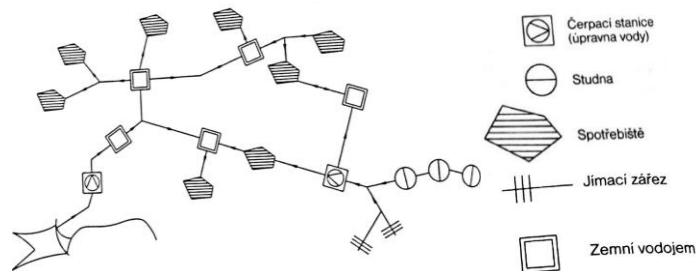
Oblastní vodovod někdy zvaný také vodárenská soustava lze definovat jako druh skupinového vodovodu. Oblastní vodovod se od běžného skupinového vodovodu liší rozsáhlostí území, které pokrývá (jedná se o oblast tak velkou, že lze mluvit o regionu). [2] [4]

Vodárenská soustava může být také definována jako vodovod sestávající ze dvou nebo více skupinových vodovodů s jedním nebo více vodními zdroji, která zajišťuje zásobování rozlehlého území pitnou vodou. [1]

Oblastní vodovody se začaly stavět po druhé světové válce. Motivací pro jejich vznikání byla především potřeba zásobovat vodu i spotřebiště, která nemají ve své blízkosti zdroj vody dostatečné kvality a vydatnosti pro místní zásobování. Sdružování vodárenských zařízení poskytuje také lepší možnosti hospodaření s vodou v období s nedostatkem vody a celkovou vyšší provozní spolehlivost. Možná schémata oblastních vodovodů jsou na následujících obrázcích. [2]



Obrázek 5: Územní působnost vodárenských soustav d) oblastní vodovod [2]



Obrázek 6: Oblastní vodovod s několika zdroji [3]

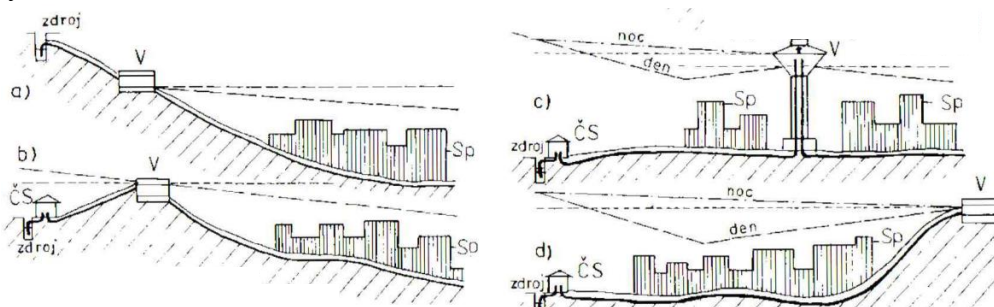
2.2.2 Rozdělení vodovodů dle výškového vztahu vodojemu a zdroje vody

2.2.2.1 Gravitační vodovody

Zdroj vody se nachází na místě s dostatečným převýšením nad vodojemem. Je možné v celé rozvodné síti zajistit dostatečný přetlak 0.25 MPa bez použití čerpadel, což je výhodné kvůli minimalizaci provozních nákladů. Pro gravitační vodovod je typický nepřerušovaný tedy celodenní přítok vody do vodojemu. Obrázek a níže. [2] [3]

2.2.2.2 Výtlačné vodovody

Zdroj vody neleží dostatečně vysoko, případně je situován níže, nebo na stejné úrovni jako spotřebiště. Nachází se tedy pod výškovou úrovní vodojemu a vodu je potřeba do vodojemu čerpat. Proto jsou výtlačné vodovody méně provozně výhodné, přesto jsou díky terénním podmínkám častější typem vodovodů než gravitační. Obrázky b, c, d, níže. [2] [3]

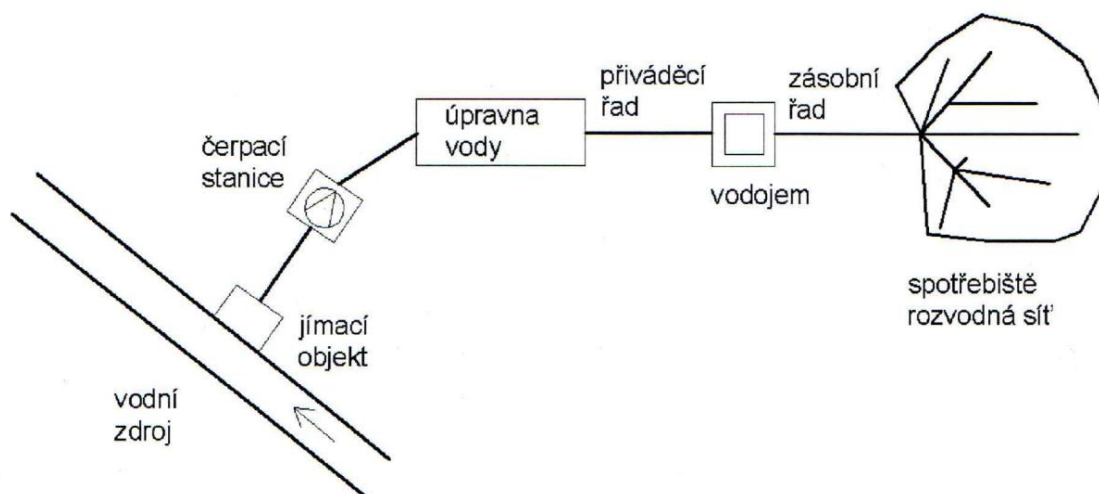


Obrázek 7: Možnosti řešení vodárenských distribučních systémů [4]

- a) Gravitační vodovod - Zdroj vody se nachází nad vodojemem a místem spotřeby
 b) Výtlačný vodovod – Voda je čerpána do vodojemu na kopci, nacházejícím se před místem spotřeby
 c) Výtlačný vodovod – Voda je čerpána ze zdroje, terén je rovinný, vodojem je věžový v centru místa spotřeby
 d) Výtlačný vodovod – Voda je čerpána přes místo spotřeby, vodojem je umístěn na kopci za místem spotřebiště

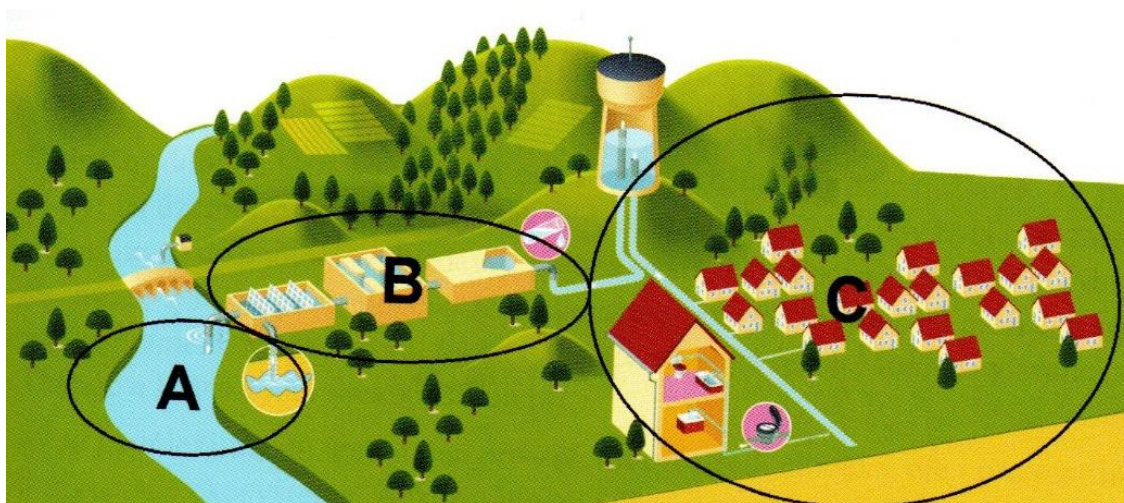
2.3 Prvky vodárenského systému

Základními prvky (subsystémy) vodárenského systému jsou zdroje vody, zařízení pro jímání nebo odběr, úpravu a akumulaci vody a potrubí. Potrubí dělíme na přiváděcí řad (zdroj – vodojem), zásobovací řad (vodojem – spotřebiště) a zásobovací síť, rozvod vody uvnitř spotřebiště. Součástí vodárenského systému bývají také čerpací stanice. Základní prvky vodárenského systému jsou schématicky znázorněny na následujícím obrázku. [2]



Obrázek 8: Schéma zásobování pitnou vodou od zdroje ke spotřebišti [5]

Další obrázek představuje totéž, co předchozí, pouze místo slovních popisů a značek jsou jednotlivé části znázorněny obrázkem: část A vyobrazuje zdroj surové vody a jímací objekty, část B představuje úpravnu pitné vody a část C znázorňuje distribuční systém. [6]



Obrázek 9: Systém zásobování pitnou vodou [6]

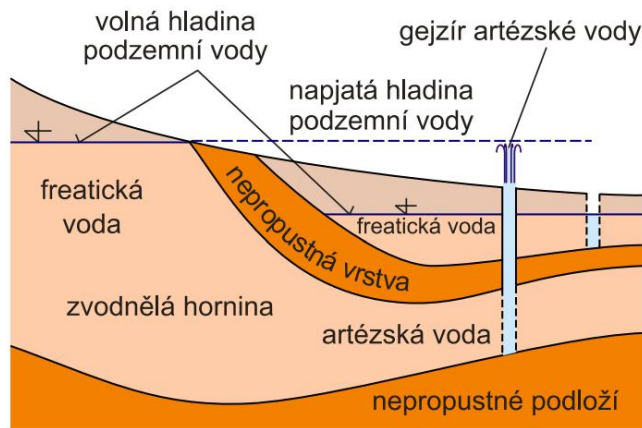
2.3.1 Zdroje vody

Jako zdroj pitné vody se používají vody povrchové a podpovrchové. Dochází k zadržování, dlouhodobé akumulaci vody jak v nádržích v případě vody povrchové, tak v zemních vodonosných vrstvách v případě vody podzemní. Povrchové vody je více a jímá se snadněji, ale její kvalita je horší, proto je její úprava na pitnou vodu dražší než úprava vody podzemní. U nás je přibližně polovina vody pro úpravu na pitnou vodu ze zdrojů podzemní vody a polovina vody ze zdrojů povrchových. [2] [4] [7]

2.3.1.1 Podpovrchová voda

Podpovrchová voda je veškerá voda vyskytující se pod povrchem země. Jedná se o vodu v pevném, kapalném i plynném skupenství, která může být buď gravitační nebo chemicky případně fyzikálně vázaná. Pro vodárenství je klíčová voda gravitační v nasycené zóně, tj. voda v kapalném skupenství pohybující se vlivem gravitace, která se může půdou dostávat na povrch buď přirozenou cestou v podobě pramenů, vtékáním do vodních toků či jezer, nebo umělou cestou prostřednictvím studní a zářezů. Podpovrchová voda se doplňuje přirozenou infiltrací, tj srážkami, popřípadě cíleně umělou infiltrací, dále pak kondenzací vodní páry v půdě nebo kondenzací vodních par z magmatu. [2] [4] [5]

Zvodeň je geologické zemní vrstva umožňující pohyb vody skrze ni. Většina zvodňových vrstev je tvořena nekonsolidovanými nebo částečně konsolidovanými písky a štěrky. Mocnost se pohybuje od pár metrů po desítky metrů. Pokud zvodeň není shora omezena nepropustnou vrstvou např. jílem jedná se o podzemní zvodeň s volnou hladinou tzv. freatickou vodu. V případě, že zvodeň se shora omezena nepropustnou vrstvou jedná se o zvodeň s napjatou hladinou tzv. artézskou vodu, tento rozdíl zachycuje obrázek níže. [4] [8]



Obrázek 10: Druhy zvodní podle napjatosti hladiny podzemní vody [8]

Kvalita podzemní vody závisí na hloubce, hydrologických poměrech a geologické skladbě lokality, ve které se vyskytuje. Znečištění se do podzemních vod může dostat průsakem nežádoucích chemikálií například ze zemědělství, průmyslových havárií a podobně. Podpovrchové vody mají zpravidla neměnnou teplotu a jsou silně mineralizovány. [6]

2.3.1.2 Povrchové vody

Povrchová voda je veškerá voda vyskytující se na zemském povrchu, je dotována atmosférickými srážkami a podzemní vodou. Podle pohybu rozlišujeme povrchovou vodu stojatou a tekoucí. Jedná se o vodu sladkou (kontinentální) i slanou (mořskou), která může být v kapalném i pevném (sníh, ledovce) skupenství. Pro vodárenství je klíčová voda sladká akumulovaná v nádržích a tocích případně sněhové pokrývce. [6] [7]

Kvalita povrchové vody je různá. V nádržích se kvalita vody významně liší v závislosti na hloubce. U řek je kvalita rozdílná po šířce i délce toku, zpravidla klesá směrem po proudu řeky. Znečištění se do vod dostává z čistíren odpadních a průmyslových vod, případně splachy z okolí během srážkových událostí. [2] [6] [7]

Povrchové vody často obsahují živé mikroorganismy, bakterie, viry. Splachy ze zemědělské půdy a z čistíren odpadních vod se do toků dostávají mimo jiné i živiny jako dusík a fosfor, které způsobují eutrofizaci vody, „vodní květ“ velký nárůst řas a sinic ve vodě a jejich následný kyslíkově náročný rozklad. [9]

Následující tabulka zachycuje základní rozdíly mezi vodou povrchovou a vodou podpovrchovou.

Tabulka 1: Hlavní rozdíly mezi podzemní a povrchovou vodou [5]

Charakteristika	povrchová voda	podzemní voda
Teplota	značné kolísání	relativně stálá
barva a zákal	jíl, řasy, humin.látky	rozpuštěné látky,kovy
rozpuštěné látky	časté změny	konstantní (vyšší než povrchová)
Fe, Mn	většinou nejsou (jen u dna)	běžný výskyt
agresivní CO ₂	obvykle žádný	často vysoký obsah
H ₂ S	obvykle žádný	občasný výskyt
NH ₄ ⁺	ve zneč. vodách	výskyt, ale bez IH
NO ₃ ⁻	obsah nízký	vysoký obsah při znečištění
Si	obsah nízký	obsah často vysoký
Mikroznečištění	nepravidelný výskyt	většinou žádný výskyt
živé mikroorganismy	bakterie, viry, ...	železité bakterie
chlorované uhlovodíky	nepravidelný výskyt	častý výskyt
eutrofní charakter	často, vzrůstá s teplotou	ne
KNK _{4,5}	nízké hodnoty	vysoké hodnoty
pH	6-8,5, výjimečně 4,0	6-7

2.3.1.3 Ochranná pásma

Ochranná pásma stanovuje vodoprávní úřad podle zákona o vodách. Slouží k ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních nebo povrchových vod využívaných nebo využitelných pro zásobování pitnou vodou běžně s průměrným odběrem více než 10 000 m³ za rok. Ochranná pásma se dělí na pásma I. stupně a II. stupně. Hranice ochranných pásem se vyznačují na viditelných místech tabulemi s nápisem "Ochranné pásmo x stupně vodního zdroje"; je-li stanoven zákaz vstupu, pak i textem "Nepovolaným vstup zakázán". [10] [11]

Ochranné pásmo I. stupně slouží k ochraně vodního zdroje a jeho bezprostřední okolí. U vodárenských nádrží vyjmenovaných ve vyhlášce 137/99 Sb., tabulka níže na této stránce, a ostatních vodárenských nádržích sloužících výhradně k zásobování pitnou vodou se jedná o souvislou oblast celé plochy hladiny nádrže při maximálním vzduť rozšířenou o minimálně 50 m široký pruh. U ostatních nádrží s vodárenským využitím sahá do vzdálenosti minimálně 100 m od odběrného zařízení. Při odběru vody ze břehu vodních toků je ochranné pásmo I. stupně minimálně 200 m proti proudu po hranu vzdouvacího objektu, pakliže není vzdouvací objekt přítomen, tak dosahuje dále 50 m po proudu. U zdrojů podzemní vody sahá minimálně 10 m od odběrného zařízení. [10] [11]

Ochranné pásmo II. stupně je v případě potřeby stanovena vně ochranného pásma I. stupně. Může být tvořeno jedním souvislým nebo více od sebe oddělenými územími v rámci hydrologického povodí nebo hydrogeologického rajonu. [10] [11]

Tabulka 2: Seznam vodárenských nádrží [10]

Název vodárenské nádrže	Vodní tok	Název vodárenské nádrže	Vodní tok	Název vodárenské nádrže	Vodní tok
Hamry	Chrudimka	Mariánské Lázně	Ušovický potok	Křímov	Křímovský potok
Křižanovice	Chrudimka	Nýrsko	Úhlava	Jirkov	Bílina
Vrchlice	Vrchlice	Žlutice	Střela	Jezeří	Vesnický potok
Josefův Důl	Kamenice	Klíčava	Klíčava	Janov	Loupnice
Souš	Černá Desná	Láz	Litavka	Chřibská	Chřibská Kamenice
Římov	Malše	Pilská	Pilský potok	Přísečnice	Přísečnice
Karhov	Studenský potok	Obecnice	Obecnický potok	Fláje	Flájský potok
Husinec	Blanice	Horka	Libocký potok	Myslivny	Černá
Staviště	Staviště	Podhora	Teplá	Kružberk	Moravice
Švihov	Želivka	Stanovice	Lomnický potok	Šance	Ostravice
Lučina	Mže	Kamenička	Kamenička		

2.3.2 Jímání a odběry vody

2.3.2.1 Jímání podpovrchové vody

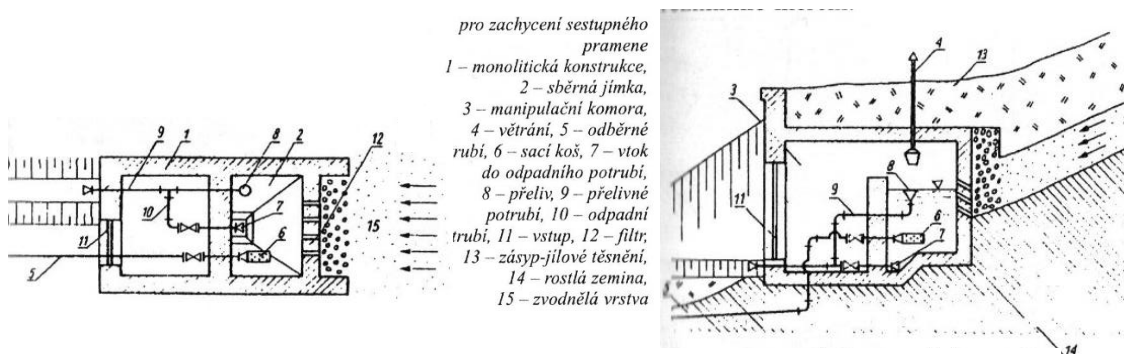
K jímání podpovrchové vody slouží jímací zařízeními, která jímají surovou vodu z podzemních zdrojů vody. [1]

Jímací objekty:

- Plošné jímací objekty – pramenní jímky
- Vertikální jímací objekty – hydrologické jímací vrty a studny
 - šachtové (kopané a spouštěné)
 - trubní (vrtné)
 - trubkové (jehlové)
- Horizontální jímací objekty – jímací zářezy, galerie, štoly, horizontální vrty
- Kombinované objekty (šachtová studna s horizontálními vrty) [5]

Plošné jímací objekty

Plošné jímací objekty slouží k zachycování pramenů a plošných vývěřů ze skalních hornin. Budují se pouze ojediněle. Jejich velkou nevýhodou je zachycování vody z malých hloubek, díky čemuž jsou silně ohroženy znečištěním. [2]

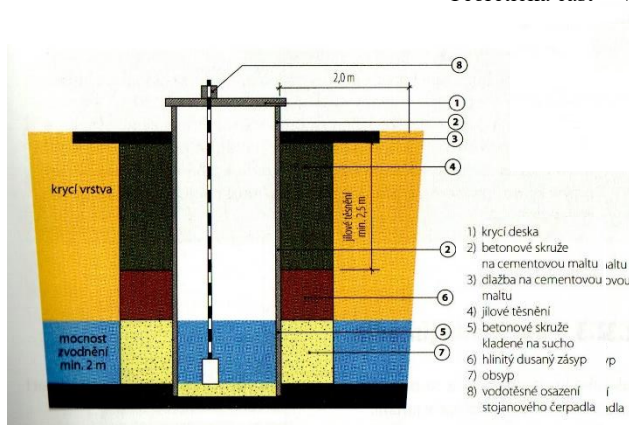


Obrázek 11: Pramenná jímka [4]

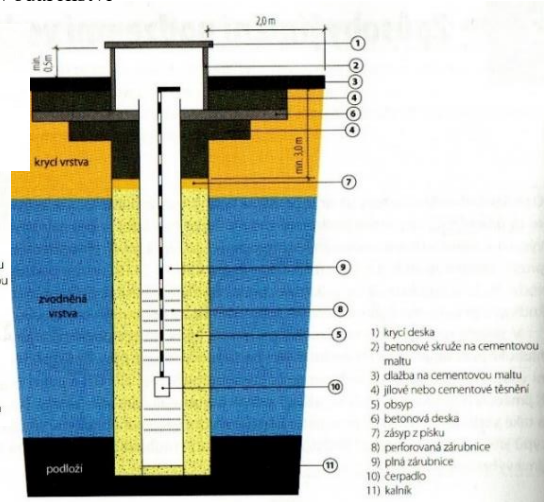
Vertikální jímací objekty

Šachtové studny

Šachtové studny jsou jímací objekty. Jejich výhodou je, že díky svému velkému objemu slouží k akumulaci vody. Používají se pro nerovnoměrný odběr vody často jako individuální zásobování vodou jednoho spotřebitele. Zpravidla nejsou hlubší než 15 m. Vnitřní průměr je většinou minimálně 1 m. Vtokové otvory zaujímají přibližně 10 % plochy pláště studny. Podle způsobu stavby jsou buď kopané nebo spouštěné. Kopaná šachtová studna je na následujícím levém obrázku. [2] [5]



Obrázek 12: Kopaná studna [62]



Obrázek 13: Vrtaná studna [62]

Trubní studny

Trubní studny jsou jímací objekty. Jedná se o nejpoužívanější typ studny. Lze je použít v každém geologickém podloží. Slouží k jímání vody z hlubokých zvonových vrstev. Nejčastěji se hloubí vrtáním, proto se jim říká vrtané studny. Trubní studna je na pravém obrázku nad odstavcem. [5]

Trubkové studny

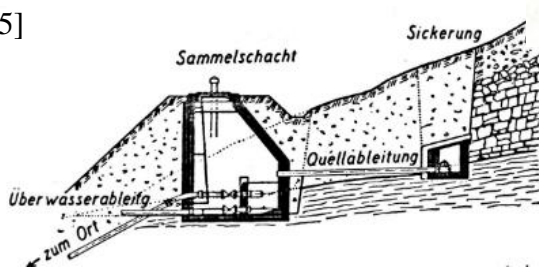
Trubkové studny někdy zvané jehlové slouží pro jímání malých objemů vody do $1 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$. Používají se u štěrkopískových náplavů v malé hloubce pod povrchem. Jedná se o ocelové trubky průměru 30 až 80 mm, v spodní části studny asi na výšku 1 m děrované. [5] [2]

Horizontální objekty

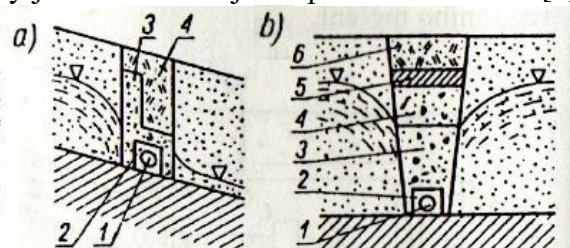
Zářezy

Zářezy jsou jímací objekty hloubené z povrchu. Zpravidla jsou vyhloubeny až na nepropustné podloží, které je maximálně 5 m pod úrovní povrchu terénu. Uplatňují především u mělce uložených zvodnělých vrstev o malé výšce maximálně 1 m. Na nepropustné podloží je položeno v horní polovině perforované kameninové potrubí, které je obloženo lomovým kamenem a obsypané štěrkem. Na štěrku je uložena vrstva písku. Zbytek je doplněn vytěženým materiálem. Zářezy většinou ústí do jímky odkud se zachycená voda přečerpává. Jímací zářezy jsou na následujícím pravém obrázku. [2]

[5]



Obrázek 14: Příčný řez galerií a jímkou [12]



Obrázek 15: Jímací zářez. Drenáž zvodnělé vrstvy [4]
a) s výrazným sklonem b) vodorovné
1-drenáž, 2-obsyp, 3-hrubý obsyp, 4- zásyp přírodní zemínou, 5-těsnící jílová vrstva, 6- vrstva humusu

Galerie

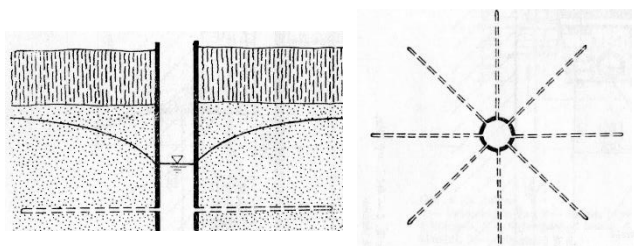
Galerie jsou jímací objekty, které se zřizují pro zachycení většího množství vody tam, kde zvodnělá vrstva proniká na zemský povrch. Galerie se mohou zřizovat v otevřené rýze. [5]

Štoly

Štoly jsou jímací objekty ražené, které se používá při malé výšce zvonové vrstvy ve větších hloubkách, v místech, kde zvodnělá vrstva proniká na zemský povrch. Pokud je štola ražena z povrchu, může být voda odváděna gravitačně, jinak se vybudovává sběrná jímka v nejnižším bodě štoly. [2] [5]

Kombinované objektyŠachtová studna s horizontálními vrty

Šachtová studna s horizontálními vrty je jímací objekt, který se používají při malé výšce zvonové vrstvy. Studna má funkci jímky. Horizontální vrty mohou dosáhnout délky 100 m a u jedné studny se jich může vyskytovat nanejvýš 12. [5]



Obrázek 16: Studna s horizontálními jímáči [2]

2.3.2.2 Odběr povrchové vody

K odběru povrchové vody slouží odběrná zařízení, která odebírají surovou povrchovou vodu z nádrží, jezer, vodních toků a podobně. [1]

Základní odběrné objekty [5] [2]

• pro odběr z nádrží jsou:

- objekty věžové
- objekty břehové
- objekty plovoucí

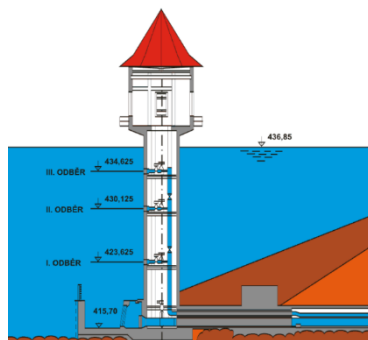
• pro odběr z vodního toku:

- objekty břehové
- objekty jezové
- objekty dnové
- objekty plovoucí

Věžový objekt

Věžový objekt je nejčastějším odběrným objektem používaným pro odběr vody z nádrží. Může být samostatným objektem (bývá kruhového půdorysu) spojených komunikací s hrází či břehem (nejčastěji u sypaných přehrad) nebo součástí

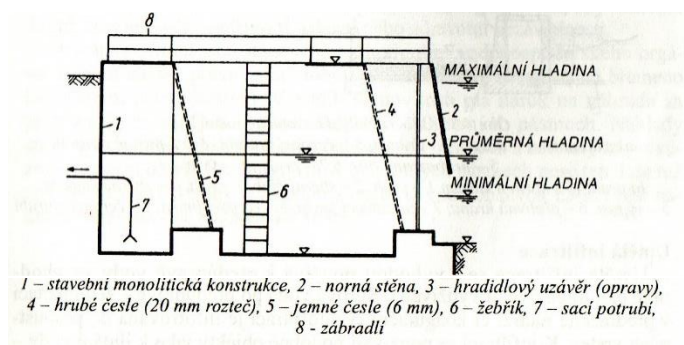
tělesa hráze (betonová či zděná přehrada). Odběrná věž musí mít nejméně tři etážové odběrné otvory umístěné v různých hloubkách, aby bylo možné odebírat vždy kvalitou nejpříznivější vodu. Vtokové objekty musí být zevnitř i z venku objektu uzavíratelné. [2]



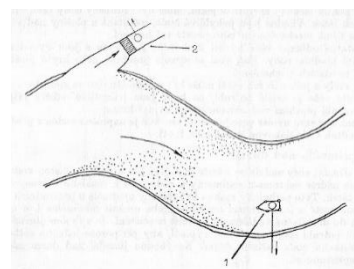
Obrázek 17: Odběrný věžový objekt [63]

Břehový objekt

Břehové jímadlo je odběrný objekt, často používaný pro odběr vody z tekoucích vod, či nádrží. Staví se především na středních a dolních částech toků, kde je stabilní dno a břehy a kde je zaručen odběr i vody při minimální hladině vody a zároveň dojde k zachování minimálního zůstatkového průtoku v toku. Z toho vyplývá že uzavíratelné odběrné potrubí musí být umístěné pod úrovní minimální hladiny vody. Je třeba umístit jímadlo mimo místa zanášená splaveninami. V oblouku řeky se doporučuje umístit odběr ve čtvrtině konkávního břehu. Mezi vtok a odběrné potrubí se umísťuje uklidňovací komora s jemnými česlema a v případě potřeby lapák písku. Norná stěna před nátokem chrání odběrný objekt proti plovoucímu ledu. Odběrným potrubím je voda odváděna do čerpací jímky odtud je čerpána do úpravný vody. Vhodné umístění břehového objektu a řež břehovým objektem jsou vyobrazeny na následujících obrázcích. [2] [12]



Obrázek 19: Břehový odběrný objekt [4]



Obrázek 18: Odběrné objekty v tekoucí vodě [2]

Dnový objekt

Dnový objekt je odběrný objekt, který se navrhuje na tocích bystrinného charakteru, v místech, kde nedochází k usazování částic unášených vodou. [2]

2.3.3 Úprava vody

Postup úpravy vody se vždy odvíjí od konkrétního složení upravované vody.

2.3.3.1 Surová voda

Surová voda je voda odebraná z vodního zdroje, která je určená k úpravě pro zlepšení jakosti. Rozdělujeme tři kategorie surové vody podle její kvality, tedy úpravy, kterou vyžaduje, aby se stala pitnou. Voda kategorie A1 je nekvalitnější, vodu horší kvality než A3 lze jako pitnou použít pouze výjimečně s povolením krajského úřadu.

[1] [5]

Tabulka 3: Standardní typy úpravy vody pro jednotlivé kategorie surové vody dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. [33]

Pro kategorii	Typy úprav
A1	Úprava surové vody s případnou dezinfekcí pro odstranění sloučenin a prvků, které mohou mít vliv na její další použití a to zvláště snížení agresivity vůči materiálům rozvodného systému včetně domovních instalací (chemické nebo mechanické odkyselení), dále odstranění pachu a plyných složek provzdušňováním. Prostá filtrace pro odstranění nerozpuštěných látek a zvýšení jakosti.
A2	Surová voda vyžaduje jednodušší úpravu, např. koagulační filtrace, mikrofiltrace, jednostupňové odželezňování, odmanganování, iontovou výměnu, infiltraci, pomalou biologickou filtrace, úpravu v horninovém prostředí a to vše s koncovou dezinfekcí. Pro zlepšení vlastností je vhodná stabilizace vody.
A3	Úprava surové vody vyžaduje dvou nebo víceúrovňovou úpravu vody, která se skládá z prvního separačního stupně (sedimentace, koagulace, flotace), filtrace na vhodném filtračním materiálu a z dalších vhodných technologických procesů, např. ozonizace, AOP (pokročilé oxidační procesy), sorpce na granulovaném aktivním uhlí, membránová separace, případně jejich kombinací. Ekonomicky náročnější postupy technicky zdůvodněné se použijí mimořádně za podmínky dodržení požadavků uvedených v § 14 odst. 2 vyhlášky č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.
Vyšší koncentrace než jsou uvedeny pro kategorii A3	Podle § 13 odst. 2 zákona lze výjimečně vodu této jakosti odebírat pro výrobu pitné vody za předpokladu, že bude aplikován postup úpravy vody, který zajistí dosažení jakosti vyráběné vody v souladu s požadavky právního předpisu upravujícího hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu. Využití takového zdroje vody a technologie úpravy vody musí být v tomto případě projednána s příslušným orgánem ochrany veřejného zdraví a upravitelnost musí být ověřena zkouškou upravitelnosti této vody podloženou laboratorní, poloprovozní nebo provozní zkouškou a zkušebními provozem v délce minimálně 6 měsíců pro ověření dostatečné účinnosti úpravy vody. Přednostním řešením v těchto případech je však eliminace příčin znečištění anebo vyhledání nového zdroje vody.

2.3.3.2 Stupně úpravy vody

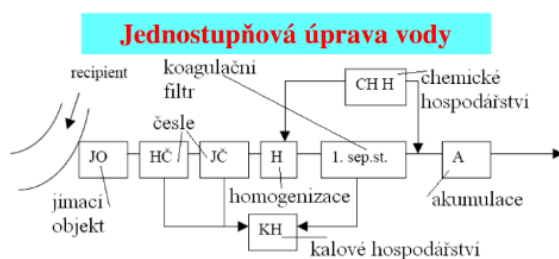
Rozlišují se tři stupně zpracování vody podle úpravy, kterou surová voda vyžaduje:

Bez úpravy

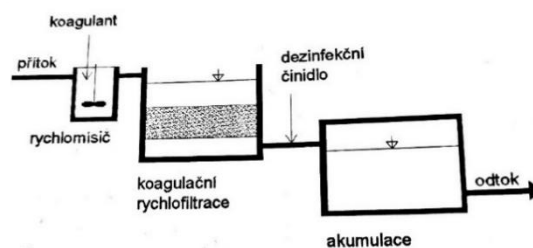
Kvalitní podzemní voda, surová voda kategorie A1, kterou je potřeba pouze hygienicky zabezpečit. Někdy se provzdušňuje pro odstranění agresivního CO_2 . [7]

Jednostupňová úprava

Používá se u čistých vod. Probíhá zde koagulační filtrace, není zde čířič. Je potřeba menší množství koagulantu. Voda s koagulantem je přiváděna přímo na vodárenský filtr, proto je až o 10 % větší potřeba prací vody. Investiční náklady jsou menší než u dvoustupňové úpravy. [5] [7]



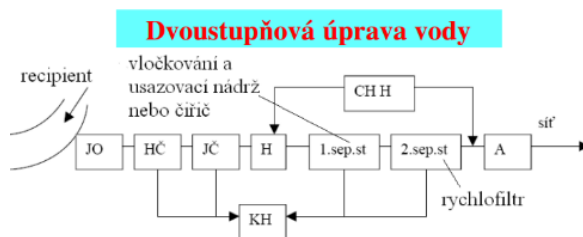
Obrázek 20: Jednostupňová úprava vody [7]



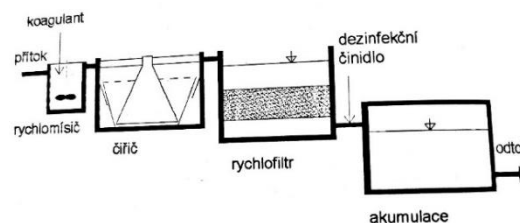
Obrázek 21: Jednostupňová úprava [5]

Dvoustupňová úprava

Používá se u znečištěných povrchových vod se zákalem vyšším než 30 ZF a u podzemních vod s vyšší koncentrací železa než 4 mg. l^{-1} , tedy u surové vody kategorie A3. První stupeň je tvořen čířičem nebo usazovací nádrží případně flotací, druhý stupněm je rychlofiltr. [5] [7]



Obrázek 22: Dvoustupňová úprava vody [7]



Obrázek 23: Dvoustupňová úprava [5]

2.3.3.3 Základní technologické procesy úpravy vody

Technologické procesy, jaké se k úpravě konkrétní vody použijí, se specificky navrhují vždy podle konkrétních vlastností surové vody (jejího složení, znečištění, množství a podobně).

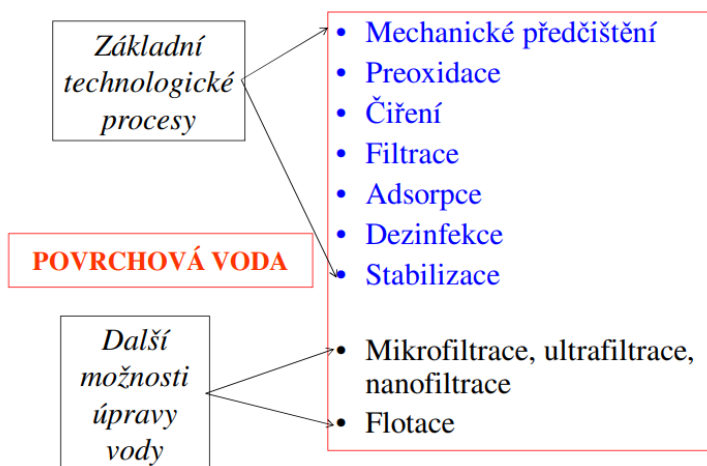
Podle typických rozdílných vlastností (znečištění, složení) podzemních a povrchových vod, lze technologie úpravy vody rozdělit podle toho, pro které vody jsou typicky používány:

Základní technologické procesy povrchové vody jsou mechanické předčištění, peroxidáze, číření, filtrace, adsorpce, dezinfekce a stabilizace, poměrně důležitá je také technologie flotace.

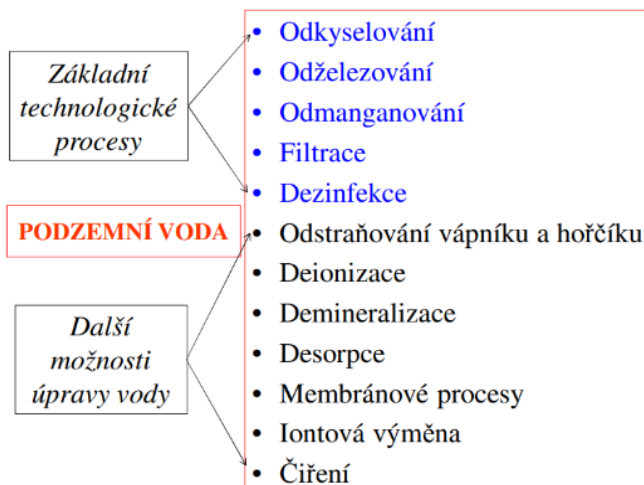
Základní technologické procesy úpravy podzemní vody jsou odkyselování, odželezování, odmanganování, filtrace a dezinfekce. [5] [7]

Tyto základní a další možné technologické procesy úpravy vody přehledně vyjadřují dvě následující tabulky.

Tabulka 4: Rozdělení způsobů úpravy podle zdroje podzemní voda [7]



Tabulka 5: Rozdělení způsobů úpravy podle zdroje podzemní voda [7]



2.3.3.3.1 Mechanické předčištění (cezení)

Proces mechanického předčištění se používá zejména u povrchové vody pro odstraňování hrubých nečistot. Cílem mechanického předčištění je ochránit čerpací zařízení před poškozením, potrubí a objekty před zanášením. Principem mechanického předčištění je cezení. Možná zařízení, která se k mechanickému předčištění dají použít jsou: [7] [5]

Česle

Česle podle velikosti dělíme na hrubé, střední a jemné. Hrubé česle mohou být součástí odběrného objektu povrchové vody. Používají se především k odstranění nejhrubších plovoucích látek (větví, kmenů stromů, ker ledu atd.) Světlost mezi česlicemi je většinou 100 mm. Odstraňování zachycených předmětů se většinou provádí manuálně.

Střední česle chrání síta nebo potrubí před vniknutím částic, světlost mezi česlicemi bývá do 50 mm. U malých úpraven jsou stíraný ručně u větších úpraven bývají vybaveny stíracími zařízeními.

Jemné česle mají světlost česlic 2 až 5 mm, osazují se jako poslední česle tedy za hrubé, případně střední česle. Stírání jemných česel bývá strojní. [7] [5] [4]

Rotační síta a makrosíta

Síta slouží k odstranění drobných nečistot z vody. Mohou nahradit jemné česle nebo mohou být dalším stupněm předčištění vody. Vyrábí se z nerezové oceli, nebo syntetických vláken. Rotační síta mají oka o velikosti 20-50 μm . Rotační síto je osazeno na válci, který rotuje kolem horizontální osy a je ze 2/3 ponořen do vody. Voda přitéká dovnitř válce a nečistoty se zachycují na vnitřní straně válce, při otáčení se síto dostává nad hladinu a nad odpadním žlabem umístěným uvnitř válce je propíráno odstříkovaním. Rotační makrosíta mají oka o velikosti 0,3 až 3 mm. [7] [5] [4]

Lapák písku

Lapáky písku slouží k odstranění písků a látek sunutých po dně, jedná se většinou o prostý usazovací žlab s akumulacním prostorem. Lapák by měl být tak dlouhý, aby písek požadované nejmenší velikosti stihl od hladiny na začátku lapáku klesnout ke dnu do konce lapáku. [7] [5]

Usazovací nádrže

Usazovací nádrže se používají v případě, že surová voda unáší velké množství jemného písku a jílu. Usazovací nádrže se zařazují před jemné česle, tak aby následná síta nebyla písky a jíly zatěžována, a stačila zachytit všechny rozptýlené látky. [7] [5]

2.3.3.3.2 Čiření

Čiření je nejběžnější způsob úpravy povrchové vody. Čiřením se odstraňují z upravované vody jemné suspenze a koloidní látky. Jedná se o moc malé částice na to, aby je bylo možné sedimentací a filtrací odstranit z vody jednotlivě.

Čiření probíhá ve dvou fázích. V první fázi probíhá koagulace, což je proces shlukování koloidních částic do větších agregátů, které je následně možné ve druhé fázi odstranit sedimentací, filtrací. (Ve vodárenské praxi často dochází k záměně nebo ztotožnění termínů: čiření a koagulace.) [5]

V první fázi čiření se do upravované vody dává koagulant (jedná se o roztok hydrolyzující soli na bázi hliníku nebo železa, viz tabulka níže), který reaguje s vodou za vzniku hydroxidu. Částice hydroxidu dále reagují a nabalují na sebe nečistoty koloidní povahy, tak se tvoří vločky, které se ve druhé fázi procesu separují sedimentací a (případně nebo pouze) filtrací. [5]

Tabulka 6: Koagulanty [15]

na bázi hliníku		na bázi železa	
Síran hlinitý	$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	Síran železitý	$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$
Chlorid hlinitý	AlCl_3	Chlorid železitý bezvodý	FeCl_3
Hlinitan sodný	NaAlO_2	Chlorid železitý hexahydrát	$\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
Hlinité polymery	Komplexy $\text{Al}_6(\text{OH})_{12}^{6+}$ až $\text{Al}_{54}(\text{OH})_{144}^{8+}$	Chlorovaný síran železnatý	$\text{FeClSO}_4 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$
		Síran železnatý	$\text{FeSO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$

Někdy se při čiření používají také takzvané pomocné koagulační prostředky: zatěžkávadla a flokulanty.

Zatěžkávadla (pomocné koagulanty) zlepšují sedimentační vlastnosti vytvořených vloček. Jedná se například o jíly (bentonit, kaolín), práškové aktivní uhlí, jemný křemičitý písek, nebo jemně mletý vápenec.

Polymerní flokulanty jsou vysoce molekulární látky (polymery anorganické (kyselina křemičitá), polymery organické (škrob, deriváty celulózy), polymery syntetické), které jsou schopné vytvářet vločky nezávisle na původních částicích dispergovaných ve vodě. Lze je použít v kombinaci s klasickými koagulanty (v případě, že má upravovaná voda vysoký obsah koloidních organických nečistot a nízký obsah suspendovaných látek) nebo samostatně (v případě, že voda nízký obsah organického znečištění, ale vysoký podíl anorganických suspenzí). Flokulanty zvětšují objem, a tím i sedimentační rychlost vloček a kapacitu úpravny, zlepšují jakost upravené vody, umožňují snížit dávku anorganických koagulantu. Při jejich použití vzniká méně kalu. [5]

Zařízení a objekty, které se při čiření používají:

- rychlomísíč – vločkovací nádrž – usazovací nádrž
- čiřič

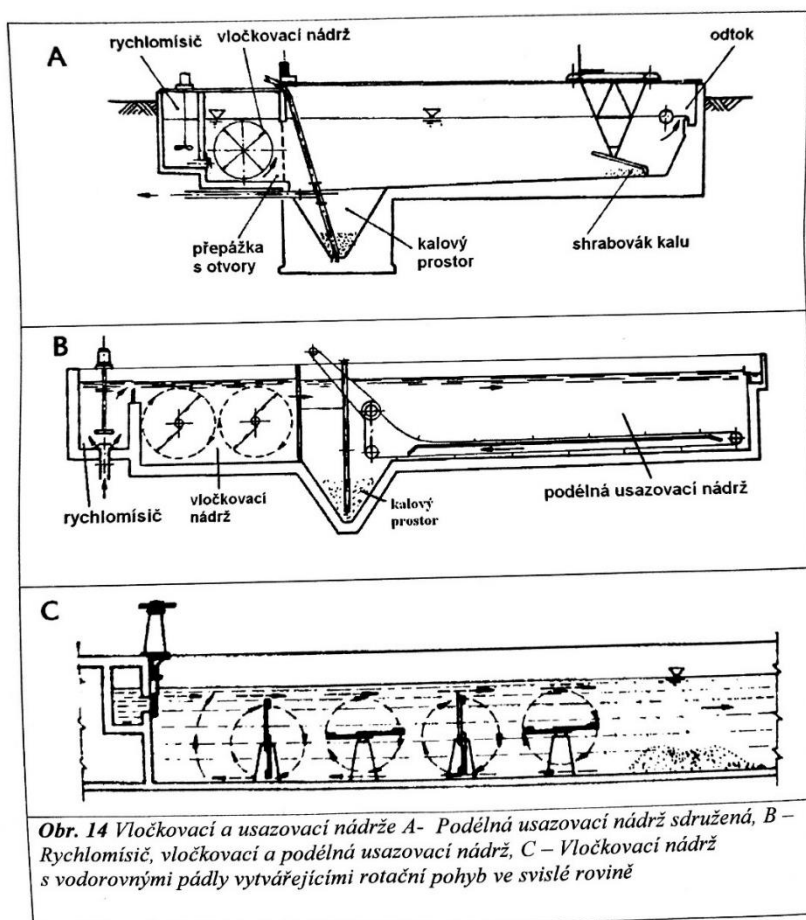
2.3.3.3.2.1 rychlomísíč – vločkovací nádrž – sedimentační nádrž

Rychlomísíče slouží k promíchávání vody s koagulačním činidlem. Rychlomísíče jsou mechanické (lopatkové nebo vrtulové), hydraulické mísiče (vodní skok), mechanicko-pneumatické mísiče (mamutka). [5]

Vločkovací nádrže jsou nádrže, ve kterých dochází k pomalému míchání upravované vody, v těchto nádržích se vytvářejí separovatelné vločky. [5]

V usazovací nádrži dochází k usazování (sedimentaci) vloček. [5]

Příklady možného uspořádání rychlomísíče, vločkovací nádrže a sedimentační nádrže lze vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 24: Rychlomísíče, vločkovací a usazovací nádrže [5]

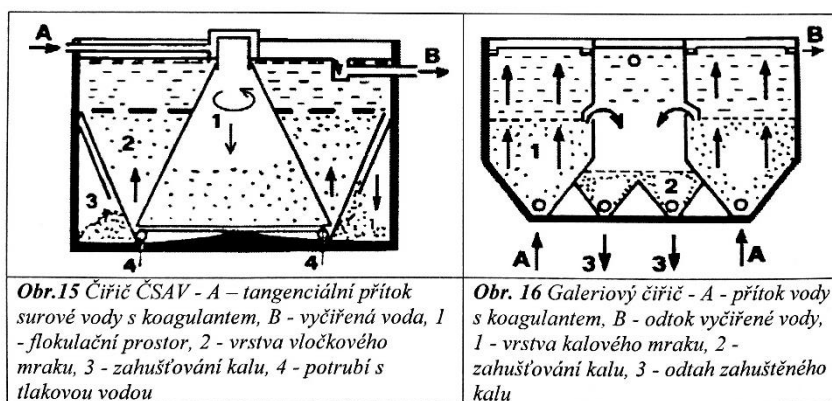
2.3.3.3.2.2 Čiřiče

Čiřiče jsou zařízení sloužící k tvorbě a separaci vloček. Při separaci vloček v čiřiči se využívá efektu vločkového mraku (vznášené vrstvy vločkových částic).

Všechny typy čiřičů mají čtyři základní funkční prostory:

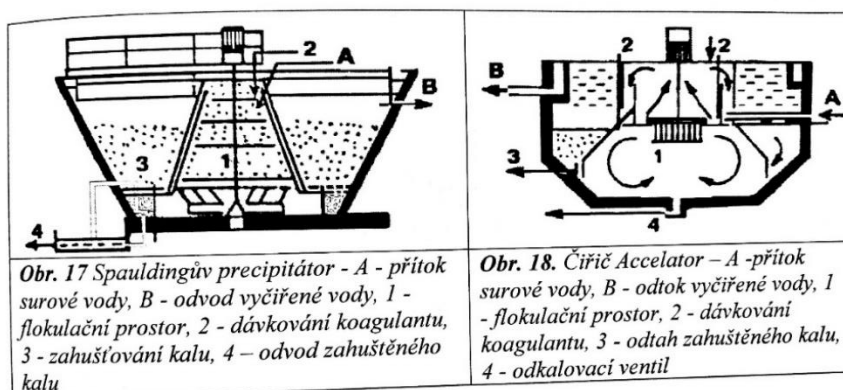
- Flokulační prostor, kde se voda promíchává s koagulantem a dochází zde k počáteční tvorbě vloček.
- Prostor vločkového mraku (čiřicí prostor) kde dochází k nárustu počtu vloček.
- Prostor vyčiřené vody, z kterého je voda odváděna na filtr.
- Zahušťovací prostor, ve kterém dochází k usazování vloček a zahušťování kalu. [5]

Upravovaná voda protékající vločkovým mrakem směrem vzhůru udržuje vločkový mrak ve vznosu u čiřičů s dokonalým vznášením, těmi jsou například: Čiřič ČSAV, Galeriový čiřič, Pulsátory (na rozdíl od ostatních jmenovaných mají nerovnoměrný průtok) [5]



Obrázek 25: Čiřič ČSAV a Galeriový čiřič [5]

U čiřičů s nedokonalým vznášením je mrak udržován ve vznosu mechanickým mícháním. (Spauldingův precipitátor, Accelator) . [5]



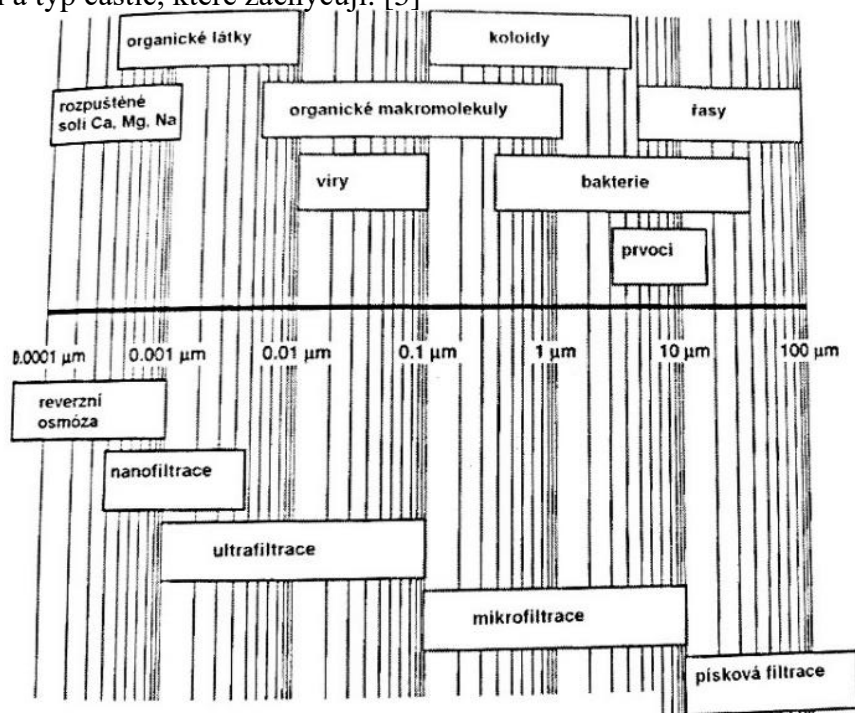
Obrázek 26: Spauldingův precipitátor a Čiřič Accelator [5]

2.3.3.3.3 Filtrace

Filtrace je nejpoužívanější technologický proces ve vodárenství. Používá se při úpravě povrchové i podzemní vody. Podstatou filtrace je zachycování částic určité velikosti průchodem upravované vody přes zrnitý nebo porézní materiál, k zachycení částic dochází na základě následujících procesů: mechanického cezení (velká částice neprojde malou mezerou), adsorpce (zachycení částice působením hmotnostních van der Walsových a elektrostatických Coulombových sil), chemickým působením filtračně aktivní vrstvy materiálu (odkyselování, odželezování, odmanganování), působení biologického oživení filtrační vrstvy (pomalé filtry). Druhy filtrace jsou:

- objemová filtrace = filtrace vrstvou zrnitého materiálu, dále se dělí:
 - pomalou filtraci (anglickou)
 - rychlou filtraci (probíhá na rychlofiltrech)
 - přímá filtrace (k vodě se nepřidávají reakční činidla)
 - koagulační filtrace (před filtrem se přidává do vody koagulant, filtr zachycuje vytvořené vločky)
 - filtrace vyčiřené vody (filtr je umístěn za čičičem)
- náplavová filtrace = filtrace na filtrační přepážce
- membránové filtrace neboli membránové procesy = filtrace přes membránu
jsou: mikrofiltrace, ultrafiltrace, nanofiltrace a reverzní osmóza [5]

Následující obrázek schématicky zachycuje druhy filtrace a jim odpovídající přibližnou velikosti a typ částic, které zachycují. [5]



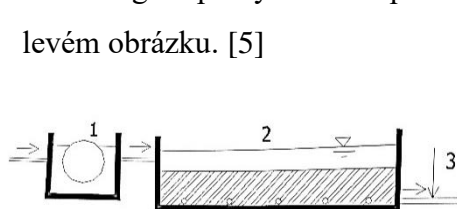
Obrázek 27: Porovnání n

2.3.3.3.3.1 Objemová filtrace

Pomalá filtrace (anglická)

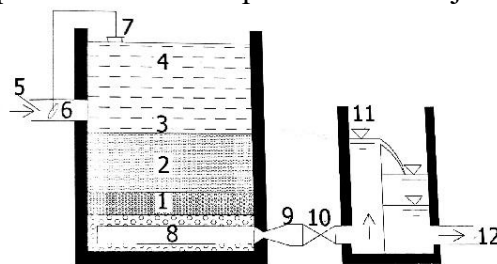
Pomalá filtrace vody je technologií historickou, která byla na většině úpraven nahrazena rychlofiltrací, přesto na ní lze narazit i v současnosti. Úprava vody pomalou filtrací je úprava, při které si voda nejvíce zachová přirozený charakter. Tento druh filtrace se hodí pro přímou filtraci surové vody vhodné počáteční kvality. Používá se jako samostatný stupeň úpravy, nepředřazuje se před ni koagulace ani sedimentace, předřazují se jí jen mikrosíta případně provzdušnění a za ní musí být zařazené hygienické zabezpečení (následující levý obrázek). Používá se pro malé úpravný, u kterých nepředstavuje problém velká potřebná plocha.

Základem technologie je biologická membrána (oživená aerobními mikroorganismy), nacházející se na povrchu pískového filtru, proto je potřeba u této technologie úpravy zamezit přístupu světla. Schéma pomalého filtru je na následujícím levém obrázku. [5]



1-mikrosíto, 2-pomalý filtr
3-chlorování

Obrázek 28: Schéma úpravy vody při použití pomalé filtrace [15]



Obr.22 Otevřený pomalý filtr - 1 – štěrky různé velikosti zrna, 2 – filtrační písek, 3 – biologická membrána, 4 – vrstva filtrované vody, 5 – přítok surové vody, 6 – klapka, 7 – plovák, 8 – drenážní potrubí, 9 – Venturiho trubice, 10 – uzávěr, 11 – přeliv, 12 odtok filtrátu

Obrázek 29: Uspořádání pomalého filtru [5]

Rychlofiltry

Rychlá filtrace je vůbec nejpoužívanější vodárenskou technologií. Jedná se o proces separace suspendovaných částic z upravované vody průtokem přes hlubokou vrstvu zrn písku (případně aktivní uhlí nebo jiný anorganický materiál). Tento proces není založený na činnosti mikroorganismů. Od pomalé filtrace se dále liší hrubší zrnitostí náplně, vyšší filtrační rychlostí, a tedy menší potřebnou plochou. Rychlofiltry jsou obvykle závěrečným procesem při čištění vody, kdy zachytávají zbývající vločky, které nebyly odstraněny sedimentací v reaktorech.

Charakteristickým rysem filtrace je cyklický průběh, skládající se ze dvou fází: Fáze filtrační, která probíhá při úpravě vody a při které se nerozpuštěné látky zachycují na filtrační vrstvě, a fáze prací, při které se zachycené látky z filtru odstraňují prací vodou (popřípadě vodou a vzduchem). [5]

Otevřené rychlofiltry

Otevřené filtry se běžně používají při jednostupňové i dvoustupňové úpravě vody. Jedná se o železobetonové nebo ocelové nádrže s filtrační náplní. Podle typu konstrukce se rozlišují dva základní typy rychlofiltrů: americký a evropský. Hlavním rozdílem mezi nimi je rozdílná zrnitost náplně, ze které dále vyplývají konstrukční rozdíly. [5]

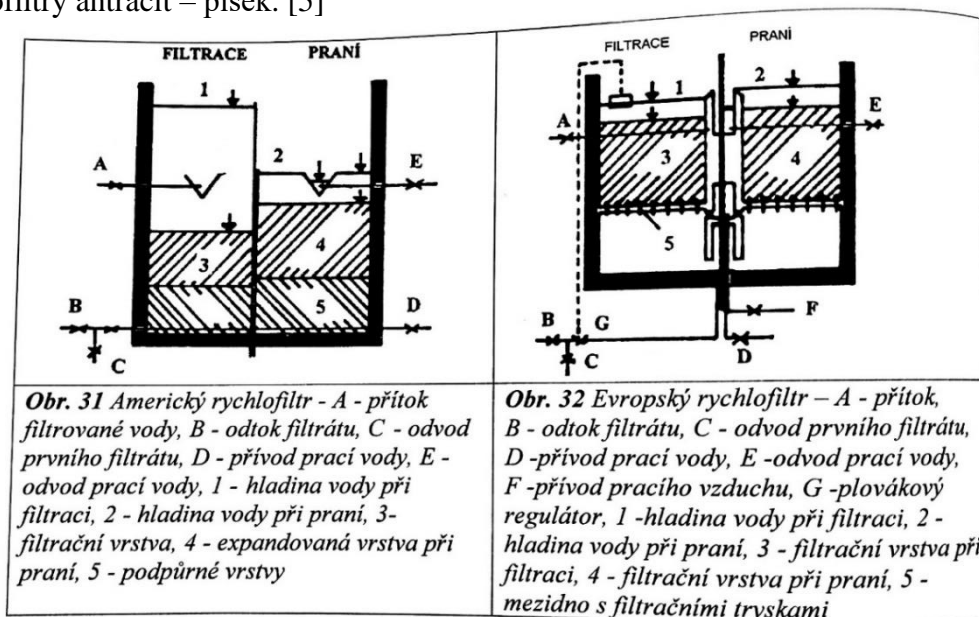
Americký rychlofiltr

Americký rychlofiltr má jemnější náplň, proto jej lze prát pouze vodou a nemá mezidno. Výška náplně amerického filtru bývá 0,8 m. [5]

Evropský rychlofiltr

Evropský rychlofiltr má hrubší náplň, proto se používá jako pomocné prací medium k vodě též vzduch, rovnoměrného rozdělení vody a vzduchu při praní se dosahuje právě pomocí mezidna. Náplně evropského filtru bývá 1,1-1,3 m vysoká.

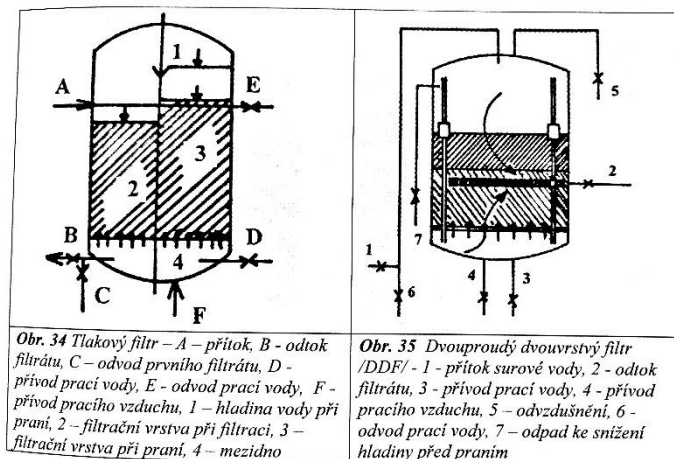
Evropský rychlofiltr se používá též jako koagulační filtr ke koagulační filtraci. Při této technologii úpravy vody je vynechán první stupně separace (usazovací nádrž, čířiče), všechny suspenze jsou tedy přiváděny rovnou na filtr, proto se filtry navrhují s vyšší vrstvou hrubší náplně. Jako koagulační filtru se často používají dvouvrstvé rychlofiltry antracit – písek. [5]



Obrázek 30: Schémata amerického a evropského rychlofiltru [5]

Tlakové rychlofiltry

Tlakové filtry jsou na rozdíl od otevřených nad zrnitým ložem uzavřené, proto je možné u nich filtraci provozovat s vyšším vstupním tlakem. Většinou pracují s vyšší výškou náplně (nejčastěji písku) a za vyšších rychlostí. Nejčastěji jsou konstruovány jako ocelové nádoby válcového tvaru s klenutým dnem. Používají se při úpravě pitné vody tam, kde je z dispozičních důvodů nevhodné použít otevřený atmosférický filtr. Své využití mají hlavně při úpravě podzemní vody a v menších úpravnách vod povrchových. [5]



Obrázek 31: Schéma tlakových filtrů [5]

2.3.3.3.4 Adsorpce

Adsorpce je proces typický pro úpravu povrchových vod. Adsorpce je nutná u vod velmi znečištěných.

Princip adsorpce spočívá v zachycení částice (adsorbátů) na povrchu pevných sorpčních látek (adsorbentů) působením hmotnostních van der Walsových a elektrostatických Coulombových sil. Z vody lze absorpcí odstranit například organické látky, pach, zbarvení. Používá se tedy pro odstranění pesticidů, huminových látek, trihalometanů a dalších.

Ve vodárenství se většinou používají sorpční materiály: zrněné aktivní uhlí, práškové aktivní uhlí, sorpční hmoty (na bázi měničů iontů, křemičitanů nebo hlinito-křemičitanů).

Při sezónní zhoršené jakosti vody se používá práškové aktivní uhlí, které se dává přímo do vody, nebo v emulzi. Adsorpce na práškovém uhlí se zařazuje před filtr.

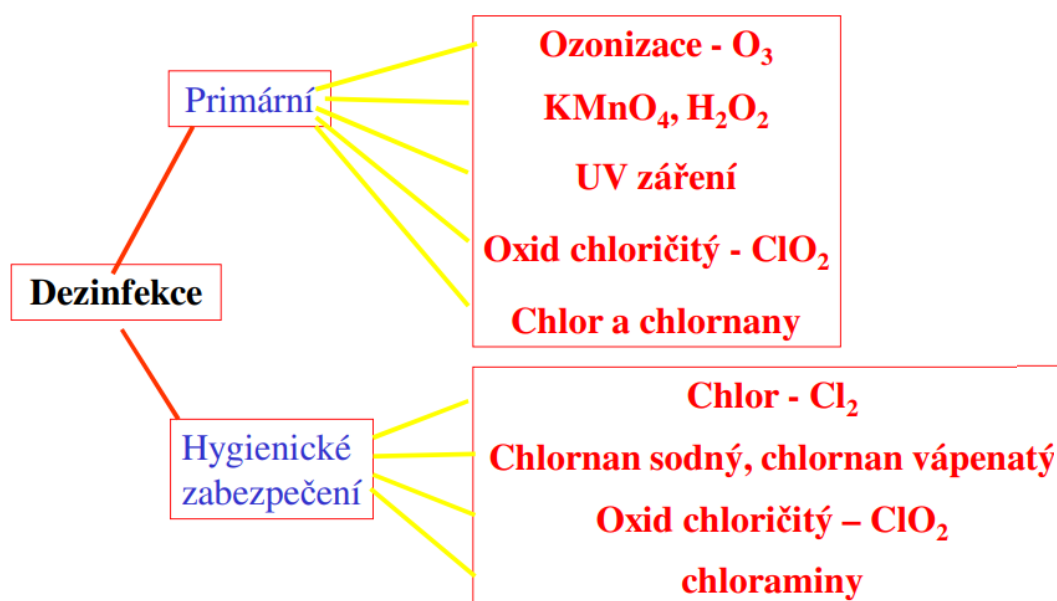
Při trvalé zhoršené kvalitě jakosti vody, kdy nelze dosáhnout požadované jakosti vody pouhým čířením, se používá jako náplň filtru zrněné aktivní uhlí. Adsorpci na zrněném aktivním uhlí se obvykle zařazuje za číření a pískovou filtraci.

2.3.3.3.5 Dezinfekce (a preoxidace)

Dezinfekce je proces odstranění patogenních zárodků (virů, bakterií a mikroorganismů) z vody. Jedná se o proces, který se používá u povrchových i podzemních vod. [7]

Dezinfekci v úpravnách vody dělíme podle účelu a umístění v procesu úpravy na primární a sekundární (hygienické zabezpečení). Schéma druhů dezinfekce s používanými způsoby dezinfekce (dezinfekčními činidly) je v následující tabulce. [7] [5]

Tabulka 7: Schéma rozdělení způsobů dezinfekce [7]



Naprostá absence primární i sekundární dezinfekce je možná pouze v případě, že se jedná o dobře chráněný podzemní zdroj, u kterého již surová voda splňuje mikrobiologické požadavky pro pitnou vodu. Zároveň je nezbytné, aby v takovém případě byla vodovodní síť v dobrém technickém stavu a aby v ní byla minimální pravděpodobnost následného růstu bakterií v potrubí a objektech.

Pokud se jedná o vodní zdroj, kde je pravděpodobné, že surová voda, byť jen krátkodobě, nesplní mikrobiologické požadavky pro pitnou vodu, je zapotřebí aplikovat alespoň primární dezinfekci. Pouze pokud je v takovém případě navazující vodovodní síť v dobrém technickém stavu a riziko růstu bakterií je minimální, je možné sekundární zabezpečení vynechat. [13]

Primární dezinfekce

Primární dezinfekce je součástí vlastního procesu úpravy vody na vodu pitnou, slouží k odstranění patogenních zárodků z upravované vody před její další úpravou. Primární dezinfekci lze provádět fyzikálně (zejména UV zářením) nebo chemicky (všemi způsoby uvedenými v tabulce výše kromě UV záření). [7] [5]

Fyzikální způsoby dezinfekce, UV záření, lze použít pouze pro primární dezinfekci, kvůli riziku sekundární kontaminace vody v distribuční síti. [7] [5]

Chemické způsoby dezinfekce jsou založeny na přidání silného oxidačního činidla do upravované vody. Při použití chemického způsobu dezinfekce dochází vždy současně s dezinfekcí i k preoxidaci.

Preoxidace je proces oxidace anorganických a organických látek ve vodě před její další úpravou, jedná se o proces typický pro úpravu povrchové vody.

Lze ji provádět chemicky, přidáním silného oxidačního činidla k surové vodě, v takovém případě probíhá vždy současně i dezinfekce vody.

Lze ji provádět také fyzikálně-chemickou cestou, a to vzdušným kyslíkem (aerací neboli provzdušňováním), které nemá žádný dezinfekční účinek. Preoxidace aerací je nutná v případě, že voda obsahuje velmi nízký obsah rozpuštěného kyslíku, nebo přebytek plynů (například H_2S , O_2 , CO_2), také slouží k oxidaci kationtů Fe^{2+} . [7] [5]

Hygienické zabezpečení

Hygienické zabezpečení neboli sekundární dezinfekce je proces odstranění patogenních zárodků z vody, který slouží k zajištění zdravotní nezávadnosti vody v celé distribuční síti z hlediska mikrobiologických parametrů.

V případě potřeby je možné provádět hygienické zabezpečení nejen v úpravnách vody, ale i následně ve vodojemech. V případě, že upravovaná voda vyžaduje sekundární dezinfekci by v ČR měl být u spotřebitele pozitivní nález volného chloru, doporučuje se hodnota z intervalu 0,05 mg/l až 0,3 mg/l. [7] [5]

Kvůli riziku sekundární kontaminace vody v síti (možnosti zanesení mikrobiálního znečištění do vodovodu až za úpravnou vodu) se k hygienickému zabezpečení používají výhradně činidla stálá v síti. Stálost činidel je uvedena v následující tabulce. [7] [5]

Tabulka 9: Stálost čínidla v síti [7]

čínidlo	ClO ₂	O ₃	O ₃ /H ₂ O ₂	Cl ₂	NaClO	KMnO ₄	NH ₂ Cl
stálost v síti	ano	ne	ne	ano	ano	ne	ano

Účinnost konkrétní dezinfekce a oxidace závisí zejména na charakteru a koncentraci organických a anorganických látek přítomných v upravované vodě, druhu a počtu patogenních zárodků (mikroorganismů, bakterií a virů) a na jejich odolnosti vůči dezinfekci, druhu a dávce čínidel, době působení čínidla, teplotě upravované vody a na tom, kde v rámci procesu úpravy je dezinfekce zařazena. [7] [5]

Dezinfekce vody, tedy jak již bylo řečeno, odstraňování patogenních zárodků, je nezbytnou součástí úpravy pitné vody, protože chrání společnost před epidemiemi vodou přenosných nemocí.

Při samotném procesu dezinfekce oxidačními čínidly zároveň ale dochází k reakcím těchto čínidel s ostatními ve vodě přítomnými anorganickými a organickými látkami, tím vznikají látky označované jako vedlejší produkty dezinfekce, které jsou taktéž nežádoucí a mohou mít velmi nepříznivý vliv na lidský organismus, proto je snaha tyto látky následně z vody odstranit nebo rovnou zamezit jejich vzniku.

Zamezit vzniku vedlejších produktu dezinfekce lze například odstraněním látek, se kterými používané čínidlo reaguje, prekursorů (přírodních organické látky např. humínových látky) z upravované vody ještě před dezinfekcí. Další možností, jak lze významně omezit vznik vedlejších produktu dezinfekce, je volba vhodného dezinfekčního čínidla pro vodu daného složení. [7] [5]

Tabulka 10: Vedlejší produkty dezinfekce [7]

Vedlejší produkty dezinfekce			
Chlorem	Chloraminy	Oxidem chloričitým	Ozonem
Trihalomethany	Halogenderiváty kyseliny octové	Chloritany	Bromičnany
Halogenderiváty kyseliny octové	Dusitany a dusičnany	Chlorečnany	Aldehydy
Haloacetonitrily	Chlorokyan a bromokyan	Chlorované chinony	Ketokyseliny
Halopikrin	1,1-Dichlorpropanon		Bromoform
Chlorokyan a bromokyan	Trihalomethany		Organické peroxidy
Chloralhydrát			Epoxidy
MX, EMX			Zvýšení konc. BDOC

Následující tabulka je přehledem základních výhod a nevýhod jednotlivých oxidačních čínidel a jejich vhodnosti nebo nevhodnosti pro primární a sekundární dezinfekci, kdy A vyjadřuje ano – vhodné a N vyjadřuje ne-nehodné. [7] [5]

Tabulka 11: Výhody a nevýhody použití jednotlivých dezinfekčních činidel [5]

Činidla	Primární dezinfekce	Sekundární dezinfekce	Výhody	Nevýhody
ozon O ₃	A	N	nejsilnější oxidační a dezinfekční činidlo, působí na bakterie i viry, velmi účinné pro primární dezinfekci	výroba na místě v ozonizátoru, musí se z vody odstranit, nedá se použít pro hygienické zabezpečení
chlor Cl ₂	A	A	poměrně nízká cena, menší provozní náklady, dostupnost a relativní stálost ve vodných roztocích, jednoduchost dávkovacích zařízení	tvorba vedlejších produktů dezinfekce, příp. chlorfenolů, závislost účinnosti na pH
Chlornan sodný, chlornan vápenatý	A	A	poměrně nízká cena, menší provozní náklady, dostupnost a relativní stálost ve vodných roztocích, jednoduchost dávkovacích zařízení	tvorba vedlejších produktů dezinfekce, příp. chlorfenolů, závislost účinnosti na pH
chloramin NH ₂ Cl	A	A	jsou stálejší a při reakci s prekursory produkují nesrovnatelně nižší koncentrace haloformů	slabší dezinfekční činidlo, menší dezinfekční účinnost, nedoporučují se pro primární dezinfekci
oxid chloričitý ClO ₂	A	A	nezávislost účinnosti na pH, menší tvorba THM	Větší provozní náklady, komplikovaný provoz, nelze jej stlačit a skladovat, vznik nežádoucích sloučenin
UV záření	A	N	k vodě se nepřidávají chemické látky, nevznikají hygienicky závadné sloučeniny	nedá se použít pro hygienické zabezpečení, možnost sekundární kontaminace

2.3.3.3.6 Stabilizace (alkalizace)

Stabilizace neboli alkalizace je proces typický pro úpravu vody povrchové. Povrchová voda bývá často velmi měkká a má takový deficit CO_2 , že ji pouhým přidáváním vápna nelze uvést do vápenato-uhličitanové rovnováhy. Stabilizace se tedy používá v případě, že se surová voda určená k zásobování obyvatelstva pitnou vodou, vyznačuje nízkým obsahem vápníku, hořčíku a také nízkou $\text{KNK}_{4,5}$.

Princip stabilizace je zvyšování hodnoty pH, tvrdosti a solnosti vody, jedná se o obohacování upravované vody o CO_2 , ionty Ca^{2+} a HCO_3^- . Vodu lze stabilizovat zejména:

- Oxidem uhličitým a vápnem.

(Obvykle se nejprve voda sytí oxidem uhličitým v kontaktních věžích a následně se do nasycené vody přidává vápenné mléko.)

- Oxidem uhličitým a filtrací vody bazickými materiály
- Hydrogenuhličitanem sodným a solemi vápníku. [5]

2.3.3.3.7 Odkyselování

Proces používaný při úpravě podzemních vody, kterým se z vody odstraňuje agresivní CO_2 (způsobuje korozi betonových a kovových konstrukcí). Odkyselování je často spojováno s odželezováním a odmanganováním.

Cílem odkyselování je zvýšit pH upravované vody (odstraněním nebo vázáním CO_2) a dosáhnout vápenato-uhličitanové rovnováhy. Odkyselování je často spojováno s odželezováním a odmanganováním. Způsob odkyselování se volí podle hodnoty $\text{KNK}_{4,5}$. (Kyselinové neutralizační kapacity, tedy látkového množství silné jednosytné kyseliny v mmol, které se spotřebuje na 1 l vody k dosažení hodnoty pH 4,5.)

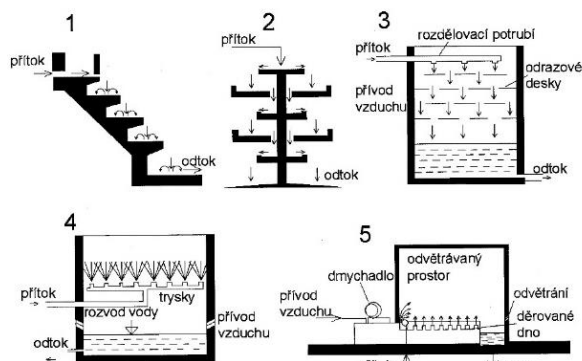
[14] [7] [15]

Mechanické způsoby odkyselování

Na odkyselení vody s $\text{KNK}_{4,5} > 2 \text{ mol.m}^3$ stačí mechanické způsoby, kdy se CO_2 odstraňuje provzdušňováním (aerací).

Do značné míry platí, že čím větší je styčná plocha vody a vzduchu, tím rychleji odkyselování probíhá. Kvůli bezpečnosti obsluhy a zvyšování tlaku musí být prostory s mechanickým odkyselováním dobře odvětrávané. Mechanické způsoby odkyselování jsou např. kaskádové rozstříkování (kaskád, fontán), sprchové rozstříkování, tiskové rozstříkování, intenzivní aerace pomocí perforovaných provzdušňovacích roštů (systém

Inka), odkyselování ve věžích. Mechanické způsoby odkyselování jsou uvedené v následující tabulce. Na obrázku vedle jsou pak vidět schématické obrázky některých z těchto postupů. [7] [15]



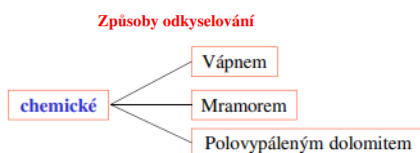
Obr. 32: Mechanické způsoby odkyselování [5]

Chemické způsoby odkyselování

Na odkyselení vody s $KNK_{4,5} < 2 \text{ mol.m}^3$ je potřeba použít chemické způsoby, za které je možné zařadit ještě mechanické odkyselení. [7] [15]

Způsoby chemického odkyselování jsou uvedené v následující tabulce.

Tabulka 13: Chemické způsoby odkyselování [15]



Odkyselování vápnem patří k nejdéle používaným způsobům odkyselování vody. Jedná se o neúčinnější a zároveň nejlevnější způsob odkyselování pro velké úpravní vody. Je vhodné pro každé složení vody, je ale náročné na přesné dávkování vápna, tak aby nedocházelo k inkrustaci potrubí kvůli vylučování uhličitánu vápenatého. Vápno se do vody přidává ve formě vápenatého mléka nebo vápenaté vody. Dávkovat lze přímo do sacího potrubí nebo do mechanicky míchané reakční nádrže. [5]

Odkyselování mramorem patří také mezi nejstarší způsoby chemického odkyselování. Jedná se o filtraci vody mramorovou drť o velikosti zrn 1-3 mm. Tento způsob je vhodný pro vody s nízkým obsahem Ca^{2+} a Mg^{2+} , bez železa, manganu a organických látek. Vyžaduje dobu kontaktu mramoru s vodou optimálně mezi 20-30 minutami, proto je vhodný především pro malé úpravní vod. [5]

2.3.3.3.8 Odželezování a odmanganování

Odželezování a odmanganování jsou procesy používané při úpravě podzemní vody. Jejich principem je převedení rozpustných iontových forem Fe a Mn na méně rozpustné sloučeniny, které se následně odstraní (sedimentací, filtrací nebo flotací).

Zvýšený obsah železa i manganu zhoršují organoleptické vlastnosti vody (chuť, barvu, zákal, pach) a vyvolávají technické závady při transportu vody.

V praxi se často používají metody odželezování provzdušněním, odželezování odmanganování oxidačními činidly (ozonem případně chlorem), nebo alkalizací (přidáváním vápna) a kontaktní odželezování a na písku perforovaném vyššími oxidy manganu. Přehled možných způsobů odželezování a odmanganování je uveden v následujících tabulkách. [15] [5]

Tabulka 15: Způsoby odželezování [15]



Tabulka 14: Způsoby odmanganování [15]



2.3.3.3.9 Flotace

Flotace je méně typická ale důležitá technologie používaná pro úpravu zejména povrchové vody. Je to fyzikální děj, při kterém dochází k vynášení pevných v kapalině suspendovaných částic mikrobublinkami plynu k hladině, kde se tvoří stabilní kompaktní vrstva zahuštěných suspendovaných částic, která se následně odebírá.

Flotace rozpuštěným vzduchem (DAF) je založená na dávkování železitého koagulantu (dochází k vytváření vloček a nabalování nečistot na ně), následně jsou ve flotační jednotce vytvořené vločky vynášeny na hladinu, kde jsou shrabovány. Flotaci je možné používat jako první separační stupeň buď samotné nebo v kombinaci s čířiči. Tato technologie se využívá jako havarijní opatření na úpravárnách, nebo jako technologie s vyšší účinností pro odstraňování mikroorganismů, a organických látek s nízkou specifickou hustotou případně dalších spravovatelných částí znečištěné vody, v případech kdy číření a gravitační separace (sedimentace) nejsou dostačující. Flotace je vhodná pro úpravu vod silně autorizovaných, zbarvených, zakalených, s vysokým obsahem železa a manganu a vod o nízké teplotě. [5].

2.3.3.4 Požadavky na pitnou vodu

Požadavky na pitnou vodu jsou dány Vyhláškou č. 252/2004 Sb., která stanovuje hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. [16]

Pitná voda nesmí být prostředím, ve kterém se vyskytují patogenní mikroorganismy a toxické látky. Musí mít vhodné složení a musí obsahovat některé stopové prvky. Dále musí mít vyhovující organoleptické vlastnosti a vyhovovat technickým požadavkům, aby nedocházelo k významnému poškození potrubí samotnou přepravovanou vodou. [16] [14] [17]

Například zvýšené koncentrace železa nebo manganu způsobují u ocelového a litinového potrubí inkrustaci, zarůstání potrubí pevnými látkami, a výrazně tak snižují průtočný profil potrubí, jak je vidět na následující obrázcích. [5] [17] [14]



Obrázek 34: Inkrustované potrubí [17]



Obrázek 33: Inkrustované potrubí [14]



Obrázek 35: Inkrustované potrubí [14]

V tabulkách na následující straně jsou uvedené fyzikální, chemické, organoleptické, mikrobiologické a biologické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity. Typy limitů jsou:

- NMH – Nejvyšší mezní hodnota je hodnota zdravotně závažného ukazatele jakosti pitné vody. V případě, že je tato hodnota překročena je vyloučeno použití vody jako pitné, není-li orgánem ochrany veřejného zdraví stanoveno jinak.

- MH – Mezní hodnota je hodnota ukazatele jakosti pitné vody. Překročení této hodnoty obvykle nepředstavuje aktuální zdravotní riziko. Není-li ukazatele uvedeno jinak jedná se o horní hranici přípustných hodnot ukazatele.

- DH – Doporučená hodnota je nezávazná hodnota ukazatele jakosti pitné vody. Udává minimální žádoucí, nebo přijatelnou koncentraci dané látky, či optimální rozmezí koncentrace dané látky. [16]

Tabulka 17: Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity

ukazatel	zkratka	jednotka	limit	typ limitu	ukazatel	zkratka	jednotka	limit	typ limitu
1,2-dichlorethan		µg/l	3,0	NMH	konduktivita	k	mS/m	125	MH
akrylamid		µg/l	0,1	NMH	kyanidy celkové	CN ⁻	mg/l	0,050	NMH
amonné ionty	NH ₄ ⁺	mg/l	0,50	MH	mangan	Mn	mg/l	0,050	MH
antimon	Sb	µg/l	10,0	NMH	měď	Cu	µg/l	1000	NMH
arsen	As	µg/l	10	NMH	microcystin-LR		µg/l	1	NMH
barva		mg/l Pt	20	MH	nikl	Ni	µg/l	20	NMH
benzen		µg/l	1,0	NMH	olovo	Pb	µg/l	5	NMH
benzo[a]pyren	BaP	µg/l	0,01	NMH	ozon	O ₃	µg/l	50	NMH
beryllium	Be	µg/l	2,0	NMH	pach			příjatelny pro odběratele	MH
bor	B	mg/l	1,5	NMH	pesticidní látky	PL	µg/l	0,10	NMH
bromičnany	BrO ₃ ⁻	µg/l	10	NMH	pesticidní látky celkem	PLC	µg/l	0,50	NMH
celkový organický uhlík	TOC	mg/l	5,0	MH	pH	pH		6,5-9,5	MH
draslík	K	mg/l	1-10	DH	polycyklické aromatické uhlovodíky	PAU	µg/l	0,10	NMH
dusičnany	NO ₃ ⁻	mg/l	50	NMH	rtuť	Hg	µg/l	1,0	NMH
dusitany	NO ₂ ⁻	mg/l	0,50	NMH	selen	Se	µg/l	20	NMH
epichlorhydrin		µg/l	0,10	NMH	sírany	SO ₄ ²⁻	mg/l	250	MH
fluoridy	F ⁻	mg/l	1,5	NMH	sodík	Na	mg/l	200	MH
hliník	Al	mg/l	0,20	MH	stříbro	Ag	µg/l	25	NMH
hořčík	Mg	mg/l	10	MH	teplota		°C	8-12	DH
			20-30	DH	tetrachlorethen	PCE	µg/l	10	NMH
chemická spotřeba kyslíku (manganistanem)	CHSK - Mn	mg/l	3,0	MH	trihalomethany	THM	µg/l	50	NMH
chlor volný	Cl ₂	mg/l	0,3	MH	trichlorethen	TCE	µg/l	10	NMH
chlorečnany	ClO ₃ ⁻	µg/l	250	NMH	trichlormethan (chloroform)		µg/l	30	NMH
chlorethen (vinylchlorid)		µg/l	0,50	NMH	uran	U	µg/l	15	NMH
chloridy	Cl ⁻	mg/l	250	MH	vápník	Ca	mg/l	30	MH
chloritany	ClO ₂ ⁻	µg/l	250	NMH				40-80	DH
chrom	Cr	µg/l	25	NMH	vápník a hořčík	Ca + Mg	mmol/l	2-3,5	DH
chuť			příjatelny pro odběratele	MH	zákal		ZF (n)	5	MH
kadmium	Cd	µg/l	5,0	NMH					

Tabulka 16: Mikrobiologické a biologické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity [16]

ukazatel	jednotka	limit	typ limitu	ukazatel	jednotka	limit	typ limitu
Clostridium perfringens	KTJ/100 ml	0	MH	mikroskopický obraz - živé organismy	jedinci/ml	0	MH
intestinální enterokoky	KTJ/100 ml	0	NMH	počty kolonií při 22 °C	KTJ/ml	Bez abnormálních změn	MH
	KTJ/250 ml	0	NMH		KTJ/ml	200	DH
Escherichia coli	KTJ (MPN)/100 ml	0	NMH		KTJ/ml	100	MH
	KTJ (MPN)/250 ml	0	NMH	KTJ/ml	Bez abnormálních změn	MH	
koliformní bakterie	KTJ (MPN)/100 ml	0	MH	počty kolonií při 36 °C	KTJ/ml	40	DH
	KTJ (MPN)/250 ml	0	MH		KTJ/ml	20	MH
mikroskopický obraz - abioseston	%	5	MH	Pseudomonas aeruginosa	KTJ/250 ml	0	NMH
mikroskopický obraz - počet organismů	jedinci/ml	50	MH				

2.3.4 Vodojemy

Vodojem je objekt určený pro krátkodobou akumulaci vody, může být samostatným objektem nebo součástí technologie úpravy vody. Základními částmi vodojemu jsou akumulční nádrže a manipulační komory. [2] [18]

2.3.4.1 Funkce vodojemů

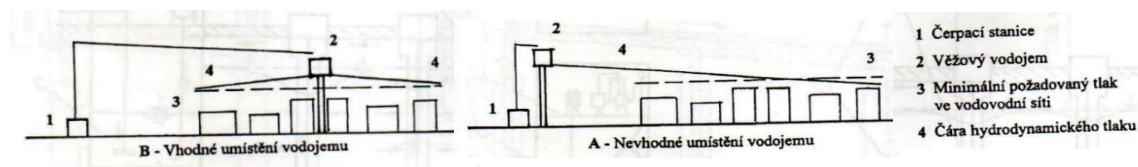
Funkce vodojemu jsou akumulční, kontaktní, tlaková, přerušovací (snížení tlaku). Vodojem běžně plní několik funkcí souběžně. [4] [1]

-Akumulační (zásobní) - Vyrovňuje nerovnoměrnosti mezi rovnoměrným přítokem vody a nerovnoměrným odtokem vody z vodojemu do zásobovacího řadu, tak aby byl schopen pokrýt běžnou i požární potřebu spotřebiště a zásobovat spotřebiště po určitou dobu i při poruše přiváděcího řadu. Více viz výpočet objemu vodojemu. [4]

-Tlaková – Výšková poloha hladina vody ve vodojemu určuje minimální a maximální tlak ve vodovodní síti při gravitačním zásobování. Čím blíže spotřebišti se vodojem nachází tím lépe, snižují se tím tlakové ztráty na trase vodovodu, nejlepší je tedy umístění vodojemu do těžiště spotřebiště. Výškově je vhodné, aby rozdíl nadmořských výšek terénu spotřebiště jednoho vodojemu nebyl větší než 25 m (případně 35 m).

Stanovení výškového rozdílu: $h = H_{\max} - H_{\min} - \Delta h - \Delta p$ (1)

- kde:
- H_{\max} je maximální tlak ve vodovodní síti, tedy 0,6 MPa (60 m v. sl.),
případně ve výjimečných případech 0,7 MPa (70 m v.sl.)
 - H_{\min} je minimální tlak ve vodovodní síti 0,15 MPa (15 m v. sl.)
 - Δh je kolísání hladiny ve vodojemu (cca 5 m)
 - Δp je odhad tlakových ztrát na trase 0.05 MPa (5 m.v.sl [4])



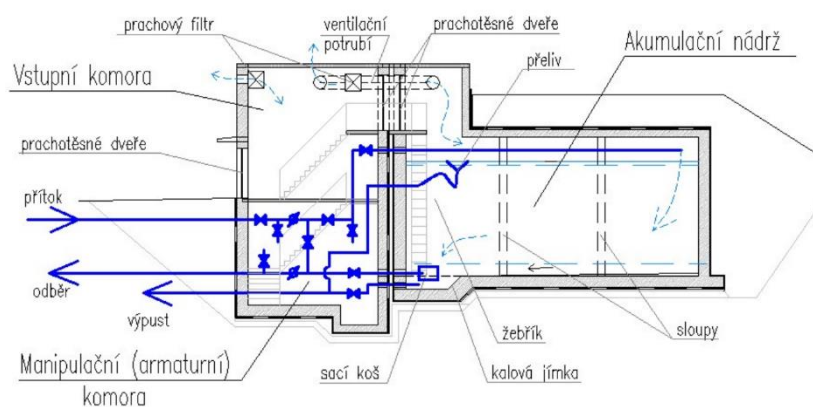
Obrázek 36: Vhodné a nevhodné umístění věžového vodojemu [4]

-Kontaktní – Méně častá funkce vodojemu je funkce kontaktní, vychází z toho, že vodojem je poslední místo, kde je možné provádět hygienické zabezpečení vody, je-li to potřeba. Hygienické zabezpečení se ve vodojemech provádí např. chlornanem

sodným, pomocí takových zařízení, u nichž dávkování nevyžaduje trvalou obsluhu ani neustálý přísun elektrické energie. Roztok dávkované chemikálie se přivádí do přítoku vody do nádrže, aby byla zajištěná dostatečná doba kontaktu vody s chemikálií. [2]

2.3.4.2 Části vodojemu a základní technické požadavky

Doporučuje se navrhovat vodojemy na životnost 100 let. Každý vodojem musí být chráněn izolací proti teplotě okolí a slunečnímu záření, tak aby akumulovaná voda měla žádoucí teplotu okolo 8°C. [18]



Obrázek 37: Základní části vodojemu [19]

2.3.4.2.1 Manipulační komora

Každý vodojem má alespoň jednu manipulační komoru. Manipulační komora je část vodojemu, kde je umístěna měřicí a regulační technika. Je bez oken, světlo je zajištěno pouze umělým osvětlením, norma uvádí, že pokud se v manipulační komoře okno nachází, je potřeba jej zazdítk nebo zneprůhlednit. Z manipulační komory se vchází do akumulace, zamykatelnými dveřmi opatřenými těsněním proti prachu, které jsou umístěné nad úrovní maximální hladiny vody v nádrži. [18]

2.3.4.2.2 Akumulační nádrž

Akumulační nádrž je stěžejní část vodojemu, která slouží k akumulaci vody. Jedná se výhradně o uzavřený prostor bez oken a musí být vybavená větracím zařízením s filtrací nad úrovní nejvyšší hladiny. [18]

Schody nebo žebřík musí být provedeny z korozi-vzdorných materiálů. Dno a stěny nádrže musí být vodotěsné s hladkým neporézním a kompaktním povrchem,

odolným proti otěru, aby bylo možné provádět údržbu. Dno nádrže musí být vyspádováno nejméně ve sklonu 1 %. [18]

Interval čištění vodojemu se stanovuje na základě historických výsledků a zkušeností, v rámci rozvoje analýzy vodovodu. V případě absence dat se čištění stanoví na 1 rok. [18] [2]

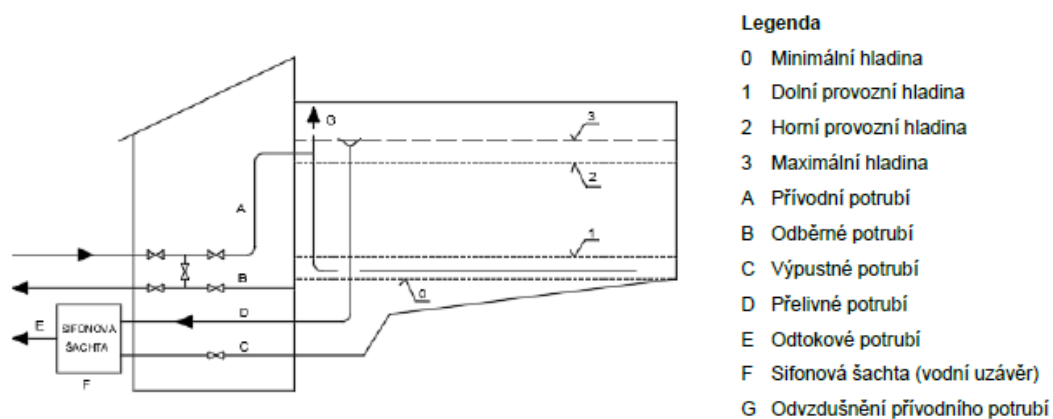
2.3.4.2.3 Hladiny vodojemu

-Maximální hladina – Hladina vody v nádrži vodojemu při dosažení plné kapacity přelivu. V případě, že má jedno tlakové (výškové) pásmo vodovodu více vodojemů, jsou jejich maximální provozní hladiny ve stejné nadmořské výšce. [18]

-Minimální hladina – Hladina vody v nádrži vodojemu, omezující dolní úroveň využitelného objemu v nádrži, nachází se v nejvyšší části konstrukce dna. [18]

-Horní provozní hladina – Hladina vody v nádrži vodojemu omezující horní úroveň využitelného objemu vody v nádrži (obvykle mívá horní provozní hladina 50 mm až 200 mm pod hranou přelivu). [18]

-Dolní provozní hladina – Hladina vody v nádrži vodojemu stanovuje dolní úroveň provozní zásoby vody. [18]



Obrázek 38: Schéma zemního vodojemu s vrchním plněním [18]

2.3.4.2.4 Potrubí vodojemu

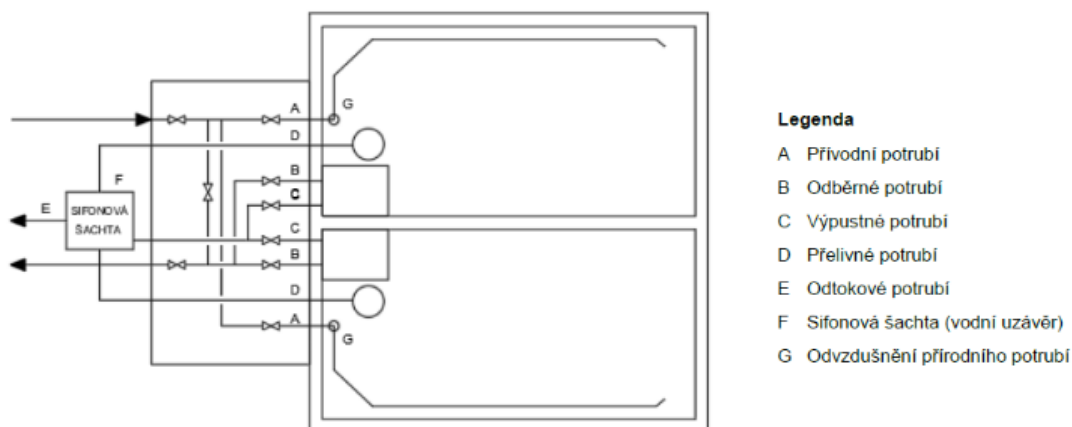
- Odběrné potrubí – Odběrné potrubí musí umožnit odběr celého objemu vody nad stanovenou minimální hladinou. Současně musí být niveleta odběrného potrubí nad úrovní odběrné jímky tak, aby potrubím nedocházelo k odchodu nečistot. [18]

- Výpustné potrubí – Výpustné potrubí musí mít každá nádrž musí být samostatné pod úrovní odběrné jímky, nebo v nejsnazším bodě jímky tak, aby bylo možné při čišění nádrží vypustit. [18]

- Přelivné potrubí – Přelivné (odpadní) potrubí, každá nádrž musí mít samostatný bezpečnostní přeliv, který nesmí být vybaven uzavírací armaturou. Doporučuje se, aby maximální hladina byla nejvýše 150 mm nad úrovní přelivu a nad ní ještě 150 mm od stropu. Voda je odváděna do vodoteče případně kanalizace. Mělo by mít takovou kapacitu, aby bylo možné odvádět největší možný přítok do nádrže. [18]

- Přívodní potrubí – Přívodní potrubí se dělá přednostně vrchní. Zajišťuje hydraulický pohyb v nádrži a přispívá k lepšímu promíchávání. Vrchní plnění je nad horní provozní hladinou. Přeliv musí být řešen tak, aby maximální výška hladiny vody v akumulární nádrži nedosahovala spodní úrovně stropní konstrukce. [18]

- Obtokové potrubí – Obtokové potrubí pro možnost odstavení vodojemu z provozu. [18]



Obrázek 39: Schéma potrubí v nádržích zemního vodojemu [18]

2.3.4.2.5 Pozemek vodojemu

Pozemek vodojemu má být upravený, čistý a chráněn oplocením, na kterém by měl být umístěný ostnatý případně žiletkový drát. Oplocení by mělo být označeno tabulkami „Vodárenský objekt – Vstup zakázán.“ Pozemek by měl být upravený tak, aby byl zabezpečen rychlý odvod dešťové vody z pozemku. U zemních vodojemů se plot instaluje obvykle nejméně 3-5 m od paty svahu násypu kvůli údržbě. [2] [18]

2.3.4.3 Typy vodojemů podle funkce

- Hlavní vodojem

Hlavní vodojem zajišťuje zásobu vody pro plynulý přítok vody do dalších vodojemů. [1]

- Zásobní vodojem

Zásobní vodojem zásobuje vodou jedno určité tlakové zásobní pásmo, vyrovnává nerovnoměrnosti mezi přítokem a odběrem vody. [1]

- Provozní vodojem

Provozní vodojem slouží k akumulaci vody pro provoz úpravní vody nebo jiného vodárenského objektu. [1]

- Přerušovací vodojem

Přerušovací vodojem je vodojem, ve kterém se výtokem nad úroveň hladiny akumulčního prostoru snižuje nadměrný přetlak v přívodním řadu na hodnotu přetlaku potřebnou ve spotřebišti odpovídající výšce hladiny vody ve vodojemu. [1] [6]

- Požární vodojem

Požární vodojem je určený jen pro akumulaci požární vody. [1]

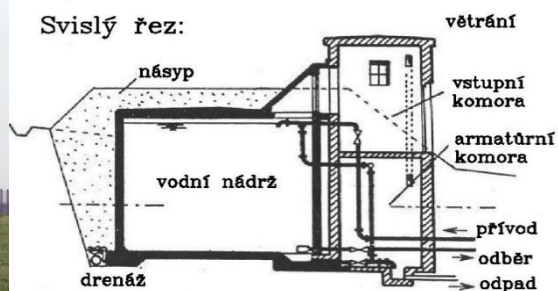
2.3.4.4 Základní typy vodojemů podle konstrukce

2.3.4.4.1 Zemní

Zemní vodojem je normou doporučený a zároveň nejčastější typ vodojemu. Součástí zemního vodojemu je nejméně jedna manipulační komora, dále musí mít vždy nejméně 2 akumulční nádrže, které mají na sobě navzájem nezávislé plnění tak, aby bylo možné v případě údržby nebo poruchy jedné nádrže nadále vodou zásobovat spotřebišť. Zemní vodojem zejména prostor akumulční nádrže je možné umístit pod terén, případně částečně pod terén, a využít tak izolačních vlastností zeminy, nebo na terén. [2] [18] [19]



Obrázek 41: Zemní vodojem [50]



Obrázek 40: Řez zemním vodojeme [50]

2.3.4.4.2 Věžové

Věžové vodojemy se používají v rovinatém území tam, kde není možné použití vodojemů zemních. Obvykle se používají k zásobování malých spotřebišť. Většinou se u nich zanedbává požadavek dvou komor. [18] [20]

Věžové vodojemy se skládají z vodní nádrže, nosné konstrukce a základu. Nosná konstrukce bývá ocelová, železobetonová případně zděná. Tvar nádrže se volí tak, aby byla nosná konstrukce zatěžována, co nej rovnoměrněji. Nádrže se vyrábějí nejčastěji ocelové nebo železobetonové. U věžových vodojemů je nutné vhodným způsobem řešit tepelnou ochranu nádrže a zavodněných potrubí. V dřívku vodojemu se proti zamrznutí vody umísťuje teplená izolace ze skelných vláken a topný kabel mezi izolací a potrubím. [2]



Obrázek 43:
Vodojem
Velemyšleves



Obrázek 46:
Vodojem Louny
ul. Řiční



Obrázek 44:
Vodojem Louny
ul. Průmyslová



Obrázek 45:
Vodárenská věž
Louny

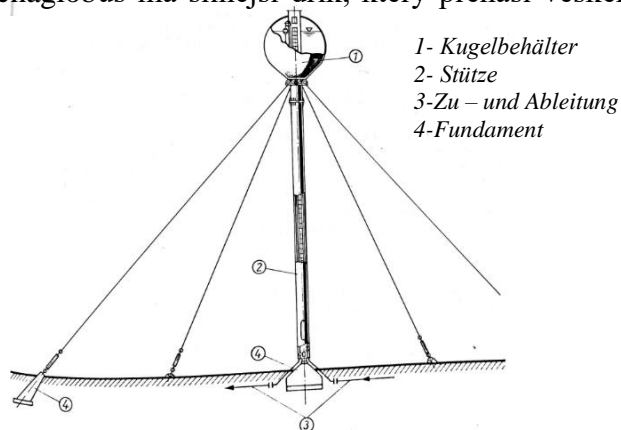


Obrázek 42:
Vodojem
Otvice

Velice rozšířeným typem věžových vodojemů jsou prefabrikované konstrukce z Maďarska. Jedná se o typ Hydroglobus a typ Acnaglobus. Jsou to celocelové konstrukce, kulaté vodní nádrže jsou podpírané kruhovým ocelovým dřívkem. Jejich výhodou byla značně rychlá výstavba (přibližně 4 týdny). Běžné objemy prefabrikátů jsou 50 m^3 nebo 200 m^3 , jejich výšky se pohybují od 18 do 31 m. Hydroglobus je kyvný prut zajištění ze stran lany, takto konstrukce je prostorově náročná a potřebuje časté rektifikace, proto se už nepoužívá. Acnaglobus má silnější dřív, který přenáší veškeré zatížení do základu a podloží. [2] [20]



Obrázek 48: Acnaglobus v Tuchoměřicích

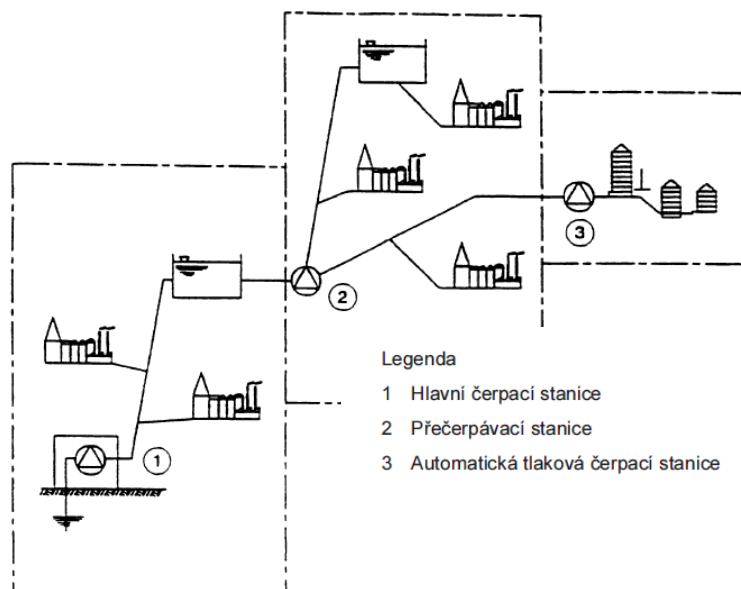


Obrázek 47: Hydroglobus s objemem 200 m^3 [20]

2.3.5 Vodárenské čerpací stanice

Objekt s čerpacím zařízením, který zajišťuje požadovaný tlak a průtok vody ve vodovodu. Jsou podstatou způsobu distribuce vody u výtlačných vodovodů. Schématicky jsou druhy čerpacích stanic znázorněny na obrázku níže. Rozdělujeme tři typy vodárenských čerpacích stanic:

- Hlavní čerpací stanice – přepravuje vodu do vodojemu, obvykle se nachází za úpravnou pitné vody, není-li potřeba vodu upravovat, je situována přímo za odběrným zařízením.
- Přečerpávací stanice – zajišťuje dopravu vody do zásobního vodojemu nebo do zásobovacího pásma.
- Automatická tlaková stanice – zajišťuje čerpání vody přímo do zásobovacího pásma bez akumulace. [1] [21]



Obrázek 49: Příklad různých typů čerpacích stanic [25]

2.3.5.1 Základní požadavky

Požadavky na vodárenské čerpací stanice stanovuje norma ČSN 75 5301 a norma ČSN EN 805. Z pravidla se čerpací stanice navrhují plně automatické.

Pokud mají čerpadla pracovat paralelně doporučuje se navrhnout stejné typy čerpadla. Doporučuje se zvolit taková čerpadla, aby každé čerpadlo samostatně bylo schopné pokrýt celý dopravní výkon, tzn mít 100% rezervu, jedno čerpadlo provozní a jedno čerpadlo rezervní. [22]

Na následující straně je uvedena tabulka různých doporučených minimálních vzdáleností týkající se čerpací stanice:

Tabulka 18: Minimální doporučené vzdálenosti [22]

Minimální doporučené vzdálenosti vnějšího porchu potrubí (netýká se přírub) od stavební konstrukce (stěn, stropů, podlah) a vzájemně mezi sebou jsou: a) u potrubí s přírubovými spoji - do DN 350 je 300 mm - nad DN 350 je 400 mm b) u potrubí se svarovanými spoji - do DN 200 je 300 mm - od DN 200 do DN 500 je 400 mm - nad DN 500 je 500 mm	U prostupů potrubí stěnou nebo stropem se doporučuje aby nejmenší vzdálenost spojů (přírubových nebo sařovaných) byla od stěny nebo stropu: - do DN 350 je 150 mm - nad DN 350 je 300 mm Ponorná čerpadla - vzdálenost mezi nimi navzájem nemá být menší než 200 mm - vzdálenost mezi stěnou mokré jímky a ponorným čerpadlem nemá být menší než 100 mm Nejmenší doporučená vzdálenost čerpacích jednotek na vzájem, od stěn a jiných zařízení je 600 mm
---	--

Doporučené rychlosti vody v sacím potrubí jsou:

- Jeli světlost potrubí do DN 300 pak $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Jeli světlost potrubí nad DN 300 pak $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Rychlost vody v sacím potrubí by neměla být menší než $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. [22]

Doporučené rychlosti ve výtlačném potrubí jsou:

- Jeli světlost potrubí do DN 250 pak $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $1,4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.
- Jeli světlost potrubí nad DN 250 pak $0,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ až $1,6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. [22]

2.3.5.2 Automatické tlakové stanice (ATS)

Automatická tlaková stanice (příklad na obrázku níže) se navrhuje tak, aby trvale dodávala vodu požadovaného tlaku a průtoku do spotřebiště. Používá se tam, kde není vhodný terén pro umístění vodojemu, nebo při zásobování ojedinělých objektů. Investiční náklady na zbudování automatické tlakové stanice jsou podstatně nižší než náklady na zbudování věžového vodojemu. Díky vysoké spotřebě energie mohou být ale provozní náklady ATS výrazně vyšší než náklady na provoz vodojemu. [4]

Rozdíl nejnižším (spínacím tlakem) a maximálním (vypínacím) tlakem by neměl být větší než 0,2 MPa, aby nedocházelo k velkému kolísání tlaků ve spotřebišti. Četnost zapínání čerpadel ATP by se měla pohybovat kolem 6–8 zapnutí za hodinu, maximální počet zapnutí za hodinu je 10, při častějším spínání je sice potřeba malý objem tlakové nádoby zvyšuje se ale spotřeba energie a zařízení se rychleji opotřebují. [4] [22]



Obrázek 50. Příklad automatické čerpací stanice [78]

2.3.6 Vodovodní řady (vodovodní potrubí)

2.3.6.1 Kategorie vodovodních řadů

Vodovodní řady jsou inženýrskými sítěmi a jako takové je lze dělit podle ČSN 73 6005 podle územní působnosti, funkčního a kapacitního významu na:

- a) Vedení dálkové (dálkovody)
 - 1. kategorie (vedení nadřazené) - příváděcí a část zásobovacího řadu.
- b) Vedení místní (vedení technické vybavenosti)
 - 2. kategorie – hlavní řady, rozvádějí vodu uvnitř zásobovacího pásma, vyznačují se tím, že na ně nejsou přímo napojené vodovodní přípojky.
 - 3. kategorie – vedlejší (uliční) rozvodné řady, spojují hlavní řady s vodovodními přípojkami.
 - 4. kategorie – vodovodní přípojky, dle legislativy nejsou vodovodními řady. Bez dalšího větvení zajišťují napojení objektu (odběratelů). [21] [23] [3]

2.3.6.1.1 Příváděcí řad

Příváděcí řady mají menší průměr potrubí než zásobovací řady, protože se navrhují na maximální denní potřebu vody. [4]

2.3.6.1.2 Zásobovací řad

Zásobovací řady je nutno dimenzovat na maximální hodinovou potřebu vody, proto mají zpravidla větší průměr než řady příváděcí. [4]

2.3.6.1.3 Rozvodná síť vodovodu (spotřebišť)

Rozvodná síť vodovodu je tvořena řady I-IV. kategorie, podle uspořádání se na větvené, okružové a kombinované. [3]

Větvená síť

Větvená síť má řady ve tvaru větveného stromu bez zokružování, používá se v malých spotřebišťích, kde by se zokružování finančně nevyplatilo. Jejimi výhodami jsou minimální investiční náklady, snadné navrhování, provádění a provozování stejně jako jednoznačné průtokové a tlakové poměry. Nevýhodami jsou stagnace vody v koncových úsecích a malá provozní spolehlivost, voda se ke každému odběrateli dostává pouze jednou cestou, je zde tedy velký dopad případné poruchy. [3]

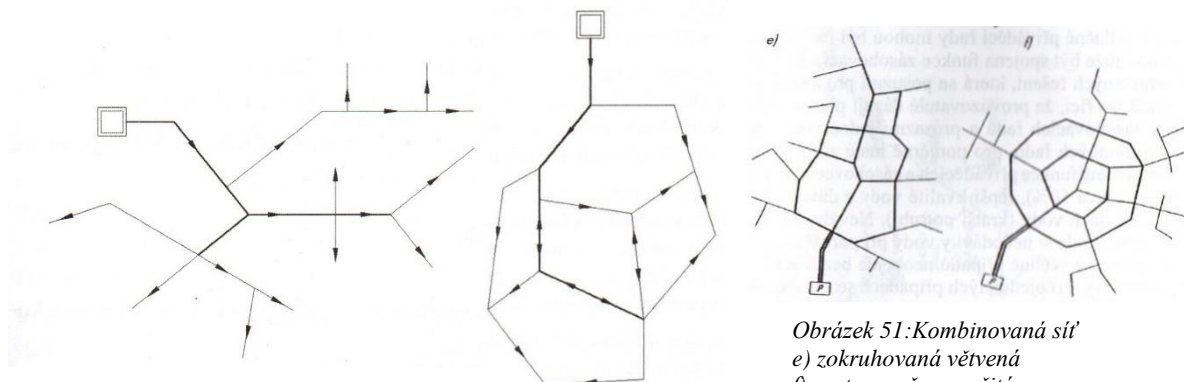
Okružová síť

Řady okružové sítě jsou uspořádány do uzavřených okruhů, které jsou vzájemně propojené v úsecích a uzlech.

Okružová síť se používá u větších spotřebišť s plošným charakterem. Výhodami jsou vyrovnanější tlaky sítě, cyklování vody a větší provozní spolehlivost, ke každému místu se voda dostává ze dvou stran a dopad poruchy je možné omezit pouze na konkrétní řady nebo úseky. Nevýhody jsou vyšší investiční náklady, a složitější navrhování. [3]

Kombinované

Jedná se o preferovaný systém distribuce. Jedná se o kombinaci předchozích dvou typů. Kdy jádro spotřebišť je zokružované a okrajové úseky s převažujícím liniovým typem zástavby jsou liniového typu. [3] [4]



Obrázek 52: Větvená síť [3]

Obrázek 53: Okružová síť [3]

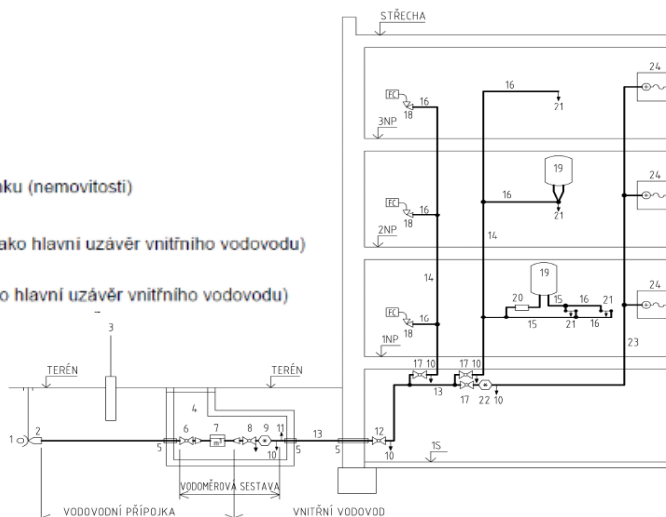
Obrázek 51: Kombinovaná síť
e) zokružovaná větvená
f) prstencově paprscovitá

2.3.6.1.4 Vodovodní přípojka

Vodovodní přípojka je samostatná stavba tvořená úsekem potrubí od odbočky z vodovodního řadu k začátku vnitřního vodovodu tedy k vodoměru, není-li osazen pak k hlavnímu vnitřnímu uzávěru vody. Vymezení vodovodní přípojky je vidět na následujícím obrázku. [24] [25]

Legenda

- 1 vodovodní řad
- 2 odbočení z vodovodního řadu
- 3 hranice veřejného a soukromého pozemku (nemovitosti)
- 4 vodoměrová šachta
- 6 uzávěr před vodoměrem (může sloužit jako hlavní uzávěr vnitřního vodovodu)
- 7 vodoměr u vodovodní přípojky
- 8 uzávěr za vodoměrem (může sloužit jako hlavní uzávěr vnitřního vodovodu)

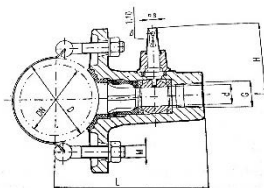


Obrázek 54: Rozdíl vodovodní přípojky a vnitřního vodovodu se zkrácenou legendou [76]

Odbočka z rozvodného řadu s uzávěrem je ještě součástí vodovodního řadu. Odbočka může být tvořena tvarovkou nebo navrtávacím pasem, viz následující obrázky. [24] [25]



Obrázek 56: T tvarovka odbočka [74]



Obrázek 55: Navrtávací pas [3]



Obrázek 57: Navrtávací pas příklad použití [77]

Vodovodní přípojka není podle zákona vodním dílem. Pořizuje ji na své náklady odběratel. Vlastníkem vodovodní přípojky zřízené před 1. lednem 2002 je majitel pozemku nebo stavby připojené na vodovod. Vlastníkem vodovodní přípojky zřízené po 1. lednu 2002 je osoba, která ji na své náklady pořídila. Vlastnické vztahy k vodovodům, jakož i k vodovodním přípojkám se nezapisují do katastru nemovitostí. [26]

Opravy a údržbu vodovodních přípojek uložených v pozemcích, které tvoří veřejné prostranství, zajišťuje provozovatel ze svých provozních nákladů. [26]

Vodovodní přípojka se navrhuje celá z jednoho materiálu, její trasa se vede tak, aby byla, pokud možno kolmo na připojovaný objekt bez zbytečných lomů na trase tak, aby byla co nejkratší. Minimální sklon vodovodní přípojky je 3 ‰. Pokud je to technicky možné měla by vodovodní přípojka trvale stoupat směrem k vnitřnímu vodovodu.

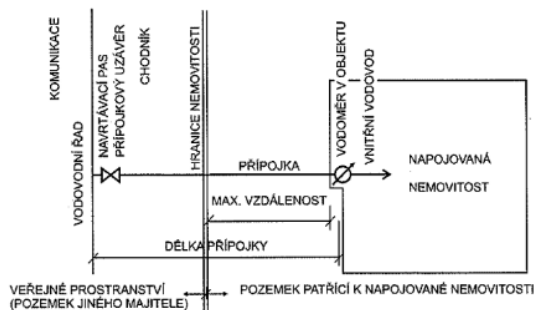
Vodovodní přípojka se ukládá do nezámrzné hloubky v případě, že to není možné, je potřeba řešit tepelnou izolaci. Doporučuje se u ní dodržovat ochranné pásmo 1,5 m od vnější stěny potrubí po obou stranách přípojky. Ochranné pásmo nesmí být zastavěno a musí být přístupné pro potřeby případné opravy. Vodovodní přípojky se dimenzují na základě počtu výtokových armatur a minimálního tlaku na nejméně příznivé výtokové armatuře (min- 100 kPa). Minimální používaný profil přípojky určují městské standardy, například v Plzni se jedná o DN 32. [27] [24] [28]

Způsob měření, typy vodoměrů a jich umístění vychází z požadavků provozovatele nebo majitele vodovodu. [24]

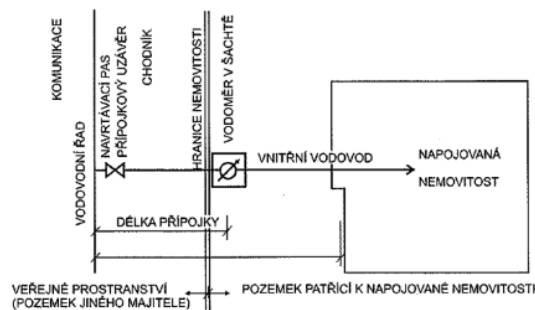
Například Vodovodní standardy města Plzeň uvádí požadavek instalace vodoměrné šachty (po dohodě je možné instalovat i jiné měření průtoku) v případě, že vzdálenost v trase přípojky mezi vnějším lícem budovy odběratele a rozváděcím řadem

je větší než 10 m. Vodoměrná šachta se zřizuje na pozemku odběratele hned za oplocením (hranicí pozemku). [27]

Na následujících obrázcích jsou uvedena schémata vodovodní přípojky s vodoměrem umístěným v budově a vodovodní přípojky s vodoměrnou šachtou.



Obrázek 58: Umístění vodoměru v napojovaném objektu [28]



Obrázek 59: Umístění vodoměru ve vodoměrné šachtě [28]

Vodoměrná sestava je tvořená uzávěrem před vodoměrem, vodoměrem, uzávěrem za vodoměrem, zpětnou uzavírací armaturou a vypouštěcí armaturou. Za a před vodoměr se zpravidla osazuje přímý úsek potrubí minimální délky 6 x DN potrubí. Před vodoměrem může být vyžadováno umístit mechanický filtr. [3]

Na následujícím obrázku jsou vidět z bočního pohledu tři základní úseky:

Odbočka z řadu (navrtávací pas), uzávěr přípojky (zemní uzávěr) a vodoměrná soustava.



Obrázek 60: Vodovodní přípojka [28]

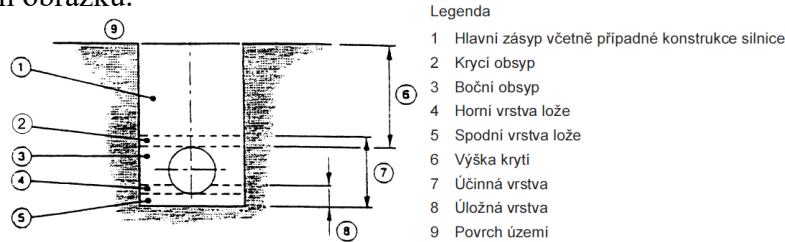
Vlastník vodní přípojky je povinen zajistit, aby byla vodovodní přípojka provedena a užívaná takovým způsobem, aby nemohlo dojít ke znečištění vody ve vodovodu. V případě, že je vodovod pro veřejnou potřebu není jediným zdrojem vody vnitřního vodovodu, musí být přívod vody z vodovodní přípojky ukončen volným výtokem. [24] [26]

2.3.6.2 Uložení potrubí

Běžně se potrubí ukládá do země (norma ČSN 73 3055) nebo do kolektorů (norma ČSN 73 7505). Ve výjimečných případech je možné uložit řádně tepelně izolované potrubí nad terén. [29]

2.3.6.2.1 Uložení potrubí do rýhy

Základní pojmy související s uložením potrubí do rýhy jsou vymezeny na následujícím obrázku.



Obrázek 61: příklad uložení potrubí ve výkopu [25]

Po montáži celého úseku se potrubí zpevňuje ztuhněným obsypem, prostor 30 cm přímo nad plastovým potrubím se nehtutí. U nekovových materiálů potrubí je vhodné umístit na potrubí signální kovový vodič tak, aby bylo možné zpětně určit přesnou polohu potrubí. Po provedení obsypu se nad vodovodní potrubí umístí bílá nebo modrá výstražná folie a zbytek pracovního prostoru je vyplněn vhodnou zeminou. Následující tabulky udávají minimální šířku výkopu v závislosti na hloubce výkopu, průměru potrubí a druhu výkopu (pažený, svahovaný).

Tabulka 19: Minimální šířka výkopu dle hloubky výkopu [30]

Hloubka rýhy (m)	Minimální šířka (m)
> 1,00	není předepsána
≥ 1,00 až ≤ 1,75	0,80
> 1,75 až ≤ 4,00	0,90
> 4,00	1,00

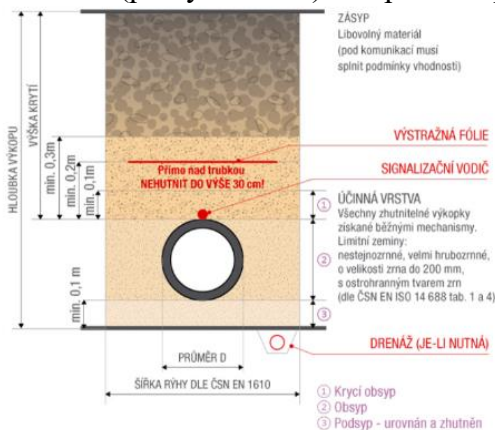
Tabulka 20: Minimální šířka výkopu dle průměru potrubí [30]

d (mm)	Minimální šířka výkopu D+x (m)		
	výkopy s pažením	výkop nepažený	
		$\beta \leq 60^\circ$	$\beta > 60^\circ$
≤ 225	D+0,40	D+0,40	D+0,40
225 < až ≤ 350	D+0,50	D+0,50	D+0,40
350 < až ≤ 700	D+0,70	D+0,70	D+0,40

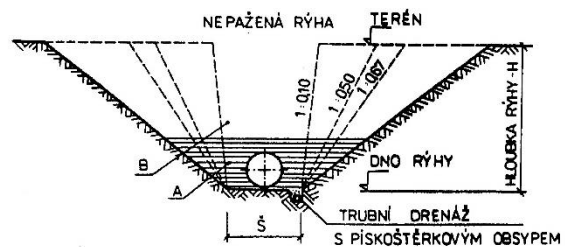
d - vnější průměr trubky v mm
D - vnější průměr trubky v m
b - úhel nebažené stěny výkopu

Nejmenší pracovní vzdálenost mezi stěnou trubky a stěnou výkopu

Potrubí se ukládá do rýh, které mohou být buď pažené (levý obrázek) nebo svahované (pravý obrázek) na upravené pískové lože. [27] [29] [27] [30]



Obrázek 63: Schéma uložení trubek z HDPE ve výkopu [30]



Obrázek 62: Nepažená rýha – typ uložení ocelového vodovodního potrubí [4]

A - Obsyp a násyp z pohozeného materiálu o velikosti zrn max. 50 mm, pečlivě ztuhněný po vrstvách 100-150 mm
B - Zásep z výkopového materiálu

2.3.6.2.2 Uložení potrubí do kolektoru nebo chráničky

Plzeňské městské standardy uvádí, že potrubí se ukládá do kolektoru a chrániček v případě, že je potřeba udělat přechod překážky jako násypu zemního tělesa, tělesa dráhy, komunikace nebo stavebního celku. S uložení potrubí do kolektoru nebo chráničky musí souhlasit provozovatel. [31]

Chráničky mohou být maximálně 30 m dlouhé. V následující tabulce jsou uvedené základní rozměry chrániček. [31]

Tabulka 21: Chránička – základní rozměry [31]

Maximální délka [m]	DN [mm]	Chránička DN v [mm]	
		ocelová	betonová
30	80	250	300
28	100	250	300
24	125	300	300
20	150	350	400
18	200	400	400
14	300	600	600
16	350	700	600
12	400	700	800
8	500	950	1000

Kolektory se budují v případě delší trasy než 30 m. Kolektory musí být průlezné nebo průchodné s možností odvodu vody prosáklé z okolí, nebo vody z poruchy potrubí. Minimální sklon kolektoru je 0,5 %. [31]

Tabulka 22: Kolektory – základní rozměry [31]

Přechod násypů, dráhy, komunikací apod.	Typ	Rozměr [cm] š x v	DN [mm] jednotlivě
Maximální délka [m]			
60	průlezný	110 x 160	80- 400
60	průchodný	145 x 210	
95	průlezný	115 x 180	150-600
95	průchodný	175 x 240	
neomezeno		155 x 240	více jak 600

2.3.6.3 Umístění vodovodního potrubí

K potrubí musí být vždy umožněn přístup. V intravilánu se upřednostňuje uložení potrubí do veřejného prostoru v souladu s normou prostorového uspořádání inženýrských sítí ČSN 73 6005. V extravilánu se podkládá potrubí podél cest či liniových staveb. [23]

Vodovodní potrubí nesmí procházet územím znečištěným zdravotně závadnými látkami, v případě že není jiná možnost musí být provedena patřičná opatření. Vodovodní potrubí také nesmí procházet zalesněným územím. V případě, že není jiná možnost porost nad potrubím nesmí být starší než 8 let. Vodovodní potrubí dále nesmí procházet poddolovaným územím a močály. V případě že není jiná možnost než vést potrubí místem se stálou hladinou podzemní vody, je třeba při stavbě výkop odvodnit tak, aby byl suchý a nepokládat potrubí ve velkých sklonech. [23]

2.3.6.3.1 Sklon vodovodního potrubí

Potrubí může mít jakýkoliv maximální spád, ale při sklonu potrubí větším než 100 ‰ je potřeba posoudit stabilitu potrubí proti posunutí a případně řešit příslušná opatření. Minimální podélný sklon uloženého potrubí je dán městskými standarty, bývá:

- 3 ‰ při světlosti do včetně DN 200
- 1 ‰ při světlosti od DN 200 do DN 500
- 0,5 ‰ při světlosti od DN 600 a větší [3] [27]

2.3.6.3.2 Ochranná pásma vodovodních řadů

Ochranné pásmo je prostor v bezprostřední blízkosti vodovodního řadu, který zajišťuje jeho provozuschopnost. V ochranném pásmu vodovodu je potřeba písemného souhlasu vlastníka, popřípadě provozovatele vodovodu pro provádění zemních prací, umístění stavby nebo k výsadbě trvalých porostů apod.

Ochranná pásma jsou vymezena vodorovnou vzdáleností od vnějšího líce stěny potrubí na každou stranu u vodovodních řadů

- do průměru 500 mm včetně 1,5 m.
- nad průměr 500 mm 2,5 m.
- u vodovodních řadů o průměru nad 200 mm, jejichž dno je uloženo v hloubce větší než 2,5 m pod upraveným povrchem se vzdálenost podle předchozích dvou bodů zvyšuje o 1 m. [26]

2.3.6.3.3 Krytí vodovodního potrubí

Krytí vodovodního potrubí chrání před zamrznutím v zimním období a nadměrným ohříváním v letním období a mechanickým poškozením. Nejmenší doporučená výška krytí vodovodního potrubí menšího než DN 400 je ve volném terénu mimo komunikaci v závislosti na podmínkách základové půdy:

- pro hlinité zeminy 1,2 m
- pro hlinitopísčité zeminy 1,3 m
- pro písčité zeminy 1,4 m
- pro štěrkové a skalní zeminy 1,5 m

V případě vodovodů větších než DN 400 je možné výše uvedené hodnoty snížit o 0,2 m. Není-li možné dodržet potřebné krytí, je potřeba chránit potrubí tepelnou izolací. Výška krytí by v nezastavěném území neměla být o víc než 1 m větší než doporučená hodnota krytí, v zastavěném území by neměla překročit 2 m. Při uložení potrubí do silniční komunikace je minimální krytí 1,5 m. [29]

Tabulka 23: Hodnoty nejmenšího dovoleného krytí, hodnoty max. krytí [21]

Druh VTV či ochranné konstrukce VTV	Nejmenší krytí v mm ¹⁾			Maximální krytí (mm)
	Chodník ²⁾	Vozovka ³⁾	Volný terén ⁴⁾	
Vodovodní řady a přípojky ¹⁸⁾	1 000 až 1 600 ¹²⁾	1 500	1 000 až 1 600 ¹²⁾	2 500

2.3.6.3.4 Křížení s vedením technické vybavenosti

Vzhledem ke stokám i přípojkám splaškové nebo jednotné kanalizace, při souběhu nebo křížení s nimi musí být vodovod umístěn vždy nad nimi. (Výjimka možná jedině s povolením vodoprávním úřadem a náležitými technickými opatřeními.) [29]

V následující tabulce jsou uvedené nejmenší odstupové vzdálenosti vodovodu při křížení s trasami technické vybavenosti v pozemní trase:

Tabulka 24: Nejmenší dovolené odstupové vzdálenosti podle ČSN 73 6005 ve svislém směru v (mm) při křížení vedení technického vybavení v podzemní trase [21]

Druh vedení technického vybavení/VTV či jeho ochranné konstrukce	Silové kabely do				metalické kabely elektronických komunikací	nemetalické kabely elektronických komunikací	Plynovodní potrubí ²⁾		Vodovodní řady a přípojky	Vedení tepelných sítí	Montážní kanály a kabelovody	Stoky a kanalizační přípojky	Vedení potrubní pošty	Ochranné konstrukce sdrůžené trasy VTV podle ČSN P 73 7505	Koleje tramvajové trati
	1 kV	10 kV	35 kV	110 kV			do 0,005 MPa	do 0,4 MPa							
	1	2	3	4			7	8							
vodovodní řady a přípojky	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	400 ⁴⁾ 200 ⁵⁾	400 ²²⁾	200	200	150 ²¹⁾	150 ²¹⁾	100	200 ¹⁷⁾	200 ¹⁷⁾	100 ²¹⁾	300	200 ¹⁷⁾	1 500

2.3.6.3.5 Souběh s technickou vybaveností

V následující tabulce jsou uvedené nejmenší odstupové vzdálenosti vodovodu při souběhu s trasami technické vybavenosti v pozemní trase:

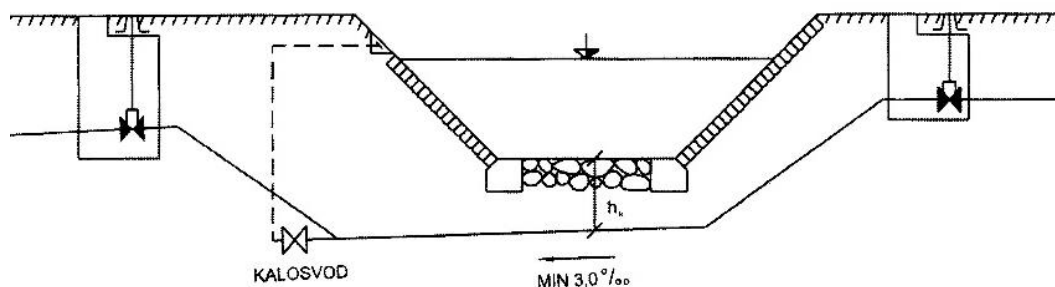
Tabulka 25: Nejmenší dovolené odstupové vzdálenosti podle ČSN 73 6005 ve vodorovném směru (mm) při souběhu vedení technického vybavení v podzemní trase [21]

Druh vedení technického vybavení/VTV nebo i jeho ochranné konstrukce	Silové kabely do				Metalické kabely elektronických komunikací	Nemetalické kabely elektronických komunikací	Plynovodní potrubí ²⁾		Vodovodní řady a přípojky	Vedení tepelných sítí	Montážní kanály a kabelovody	Stoky a kanalizační přípojky	Vedení potrubní pošty	Ochranné konstrukce srovnané trasy VTV podle ČSN P 73 7905	Koleje tramvajové trati
	1 kV	10 kV	35 kV	110 kV			do 0,005 MPa	do 0,4 MPa							
	1	2	3	4			5	6							
vodovodní řady a přípojky	400	400	400	400	400	400	500 ¹⁾	500	600	1 000 ²⁾	600	600	500	1 000 ⁷⁾	1 200

2.3.6.3.6 Křížení s vodním tokem

Křížení vodovodního potrubí s vodními toky je možné řešit podle konkrétních místních podmínek shybkou (obrázek níže), podchodem, převedením po mostě nebo samostatným přemostěním.

Je doporučeno u provozně důležitých potrubí zdvojit potrubí nebo provést zdvojení dvěma trasami, například vést jedno potrubí shybkou a druhé po mostě. V případě, že je vodovodní potrubí vedeno na mostě, umísťuje se na stranu „po vodě“, na straně mostu níže po proudu, aby se snížilo riziko poškození vodovodu nárazem například plovoucího trámu při povodni. V případě, že vodovodní potrubí podchází vodní tok je hloubka minimálního krytí nad izolací a chráničkou vždy nejméně 1,2 m u sledovaných vodních cest a 0,5 m u ostatních vodních toků a nádrží, přitom je třeba dbát na průtokové a místní podmínky a zejména u mělkých vodních toků posoudit riziko promrzání. [29]



Obrázek 64: Křížení vodního toku shybkou [3]

2.3.6.3.7 Křížení s pozemní komunikací a drahou

Křížení s pozemní komunikací a drahou se běžně provádí podchody. Volba místa podchodu a způsobu jeho provedení závisí na druhu a kategorii křížené dopravní stavby, DN a PN potrubí, hydrogeologickým poměrech a dalších vlivech.

Je možné využít stávající mostní otvory, propustky, podchody pro pěší a podjezdy, v takových případech ale musí být potrubí potřebnou izolací chráněno proti mrazu.

V případě, že se buduje nový vodovodní podchod pod dopravní stavbou, osa podchodu by měla vést co možná nejvíc kolmo k ose podcházené dopravní infrastruktury. Úhel křížení nesmí být menší než 75°. Aby se zabránilo negativnímu vzájemnému ovlivňování dopravního provozu a vodovodního potrubí instalují se ochranné konstrukce obvykle chránička potrubí nebo štola pro vodovodní potrubí. Úsek podchodu může být tvořen ale i jen potrubím s větší tloušťkou stěny nebo z materiálu s větší pevností. [32] [3]

Při uložení potrubí v chráničce, musí být oba konce chráničky utěsněny pružnými manžetami, které slouží jako ochrana proti pronikání podzemní vody. Vnitřní průměr chráničky závisí na vnějším průměru chráněného potrubí, které musí jít smontované snadno zasunout a musí umožňovat i snadnou výměnu potrubí. Do chrániček se běžně ukládají potrubí z tvárné litiny, oceli nebo svařovaného HDPE. [3] [32]

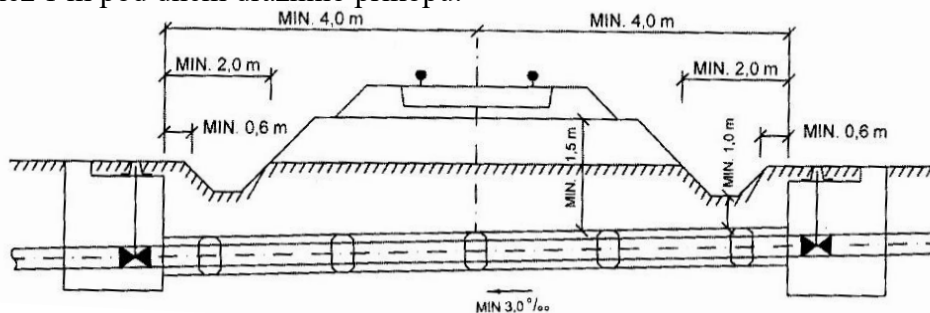
Štola pro vodovodní potrubí musí být ve sklonu umožňujícím odvodnění a alespoň na dolním konci zakončena manipulační štolou. Musí mít rozměry umožňující volný průchod osob, transport a montáž jednotlivých částí potrubí. [32]

Podchody pod drahou

Podchody pod drahou se dělají, pokud je to možné, bezvýkopovými technologiemi. Trasa podchodu nesmí vést pod pohyblivými částmi výhybek a pod kolejovými spojkami. Doporučuje se vybavit vodovodní potrubí na obou stranách podchodu uzávěry (šoupátky) v armaturních šachtách a ovládací prvky, vřetenové tyče šoupat, vyvést až na úroveň terénu tak, aby byla možná manipulace s uzávěry i v případě zaplavení šachty. [32] [3]

Chránička potrubí má začínat a končit nejméně 2 m za patou násypu, nebo horní hrany zářezu drážního zemního tělesa. Zároveň má začínat a končit nejméně 4 m od osy krajní koleje a 0,6 m od vnější hrany drážního odvodňovacího zařízení (drenáže,

příkopu). Chránička má vést nejméně 1,5 m pod železničním spodkem. Pokud je krytí menší než 1 m pod dnem drážního příkopu.



Obrázek 65: Podchod vodovodního potrubí pod drahou [3]

Podchody pod pozemní komunikací

U vodovodních podchodů pod pozemní komunikací se dává také přednost bezvýkopovým technologiím před překopem, nicméně překop není povolen pouze u dálnic, rychlostních silnic a rychlostních místních komunikací.

Chránička potrubí má začínat a končit nejméně 0,60 m od vnější hrany odvodňovacích příkopů, nejméně 2 m za patou násypu, horní hranou zářezu nebo hranou koruny tělesa podzemní komunikace. Chránička by měla vést nejméně 1,5 m pod povrchem vozovky podzemní komunikace a pokud není minimálně 1 m pode dnem odvodňovacího příkopu musí být posouzena nutnost ochrany potrubí proti mrazu.

2.3.6.3.8 Souběh s pozemní komunikací a drahou

Umístění vodovodu vzhledem k ochrannému pásmu dráhy

Vodovodní potrubí se zpravidla v ochranném pásmu dráhy nenavrhuje, se souhlasem správního orgánu to ale možné je, a to v minimální vzdálenosti 4 m od osy krajní koleje dráhy a v takové horizontální vzdálenosti, aby ohrožena stabilita náspu případně zářezu dráhy. [29]

Umístění vodovodu vzhledem k ochrannému pásmu silnice

Vodovodní potrubí se zpravidla navrhuje mimo ochranné pásmo silnice, ale se souhlasem silničního právního orgánu je možné vodovod do tohoto pásma umístit. [29]

2.3.6.4 Tlak ve vodovodní síti

- V nejnižších místech vodovodní sítě každého tlakového pásma nesmí maximální přetlak převyšovat hodnotu 0,6MPa. Tato hodnota se může v odůvodněných případech zvýšit na 0,7 MPa. [33]

- V místě připojení vodovodní přípojky musí být při zástavbě do dvou nadzemních podlaží přetlak v rozvodné síti 0,15MPa a při zástavbě vyšší nejméně 0,25 MPa. [33]

2.3.6.5 Základní součásti vodovodního potrubí

- Armatury jsou zařízení, která jsou nezbytnou součástí vodovodu, umožňují bezporuchový provoz, ovládání a řízení provozu, odběru vody, kontrolu průchodnosti, periodické čištění a opravy potrubí. [3] [29] [25]

- Trouby jsou součásti potrubí s konstantním vnitřním průměrem po délce, obvykle mají přímou osu a jsou zakončené například přírubou, hladkým koncem nebo hrdlem. [25]

Základní dodávaná délka trub bývá 6 m, firmy nabízí ale také například 5 m nebo 12 m, některá plastová potrubí je také možné běžně sehnat v návinech dlouhých například 100 m.

- Tvarovky jsou relativně krátké součásti potrubí umožňující odbočení, změnu směru nebo průměru. Patří sem též kusy umožňující přechod, změnu způsobu spojování jednotlivých částí potrubí tzn. přírubové kusy s hrdlem nebo hladkým koncem a hrdlové přesuvky. [25]

- Spoje jsou spojení přilehlých konců kusů potrubí včetně těsnících prostředků. [25]

- Výstelka je materiál dodatečně nanesený na vnitřní součást potrubí, aby bylo potrubí chráněno proti korozi, mechanickému poškození nebo chemickému působení přepravované vody. [25]

- Vnější povlak je přídavný materiál nanesený na vnější povrch sloužící k ochraně. Chrání potrubí například před korozivními účinky okolní agresivní zeminy nebo bludnými proudy. (Bludné proudy jsou vysoký elektrický potenciál způsobený zařízeními se stejnosměrným proudem jako elektrická dráha, metro dále tramvajové i trolejbusové systémy. Nachází-li se výš jmenovaná zařízení v okolí litinového nebo ocelového potrubí, ohrožují toto potrubí korozi, protože se v takových místech používá potrubí se zesílenou vnější povrchovou ochranou vrstvou polyetylenu, polyuretanu a cementové malty.) [34]

2.3.6.6 Armatury vodovodního potrubí

Armatury jsou nezbytná zařízení vodovodní sítě, umožňují její bezpečný provoz, ovládání a řízení provozu, odběry čištění a opravy. Armatury se dělí do skupin podle funkce. Příkladem firmy vyrábějící mimo jiné právě některé armatury jako uzavírací a redukční armatury je firma HAWLE ARMATURY spol. s r. o.

2.3.6.6.1 Průtokoměry

Průtokoměry jsou zařízení sloužící k měření množství vody proteklé potrubím.

Volbu typu a kapacity průtokoměru závisí na kritériích, kterými jsou hodnota provozního tlaku a mezní (minimální a maximální) hodnoty tlaku, fyzikální a chemické vlastnosti vody dále předpokládané rozmezí průtoků (Q_{\min} , Q_p , Q_{\max}) a přijatelné tlakové ztráty. [3]

Základní parametry konkrétního průtokoměru tedy jsou jmenovitý průtok Q_n (m^3/h), maximální průtok Q_{\max} (m^3/h), minimální průtok Q_{\min} (m^3/h), maximální pracovní přetlak p_{\max} (Pa) a nejvyšší provozní teplota ($^{\circ}C$).

Průtokoměry používané ve vodárenství je možno rozdělit podle zákona o meterologii na:

- Pracovní měřidla stanovená
- Pracovní měřidla nestanovená

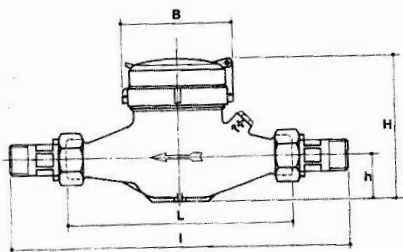
Pracovní měřidla stanovená jsou veškeré průtokoměry, podle nichž jsou stanovovány platby za množství proteklé vody. Jedná se například o domovní vodoměry (zakončují vodovodní přípojky), vodoměry používané k měření vody odebrané z podzemních nebo povrchových zdrojů, které podléhají zpoplatnění podle zákona o vodách. Tyto měřidla je podle zákona potřeba pravidelně ověřovat a kalibrovat, to mohou provádět pouze autorizovaná meteorologická pracoviště. Podle zákona je maximální doba pro ověřování pro měřidla na studené vodě 6 let a teplé 4 roky. [3]

Pracovní měřidla nestanovená zvaná provozní jsou veškerá ostatní měřidla, která slouží pouze pro interní potřebu provozovatele nebo vlastníka vodovodu případně odběratele. Jedná se o vodoměry v úpravných vod, čerpacích stanicích, vodojemech, o sekční vodoměry na rozvodných řadech (k indikaci poruch a úniků) i vodoměry bytové. Tato měřidla nepodléhají povinnosti pravidelného ověřování a kalibrace, a je plně v kompetenci provozovatele, jak často s jakou četností a v jakém rozsahu tyto měřidla ověřují a kalibrují. [3]

Základní typy průtokoměrů ve vodárenství:

Mechanické rychlostní průtokoměry – Vodoměry

Princip rychlostních mechanických průtokoměrů je založen na rotoru na hřídeli, oběžném kole s lopatkami, které mohou být buď rovné (u malých průtoků do 20 m³/h) nebo šroubovitě tvarované (u větších průtoků než 20 m³/h). Rotor na svislé nebo vodorovné hřídeli je roztáčen rychlostí vodního proudu ve vodoměrné komoře. Tento pohyb je přes mechanické ústrojí přenášen na počítadlo, které součtovým způsobem měří objem protečené vody. [3] [8]



Obrázek 67: Lopatkový vodoměr [3]



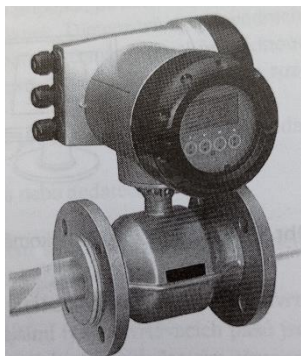
Obrázek 66: Vodoměr domovní přípojky

Magneticko indukční průtokoměry

Magneticko indukční průtokoměry jsou nejpresnějším typem měřidla pro měření tlakového průtoku. Mají zcela volný průřezový profil, nezpůsobují tedy žádnou tlakovou ztrátu.

Jsou založeny na principu snímání indukovaného napětí U , které vzniká při pohybu kapaliny v magnetickém poli a které je přímo úměrné střední profilové rychlosti v proudění $U=K.v$, kde K je konstanta určená výrobcem. Indukční průtokoměry se skládají ze dvou částí:

- Snímače (indukčního čidla), které je zabudované přímo v potrubí a snímá průtok
- Převodníku (řídící jednotky), která zpracovává, vyhodnocuje a zobrazuje naměřená data [3]



Obrázek 69: Indukční průtokoměr [3]



Obrázek 68: Magneticko indukční průtokoměry [79]

- Ultrazvukové průtokoměry

Ultrazvukové průtokoměry lze rozdělit do dvou hlavních kategorií podle principu měření vody, který používají:

Průtokoměry využívající Dopplerova jevu

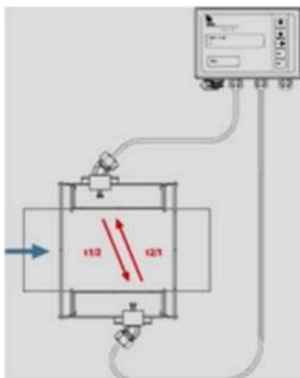
Měření ultrazvukovým průtokoměrem založeným na principu Dopplerova jevu je jedním z nejpřesnějších způsobů měření průtoku. Měření je založené na změně frekvence vln, které se odráží od s proudem se pohybujících nehomogenit. Vyžaduje tedy přítomnost pevných částic nebo bublinek v měřené vodě, proto je k měření pitné vody nevhodné. Měřidla využívající tohoto principu jsou ale ideální pro použití u odpadních vod nebo jiných znečištěných tekutin. [3]

Průtokoměry využívající měření doby průchodu signálu

Základním principem je měření času, který potřebuje paprsek akustického signálu k průchodu vodou, jejíž rychlost je měřena. Ultrazvukové signály jsou pomocí měřicích převodníků přídělaných na vnější obvod potrubí střídavě vysílány ve směru a proti směru průtoku vody. Doba průchodu akustického signálu měřenou vodou je ve směru proudění kratší než doba průchodu vodou v protisměru proudění. Zjištěný rozdíl času je použit pro výpočet průměrné rychlosti proudění kapaliny a při známém průřezu potrubí pro výpočet objemového průtoku.

Tyto příložné ultrazvukové průtokoměry, mají zcela volný průřezový profil, nezpůsobují tedy žádnou tlakovou ztrátu, nevyžadují žádné zásahy do potrubí a dají se bez problémů instalovat na potrubí za plného provozu. [35] [36]

Tyto příložné průtokoměry se nepoužívají pro standartní stálé měření, ale velice často se používají pro měření při měřicích kampaních, krátkodobých měření pro ověření průtoku.



Obrázek 71: Schéma funkce ultrazvukového průtokoměru založeného na dobách průchodu signálů [35]

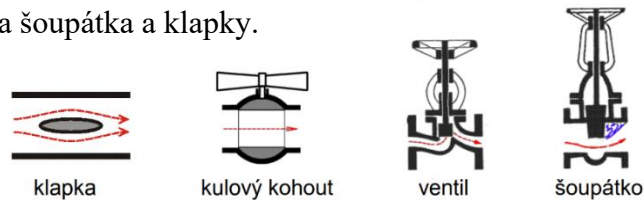


Obrázek 70: Použití ultrazvukového průtokoměru [35]

2.3.6.6.2 Uzavírací armatury

Uzavírací armatury jsou zařízení osazená na potrubí umožňující uzavření, případně regulaci průtoku. [3]

Existuje velké množství druhů uzávěru podle principu, jakým zahrazují průtok (příklady typů uzávěrů jsou na následujícím obrázku.) Z pohledu vodárenství jsou významné zejména šoupátka a klapky.



Obrázek 72: Druhy uzávěrů [8]

Šoupátko

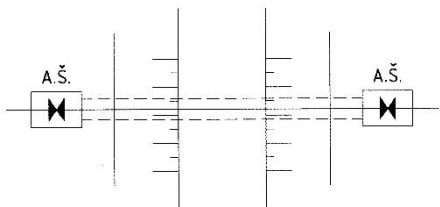
Šoupátka jsou regulační uzavírací armatury, umožňují plynule regulovat průtok nebo jej zcela uzavřít. Šoupátka se navrhují zejména v těchto místech:

rozvodné vodovodní sítě:

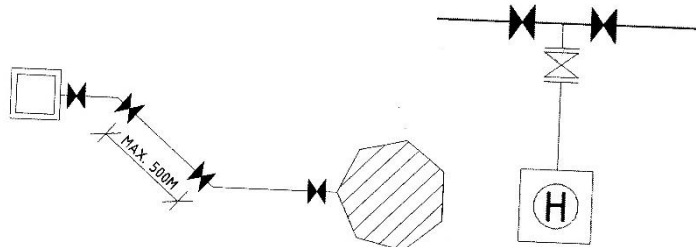
- v místě rozvětvení vodovodní sítě, umožňují uzavřít úsek s poruchou (minimální počet šoupátek v uzlu je $n-1$, kde n je počet větví v uzlu)
- v místě umožňujícím samostatně uzavřít rozvodný řad v ulici
- v místech na potrubí zokruhované vodovodní sítě za a před odbočku odběratelů, jejichž zásobování vodou se nesmí přerušit například nemocnice (pravý obrázek níže)
- na odbočkách pro hydranty a výtokové stojany.
- v místě na odbočce pro vodovodní přípojku u řadu
- u křížení vodovodu s vodními toky, komunikacemi nebo jinými překážkami po jedné nebo obou stranách překážky (levý obrázek níže) [29] [3]

přiváděcích, výtlačných a zásobovacích řadech:

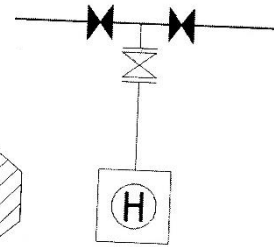
- na dlouhých řadech jako tzv. sekční šoupátka po 500 m. (prostřední obrázek níže) [3]



Obrázek 75: Šoupátka u podchodu pod komunikací [3]



Obrázek 74: Sekční šoupátka [3]



Obrázek 73: Šoupátka u odbočky pro nemocnici [3]

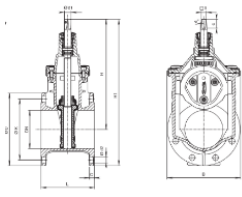
Uzavírací část šoupátka je takzvané srdce ve tvaru klínu, které se pohybuje průřezem potrubí svisle nahoru a dolů pomocí otáčení šroubového vřetene. [3]



Obrázek 79: Šoupátko domovní přípojky [77]



Obrázek 77: Šoupátko [77]



Obrázek 78: Šoupátko geometrie [77]



Obrázek 76: Šoupátko použití [77]

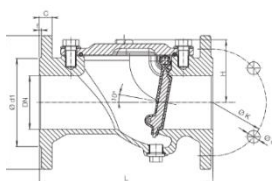
Klapka

Zpětná klapka

Zpětná klapka je neregulační uzávěr, který se osazuje tam, kde je potřeba zabránit zpětnému toku vody. Používá se na výtlačném potrubí čerpadel nebo ve vodoměrných sestavách. Klasické diskové zpětné klapky mají jako uzavírací prvek kruhovou klapku otočnou v čepu, která je otevřená při normálním směru proudění a v případě zpětného proudění, tedy poklesu tlaku, se automaticky zavře. [3]



Obrázek 80: Zpětná klapka [77]



Obrázek 83: Zpětná klapka schéma [77]

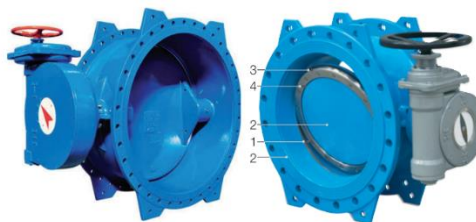


Obrázek 81: Zpětná klapka s pákou závažím, hydraulicky tlumená [77]

Obrázek 82: Axiální zpětná klapka [77]

Uzavírací klapka

Uzavírací armatury, u kterých je uzavíracím prvkem talíř otočný kolem osy kolmé na směr proudění. V uzavřené poloze je talíř přitlačován k pryžové manžetě. Umožňují uzavírání toku z obou stran. Ovládají se buď pákou, kolečkem, nebo elektropohonem. Nevýhodou jsou horší hydraulické parametry. V meziplochách jsou náchylné na rozkmitání. [3]



Obrázek 84: Uzavírací klapky [77]

Koncová klapka

Základního principu zpětných klapky se využívá i u koncových klapky, které jsou vlastní hmotnosti udržovány v zavřené poloze a při proudění vody se přetlakem otevrou. Koncové klapky se osazují například na konci odkalovacího potrubí, odpadních potrubí vodojemů a podobně. Jejich účelem je zabránit vniku znečištění, případně živočichů. [3]

2.3.6.6.3 Výtokové armatury

Hydrant

Hydrant je armatura sloužící k odběru vody z rozvodné sítě (požární vody případně vody k jiným účelům např. kropení veřejné zeleně, údržbě zpevněných ploch). Hydranty se osazují na vodovodních řadech na krátké odbočky s uzávěrem. Podle umístění výtoku se rozdělují hydranty podzemní a nadzemní. [3]

Podzemní hydranty jsou preferovány. Podzemní hydrant je osazen zcela pod úrovní terénu, výtok má těsně od úrovní terénu a je chráněn hydrantovým poklopem. [1] [29] [3]



Obrázek 87: Podzemní hydrant [77]



Obrázek 88: Podzemní hydrant [80]



Obrázek 85: Pokrop podzemního hydrantu



Obrázek 86: Podzemní hydrant zapojení [77]

Nadzemní hydranty se používají tam, kde nepřekáží dopravě ani chodcům, tedy mimo komunikace a chodníky, v zatravněných plochách, parcích v místech s vysokou sněhovou pokrývkou. Slouží-li hydrant k požárním účelům musí vyhovovat požadavkům ČSN 73 0873 na maximální vzdálenosti uvedených v tabulce (Tabulka 28). [1] [29] [3]



Obrázek 89: Nadzemní hydrant



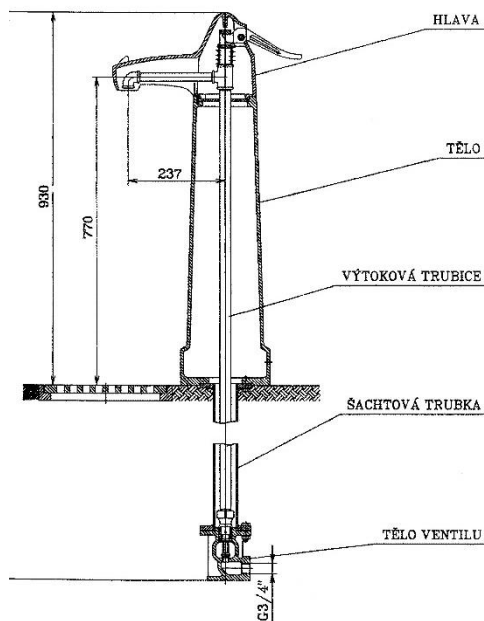
Obrázek 91: Příklad nadzemní hydrant [77]



Obrázek 90: Nadzemní hydrant [77]

Výtokový stojan

Výtokový stojan je armatura sloužící k přímému odběru vody z vodovodního potrubí. Navrhuje se jen výjimečně. Může sloužit pro odběry vody pro veřejné účely jako údržba zeleně apod. Vystavuje se na krátkých odbočkách podobně jako hydranty. Výtokové stojany je také možno použít jako zdroj požární vody v uzavřených areálech nevýrobních objektů a skladů. [29] [37] [3]

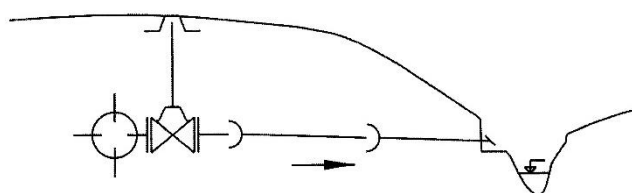


Obrázek 92: Výtokový stojan [3]

Kalosvody (vypouštěcí zařízení)

Výpustné zařízení není speciální armatura, jedná se v podstatě o odbočku s uzavěrem (šoupětem) a odkalovacím potrubím. Kalosvody se umísťují do nejnižších bodů vodovodu, na konec klesajících větví v rozvodné síti a v dolních výškových lomech. Kalosvody umožňují úplné vypuštění potrubí při opravách nebo rekonstrukcích, dále slouží k odkalení, tedy odpouštění nahromaděných sedimentů (písku, kalu, inkoustů a korozních produktů). [3]

Kalosvody je vhodné navrhnout tam, kde při vypouštění vody z potrubí nevzniknou škody. V případě vypouštění vody do recipientu je potřeba souhlasu správce vodního toku a vodoprávního úřadu. Vodovod je také možné zaústit do kanalizace, ale též pouze se souhlasem provozovatele kanalizace. [29]



Obrázek 93: Schéma kalosvodu [3]

2.3.6.6.4 Vzdušník

Vzdušník je armatura, kterou je potřeba navrhovat v nejvyšších místech vodovodního potrubí. Vzdušníky odvzdušňují potrubí za provozu a vypouštějí vzduch při napouštění potrubí, dále umožňují vstup vzduchu do potrubí při vypouštění. [29]



Obrázek 95: Vzdušník zapojení [77]

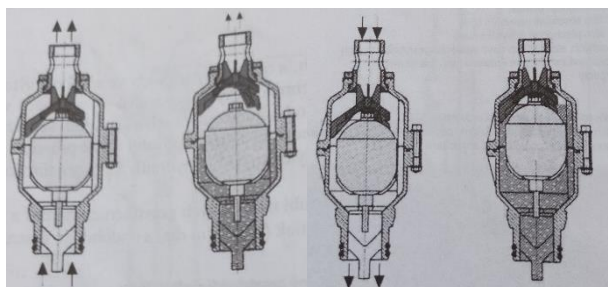


Obrázek 94: Vzdušníky [77]



Obrázek 96: Vzdušník [77]

Princip fungování automatického plovákového odvzdušňovacího a zavzdušňovacího ventilu je založený na kulovém nebo oválném plováku v plovákové komoře ventilu. Plovák svým svislým pohybem otvírá nebo zavírá otvor ve výtokové trysce. Nahromadění vzduchu v komoře stlačí plovák dolů, čímž se uvolní výtokový otvor, vzduch unikne a stoupající voda zvedne plovák a tím se uzavře výtokový otvor. Při vypouštění vody z potrubí vznikne podtlak, který způsobí pokles plováku do nejnižší polohy, tím dojde k úplnému otevření výtokového otvoru přisávání vzduchu. [3]



Obrázek 97: Princip funkce odvzdušňování a zavzdušňování u plovákového vzdušníku [3]

2.3.6.6.5 Regulační armatury

Redukční ventil

Redukční ventil je armatura na vodovodním potrubí snižující výstupní tlak dopravované vody oproti vstupnímu. Alternativním řešením je přerušovací komora. Redukční ventil se osazuje výhradně do šachty. Před redukčním ventilem se osazuje uzavírací armatura, podle potřeby filtr a tlakoměr, za redukčním ventilem je potřeba osadit tlakoměr, pojistný ventil a uzavírací armaturu. [22] [1]

Pojistný ventil

Pojistný ventil je armatura, která chrání proti nadměrnému přetlaku. [1]



Obrázek 99: Redukční ventil [77]



Obrázek 98: Ventil pro udržení tlaku [77]

2.3.6.6.6 Montážní vložka

Montážní vložka je přírubová armatura s proměnlivou délkou, která umožňuje snadnější montáž a demontáž různých armatur jako redukčních ventilů, šoupátek vodoměrů a tvarovek. [3]

2.3.6.6.7 Kompenzátor

Kompenzátor je armatura umožňující kompenzovat délkovou změnu potrubí způsobenou změnou teploty. Zároveň chrání potrubí proti poškození vibracemi způsobenými provozem čerpadel a dalších technologických zařízení. [3]



Obrázek 101: Gumový kompenzátor [77]



Obrázek 100: Montážní vložka [77]

2.3.6.6.8 Armaturní šachta

Objekty sloužící k umístění a ochraně armatur na vodovodním potrubí, která umožňuje snadný přístup a manipulaci s nimi. Šachty se používají zejména u měření průtoku, redukčních ventilů vzdušníků a sekčních uzavíracích armatur. Uzavírací armatury v šachtách se rovněž umísťují na začátek a konec šachty pod vodním tokem, tak aby byly přístupné i při povodních v souladu povodňovou ochranou území. [29]

2.3.6.7 Materiály potrubí (trouby, tvarovky, spoje, výstelky)

Všechny materiály přicházející do styku s pitnou vodou včetně materiálů potrubních musí splňovat požadavky Vyhlášky č.252/2004Sb., která stanovuje hygienické požadavky na pitnou vodu, Zákona č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích a Vyhlášky č. 409/2005 Sb. o hygienických požadavcích na výrobky přicházející do přímého styku s vodou a na úpravu vody.

Volba trubního materiálu se odvíjí od pracovních a zkušebních přetlaků, popřípadě podtlaků ve vodovodní síti, vodních rázů, statického a dynamického zatížení, únosnosti potrubí, agresivity půdy, přítomnosti bludných proudů jakosti dopravované vody, významnosti řadu a nárokům na jeho provozní spolehlivost a zamýšlené životnosti celého potrubí. [29]

Požadavky jednotlivých provozovatelů na navrhované potrubí bývají uvedeny v městských vodovodních standardech.

Základní technické parametry potrubí:

-Vnitřní světlost potrubí DN (Diametre Nominal) dříve Jmenovitá světlost potrubí Js

Udává hodnotu vnitřního průměru potrubí v mm (nebo palcích). U plastových potrubí může zkratka DN vyjadřovat také jmenovitý vnější průměr, je proto třeba se vždy ujistit o jaký rozměr se jedná. [38] [39]

- Jmenovitý vnitřní tlak potrubí PN (Presure Nominale) dříve Jmenovitý tlak Jt

Udává hodnou největšího pracovního přetlaku při teplotě přepravované vody 20°C v barech (tedy desetinásobek hodnoty maximálního přetlaku v MPa). [38]

Například Plzeňský městský standard specifikuje minimální přípustnou tlakovou třídu potrubí PN 10, pro potrubí v méně přístupná či v historické části města pak musí být PN 16. Přípustné světlosti potrubí jsou DN 80 - DN 2000 (mimo přípojky). [27]

Přehled základních potrubních materiálů:

Kovové materiály

-Ocel

-Litina

• Šedá litina

• Tvárná litina

Nekovové materiály

-Plasty

• PVC

• Polyetylén

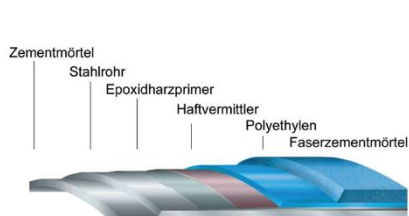
• Polypropylén

-Sklolaminát

2.3.6.7.1 Ocel

Ocel je sloučenina železa s obsahem uhlíku menším než 2,14 %. Hlavními výhodami ocelového potrubí jsou velká pevnost a pružnost, ocel je díky možnosti svařování a řezání velice variabilní z hlediska délky a tvarovek. Ocelové trouby mají také menší hmotnost než trouby litinové. Hlavní nevýhodou ocelových trub je malá protikorozní odolnost, proto je nutné u nich provádět důkladnou protikorozní ochranu. [3]

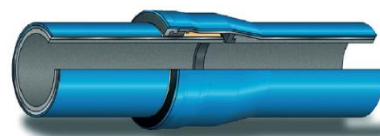
Vnější povrch potrubí se může chránit pozinkováním, vícevrstevnými nátěry nebo pláští z PP s PE. Možné vrstvy stěny potrubí jsou na následujícím levém obrázku. Jako vnitřní ochrana může být použita cementová nebo PUR výstelka. Cementová výstelka je vidět na následujícím prostředním obrázku. [3] [17]



Obrázek 102: Skladba ocelového vodovodního potrubí [40]



Obrázek 104: Potrubí s cementovou výstelkou [72]



Obrázek 103: Hrdlový spoj TITON ocelové trouby [40]

Ocel lze spojovat především svařky nebo přírubovými spoji jako litinu, ale používají se i hrdlové spoje (odstavci předcházející pravý obrázek). Přírubové spoje jsou rozebíratelné, zatím co svařky jsou spoji nerozebíratelnými. Svařky mohou být koutové případně tupé. Dříve se dělali také temované ocelové hrdlové spoje. [3] [40]

Ocelové trouby se používají v úsecích s větším provozním přetlakem než 1 MPa, v místech s nebezpečím vzniku vodního rázu, v nepříznivých geologických poměrech nebo u vodovodních řadů velkých světlostí nad DN 800, ve kterých se ostatní materiály nevyrobí. Uplatňují se také jako chráničky pro podchody vodovodního potrubí pod dopravní komunikací. [3]

Příkladem firmy schopné vyrobit potrubí z oceli pro pitnou vodu je firma Mannesmann Line Pipe GmbH. Na následujících obrázcích je vidět ocelové vodní potrubí rekonstrukce St. Pauli-Elbtunnel v Německu. [41]



Obrázek 105: Ocelové vodovodní potrubí DN 3 [41]



Obrázek 106: Ocelové vodovodní potrubí DN 300 [41]

2.3.6.7.2 Litina

Litina je sloučenina železa s uhlíkem obvykle obsahuje 4-6 % uhlíku. Šedá litina je starší materiál než litina tvárná. Šedá litina se již nenavrhuje. Pro spojování trub z litiny je možné použít přírubové nebo hrdlové spoje.

Šedá litina

Šedá litina je u nás nejdéle používaným trubním materiálem vodovodů., stále ji běžně lze potkat v provozu. Dříve se jednalo o nepoužívanější trubní materiál, ale kvůli křehkosti se již nevyrábí. [3] [2]

V šedé litině se uhlík nachází ve formě mikroskopických lupínků, což způsobuje velkou křehkost tohoto materiálu (téměř nulovou tahovou a ohybovou únosnost). Právě křehkost a velká hmotnost jsou největšími nevýhodami tohoto materiálu. Prosté litinové potrubí bez vnitřní povrchové úpravy má velkou drsnost a podléhá snadno inkrustaci. Hlavní výhody představují pevnost, odolnost proti mechanickému opotřebení a podstatně vyšší odolnost proti korozi oproti oceli. [3]


Tvárná litina

Tvárná litina se vyrábí z litiny šedé přidáváním hořčíku a niklu. Uhlík se v tvárné litině vyskytuje ve formě mikrogranulí, což spolu s již zmíněnými přísadami významně zlepšuje pevnost a pružnost, zároveň má tvárná litina stále vysokou protikorozi odolnost. [3]

Následující obrázek zachycuje tabulku, která je příkladem možného výrobního sortimentu světlostí profilů tvárné litiny.

Trubky hrdlové (TH) s hrdlem STANDARD

NATURAL® BioZinalium®
NATURAL®
 Trubky z tvárné litiny dle ČSN EN 545 a ISO 2531 s jednodílným hrdlem.
 Délka a tlaková třída viz. tabulka.



DN mm	Tlaková třída ⁽¹⁾	Lu m	B mm	DE mm	Hmotnost kg/m
60	C 40	6	144,0	77,0	9,4
80	C 40	6	167,0	98,0	12,2
100	C 40	6	188,0	118,0	14,9
125	C 40	6	215,0	144,0	18,3
150	C 40	6	242,0	170,0	22,2
200	C 40	6	295,0	222,0	30,2
250	C 40	6	352,0	274,0	42,2
300	C 40	6	409,0	326,0	55,5
350	C 30	6	464,2	378,0	68,8
400	C 30	6	516,2	429,0	79,4
450	C 30	6	574,2	480,0	93,8
500	C 30	6	629,2	532,0	111,2
600	C 30	6	738,5	635,0	150,6
700	C 25	6,96	863,0	736,6	186,2
800	C 25	6,95	974,0	840,4	229,0
900	C 25	6,95	1082,0	943,2	279,2
1000	C 25	6,96	1191,0	1046,0	334,0

Obrázek 107: Příklad vyráběných světlostí potrubí z tvárné litiny výstřížek z katalogu firmy SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. [74]

2.3.6.7.2.1 Spoje a tvarovky

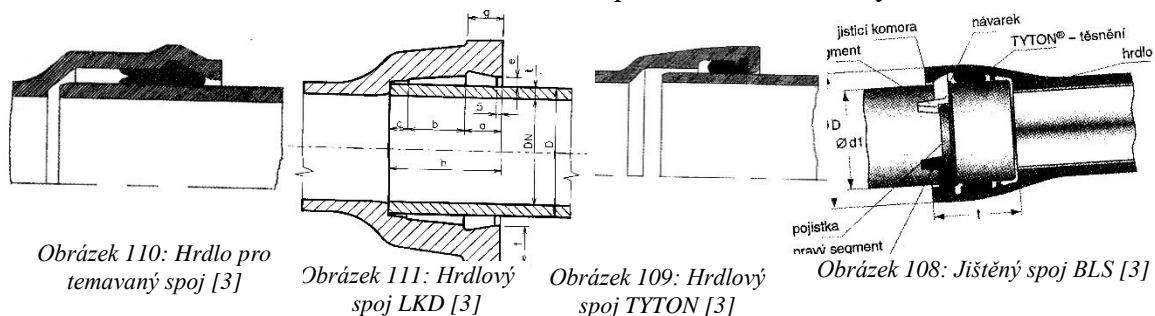
Hrdlové spoje

Změnu směru potrubí lze provádět tvarovkami o standartních úhlech a malé změny směru lze provádět výchylkami v hrdlech při napojování jednotlivých trub. Při použití běžných hrdlových spojů je potřeba při změně směru osy potrubí kotvit do opěrných bloků, protože hrdlové spoje nejsou odolné proti posunutí.

V minulosti se používaly takzvané klasické temované hrdlové spoje, Jednalo se například o konopné provazce zalité olovenou zálivkou. [3]

V současnosti se tyto spoje už nevytvářejí a na místo nich se používají moderní hrdlové spoje založené na těsnění speciálními pryžovými těsnícími kroužky (TYTON, LKD), tento typ spoje je v současnosti nejrozšířenější spoj v celosvětovém měřítku. [3]

Dalším typem hrdlového spoje je takzvaný zámkový spoj. Jedná se nejmladší druh spoje, tyto spoje jsou odolné proti podélnému posunu, používají se zejména v místech směrových a výškových lomů a podobně. Zámkové jištění spoje nepotřebují na rozdíl od ostatních druhů hrdlových spojů opěrné betonové bloky. [3]



Obrázek 110: Hrdlo pro temavaný spoj [3]

Obrázek 111: Hrdlový spoj LKD [3]

Obrázek 109: Hrdlový spoj TYTON [3]

Obrázek 108: Jištěný spoj BLS [3]

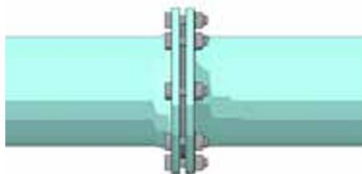
Příkladem firmy vyrábějící například právě litinové tvarovky a trouby s přírubovými spoji je firma Technoma a.s nebo Saint-Gobain Pam CZ s.r.o nebo vonRoll hydro (cz) s.r.o. V následující tabulce jsou uvedeny základní druhy přírubových tvarovek Tvarovky s hrdlovými spoji se značí:

Tabulka 26: Tabulka Značení a symboly přírubových tvarovek [75]

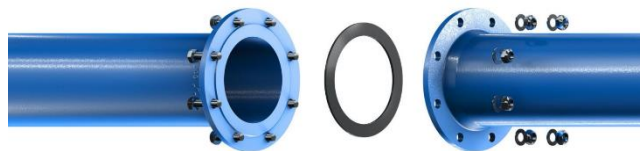
Hrdlové koleno s dvěma hrdly 11 1/4°	MMK 11		Hrdlové koleno s jedním hrdlem 45°	MK 45	
Hrdlové koleno s dvěma hrdly 22 1/2°	MMK 22		Hrdlové koleno s jedním hrdlem 90°	MQ	
Hrdlové koleno s dvěma hrdly 30°	MMK 30		Hrdlová tvarovka s přírubovou odbočkou	MMA	
Hrdlové koleno s dvěma hrdly 45°	MMK 45		Hrdlová tvarovka s hrdlovou odbočkou	MMB	
Hrdlové koleno s dvěma hrdly 90°	MMQ		Hrdlová redukce	MMR	
Hrdlové koleno s jedním hrdlem 11 1/4°	MK 11		Přírubová tvarovka s hrdlem	EU	
Hrdlové koleno s jedním hrdlem 22 1/2°	MK 22		Koleno s patkou 90°	EN	
Hrdlové koleno s jedním hrdlem 30°	MK 30		Přesuvka s ucpávkovým spojem	U STB	

Přírubové spoje

Přírubové spoje jsou pevné spoje, které jsou rozmontovatelné. Součástí přírubového spoje jsou dvě příruby dále šrouby, matice, podložka a těsnění. Těsnění je vloženo mezi příruby a stlačeno smontovanými šrouby. Provedení příruby na tvarovce i troubě jsou totožná. [42]



Obrázek 113: Přírubový spoj [71]



Obrázek 112: Složení přírubového spoje [42]

Příkladem firmy vyrábějící například právě litinové tvarovky a trouby s přírubovými spoji je firma Technoma a.s nebo Saint-Gobain Pam CZ s.r.o. V následující tabulce jsou uvedeny základní druhy přírubových tvarovek:

Tabulka 27: Značení a symboly přírubových tvarovek [42]

Zaslepovací příruba	X		Přírubové koleno 45°	Q	
Přírubové koleno 11 ¼°	FFK 11		Přírubový kříž	TT	
Přírubové koleno 22 ½°	FFK 22		Přírubová tvarovka s přírubovou odbočkou	T	
Přírubové koleno 30°	FFK 30		Přírubová redukce	FFR	
Přírubové koleno 45°	FFK 45		Přírubová redukce excentrická	FFRe	
Přírubová tvarovka s hladkým koncem	F		Přírubové koleno s patkou 90°	QN	

2.3.6.7.2.2 Povrchová úprava

Vnitřní úprava bývá cementový nebo PUR výstelka. [17]

Cementová výstelka

Vnitřní povrchová úprava litinových trubek a tvarovek je výstelka z cementové malty z vysokopecního cementu tloušťky 3,5-6 mm. [3]



Obrázek 114: Nanášení cementové výstelky odstředěním [73]



Obrázek 115. Odstředivé nanášení cementové výstelky [74]

2.3.6.7.3 Plasty

Plasty jsou organické látky a jako takové se skládají především z uhlíku a vodíku dále pak z některých dalších prvků jako chlóru, fluoru, síry a kyslíku. Pro vodovodní potrubí se používají hlavně PE, PVC a PP. Všechny tři patří do skupiny plastů zvané termoplasty. Charakteristické pro termoplasty je, že je lze opakovaně zahřát a vytvarovat, po zchladnutí pak ztvrdnou, aniž by se změnila jejich fyzikální chemické a mechanické vlastnosti. [3]

Hlavní výhody plastů jsou malá drsnost, dobrá odolnost proti inkrustaci (zarůstání), snadné řezání a tvarování, vysoká chemická odolnost proti většině běžných chemikálii, nízká hmotnost, nepodléhání korozi (odolnost proti bludným proudům, nevedou elektrický proud) hygienická nezávadnost a menší energetická náročnost výroby. [3] [43]

Hlavními nevýhodami plastu jsou malá teplotní odolnost a velká teplotní roztažnost. Plastové potrubí má 10 - 15x větší teplotní roztažnost než kovy. [3]

Firmy vyrábějící plastové vodní potrubí jsou například Wavin Czechia s.r.o. nebo Pipelife Czech s.r.o.

Spojování plastových trub lze provádět různými způsoby, pro PE je typické svařování na tupo nebo elektrotvarovkami. Svařování na tupo se používá i u PP. PVC je možné spojovat pomocí hrdlových spojů. [43] [44] [45]

Svařování elektrotvarovkami (elektrospojkami)

Uvnitř elektrotvarovek je navinut odporový drát. Na elektrotvarovkách jsou etikety s čárovým kódem, která obsahuje veškeré potřebné údaje. K elektrotvarovce se připojí automatická svářečka, která do ní pustí napětí, zahřátím začne PE nabývat na objemu a vyplní mezeru mezi tvarovkou a trubkou. [44]

Výhoda svařování elektrotvarovkami je, že v místě svaru na vnitřím povrchu nedochází k zúžení průtočného profilu. Nevýhodou je navýšení průměru potrubí v místě svaru, kde se na potrubí nachází ještě elektrospojka, čím se zvětšuje jeho vnější průměr. [44]



Obrázek 116: Průřez spojem potrubí PE elektrospojkou [44]



Obrázek 117: Elektrospojka PE [44]



Obrázek 118: Svařování pomocí elektrospojky [44]

Svařování na tupo

Výhodou stařování na tupo je nevelké navýšení vnějšího průměru potrubí v místě svaru. Jeho nevýhodou je, že v místě svaru vzniká na vnitřním povrchu potrubí takéž výronek, který způsobuje tlakovu místní ztrátu. [44]



Obrázek 120: Svar na tupo [44]



Obrázek 119: Řez svarem na tupo PE [44]

Polyetylen PE

Pro venkovní vodovodní rozvody se používají dva druhy polyetylenu:

- Nízkohustotní (rozvětvený) LDPE
- Vysokohustotní (lineární) HDPE

PE je ve srovnání s PVC pružnější a má dobrou houževnatost a pevnost, ale je měkčí. PVC i PE jsou náchylné k mechanickému poškození při dopravě, manipulaci a montáži. Vyžaduje podkladní lože a obsyp z jemnozrného materiálu. PE se spojuje především svařováním na tupo (svařovací teplota 200-270°C) a elektrospojkami, dále pak mechanickými spoji (ISO spojka) a přírubovými spojkami pomocí přivařeného lemového kroužku. [3]

Změnu směru lze udělat použitím příslušných tvarovek nebo využitím pružnosti materiálu a provedením směrové změny obloukem. Pro umístění armatur je nutné použít přechodové kusy na kovové materiály. [17]



WAVIN TS TRUBKA VODA – SDR 11 – návin 100 m


d mm	s mm	L m/ v návínu	kg/ v návínu	A mm	B mm	H mm	KÓD
32*	3,0	100	28,20	1 170	880	240	VP503033W
40*	3,7	100	43,40	1 240	880	300	VP503043W
50*	4,6	100	67,30	1 450	1 000	325	VP503053W
63*	5,8	100	106,20	2 090	1 750	410	VP503063W
75*	6,8	100	148,10	2 290	1 750	413	VP503073W
90	8,2	100	214,40	2 630	2 200	520	VP503083W
110	10,0	100	317,80	2 820	2 200	655	VP503093W
125	11,4	100	412,00	2 850	2 200	700	VP503103W
160	14,6	100	673,50	3 270	2 400	880	VP503123W
180	16,4	100	851,10	3 384	2 400	990	VP503133W

Obrázek 121 : Příklad vyráběných světlostí potrubí z PE výstřížek z katalogu firmy Wavin Czechia s.r.o. [44]

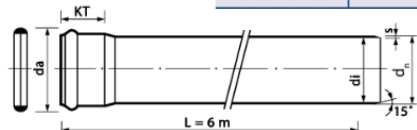
Polyvinylchlorid PVC

PVC je při nízkých teplotách křehké, a proto se nesmí pokládat při teplotách pod 0°C. Vyžaduje podkladní lože a obsyp z jemnozrnného materiálu. [3]

TRUBKA PVC



Objednací kód	Systémový kód	DN	délka	d _n	e _n	d _i	KT	da	kg/m
3295220101	080PN10/6	80	6000	90	4,3	83,0	108	118	1,6
3295220102	100PN10/6	100	6000	110	4,2	101,4	115	142	2,0
☒	125PN10/6	125	6000	140	5,4	129,2	124	175,5	3,9
3295220103	150PN10/6	150	6000	160	6,2	147,6	132	200	4,2
3295220104	200PN10/6	200	6000	225	8,6	207,6	152	277	8,2
☒	250PN10/6	250	6000	280	10,7	258,4	170	342	11,3
3295220105	300PN10/6	300	6000	315	12,1	290,6	180	384	16,1



Obrázek 122: Příklad vyráběných světlostí potrubí z PVC výstřižek z katalogu firmy PIPELIFE CZECH s.r.o. [43]

Polypropylén PP

PP je pružný a houževnatý lze jej používat při širokém rozsahu teplot nekřehne ani při – 20°C a lze jej použít i pro teplou vodu. Nepodléhá otěru, má velice dobrou životnost a korozivzdornost. [3] [17]

PP se používá zejména pro vnitřní rozvody vody. [45]



Trubka Wavin PP-RCT Basalt Clima 20 – 25 mm S 4 / SDR 9, PN 22 (výpočet), (dříve FIBER BASALT CLIMA)

D	D _t	t	l	Balení	Váha	KÓD
mm	mm	mm	mm	m	kg/m	
20	15,4	2,3	4 000	100	0,128	STRFBC020TRCT
25	19,4	2,8	4 000	60	0,199	STRFBC025TRCT

Trubka Wavin PP-RCT Basalt Clima 32 – 125 mm S 5 / SDR 11, PN 18 (výpočet), (dříve FIBER BASALT CLIMA)

32	26,2	2,9	4 000	40	0,269	STRFBC032TRCT
40	32,6	3,7	4 000	24	0,428	STRFBC040TRCT
50	40,8	4,6	4 000	16	0,664	STRFBC050TRCT
63	51,4	5,8	4 000	12	1,050	STRFBC063TRCT
75*	61,4	6,8	4 000	8	1,501	STRFBC075TRCT
90*	73,6	8,2	4 000	4	2,122	STRFBC090TRCT
110*	90,0	10,0	4 000	4	3,160	STRFBC110TRCT
125*	102,2	11,4	4 000	4	4,082	STRFBC125TRCT

* výroba na zakázku, dodací lhůta 30 dnů

Trubky Wavin PP-RCT Basalt Clima jsou dle tloušťky stěny označeny třídou „S“. Zastaralé označování trubek „PN“ nelze pro nový materiál PP-RCT použít, neboť trubky z tohoto materiálu mají lepší provozní parametry (tlak, teplota, životnost) než trubky z PP-R.

Trubky Basalt Clima v šedé barvě budou k dispozici po vyprodání zásob v zelené barvě.

Obrázek 123: Obrázek 54: Obrázek 45: Příklad vyráběných světlostí potrubí z PP výstřižek z katalogu firmy Wavin Czechia s.r.o. [45]

Sklolaminát

Sklolaminát je kompozitní materiál skládající se ze skleněných vláken a plastové matrice (například epoxidové pryskyřice). Výhodami tohoto materiálu jsou vysoká pevnost a pružnost, vysoká odolnost vůči chemikáliím, UV záření a korozi (odolnost agresivních zemin, odolnost vůči bludným proudům, nevede elektrický proud) dále pak malá hydraulická drsnost, teplotní stabilita. [46] [17] [3]

Nevýhodou tohoto materiálu je potřeba použití přechodových kusů pro napojení armatur. [35]

Příklad vodovodních trub firmy Amiblu Germany GmbH je vidět na následujícím obrázku.



Obrázek 124: Trouby potrubí ze sklolaminátu [70]

Spojování trub je možné laminátovými násuvnými objímkami s pryžovými těsnícími kroužky, ocelovými spojovacími objímkami, nebo přírubovými spoji, příklad spoje je na následujícím pravém obrázku. Kromě typizovaných tvarovek je možné vyrábět i atypické tvarovky podle konkrétních požadavků, trouby lze také napojovat s vychýlením, čím lze snížit spotřebu tvarovek, tak jak je vidět na následujícím obrázku vlevo. [3] [17]



Obrázek 126: Zahýbání ve spojích [70]



Obrázek 125: Těsný spoj [70]

Například firma Amiblu Germany GmbH vyrábí sklolaminátové potrubí ve světlostech od světlostí 100 mm až po 4000 mm.



Von 100 mm bis 4000 mm

Obrázek 127: Světlosti potrubí ze sklolaminátu [70]

2.3.7 Vodovod pro požární účely

V případě, že má mít vodovod požární funkce, musí splňovat požadavky normy ČSN 73 0873 Požární bezpečnost stavby – Zásobování požární vodu. [47]

Plnicí místo, je místo, kde se nachází výtoková armatura na vnějším vodovodu umožňující plnění nádrží mobilní požární techniky. [47]

Odběrná místa jsou místa vhodná k odběru vody pro mobilní požární techniku. Podle umístění je dělíme na vnější a vnitřní. Dělení vnějších odběrných míst je následující: nadzemní a podzemní hydranty, požární výtokové stojany a plnicí místa, vodní toky (např. potok, řeka), přirozené a umělé nádrže na vodu (přehrady, požární nádrže, rybníky aj.). Následující tabulka udává maximální přípustné vzdálenosti mezi nimi: [47]

Tabulka 28: Největší vzdálenosti vnějších odběrných míst [47]

Číslo položky	Druh objektu a jeho mezní plocha požárního úseku S v m^2	Hydrant ⁴⁾	Výtokový stojan	Plnicí místo	Vodní tok nebo nádrž od objektu, v metrech
		Od objektu / mezi sebou, v metrech ³⁾			
1	Rodinné domy do zastavěné plochy $S \leq 200$ a nevýrobní objekty (kromě skladů) do plochy $S^{1)} \leq 120$	200/400 (300/500)	600 / 1 200	3 000 / 6 000	600
2	Nevýrobní objekty o ploše $120 < S^{1)} \leq 1 000$; výrobní objekty a sklady do plochy $S^{1)} \leq 500$; čerpací stanice kapalných a zkapalněných plyných pohonných hmot	150/300 (300/500)	600 / 1 200	2 500 / 5 000	600
3	Nevýrobní objekty o ploše $1 000 < S^{1)} \leq 2 000$; Výrobní objekty a sklady o ploše $500 < S^{1)} \leq 1 500$; otevřená technologická zařízení do plochy $S^{1)} \leq 1 500$	150/300 (250/450)	500 / 1 000	2 000 / 4 000	500
4	Nevýrobní objekty o ploše $S^{1)} > 2 000$; Výrobní objekty, sklady a otevřená technologická zařízení o ploše $S^{1)} > 1 500$	100/200 (200/350)	400 / 800	1 500 / 3 000	400
5	Objekty s vysokým požárním zatížením ²⁾ ($p > 120 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$) a současně s plochou $S^{1)} > 2500$	100/200 (200/350)	300 / 600	1 000 / 2 000	300

1) Plocha S v m^2 představuje plochu požárního úseku (u vícepodlažních požárních úseků je dána součtem ploch užitných podlaží).
2) U položek 1 až 4 se nemusí k požárnímu zatížení přihlížet.
3) Bez dalšího průkazu (např. analýzou zdolávání požáru, dle přílohy B) nesmí být u dispozičně rozlehlých objektů vnější odběrná místa vzdálena od všech míst, kde existuje možnost hoření požárního zatížení, více než 600 m.
4) Hodnota v závorce musí být prokázána analýzou zdolávání požáru (viz přílohu B)

Nadzemní i podzemní hydranty, požární výtakové stojany i plnicí místa se doporučuje osazovat na zokruhované vodovodní síť. Nejnižší požadovaný tlak na nejhůře situovaném hydrantu je 0,2 MPa. Pokud nejsou tyto odběrná místa trvale zavodněna, měla by být umístěna do vzdálenosti 20 m od zavodněného přívodního potrubí. [47]

Nadzemní i podzemní hydranty se osazují na vodovodní potrubí, jehož nejmenší světlost je určena podle normy níže uvedenou tabulkou. Tabulka také určuje doporučené odběry pro výpočet sítě a nejmenší odběr jaký má být při připojení mobilní požární techniky, ze které se mimo jiné odvíjí výpočet požárního objemu vody ve vodojemu. [47]

Tabulka 29: Hodnoty nejmenší dimenze potrubí, odběru vody pro hydranty y a obsahu nádrže [47]

Číslo položky	Druh objektu a jeho mezní plocha požárního úseku S v m^2	Potrubí DN v mm	Odběr Q ($l \cdot s^{-1}$) pro $v = 0,8 \text{ m} \cdot s^{-1}$ (doporučená rychlost)	Odběr Q ($l \cdot s^{-1}$) pro $v = 1,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$ (s požárním čerpadlem) ³⁾	Obsah nádrže požární vody v m^3
1	Rodinné domy do zastavěné plochy $S \leq 200$ a nevýrobní objekty (kromě skladů) do plochy $S^{1)} \leq 120$	80	4	7,5	14
2	Nevýrobní objekty o ploše $120 < S^{1)} \leq 1\ 000$; výrobní objekty a sklady do plochy $S^{1)} \leq 500$; čerpací stanice kapalných a zkapalněných plyných pohonných hmot	100	6	12	22
3	Nevýrobní objekty o ploše $1\ 000 < S^{1)} \leq 2\ 000$; Výrobní objekty a sklady o ploše $500 < S^{1)} \leq 1\ 500$; otevřená technologická zařízení do plochy $S^{1)} \leq 1\ 500$	125	9,5	18	35
4	Nevýrobní objekty o ploše $S^{1)} > 2\ 000$; Výrobní objekty, sklady a otevřená technologická zařízení o ploše $S^{1)} > 1\ 500$	150	14	25	45
5	Objekty s vysokým požárním zatížením ²⁾ ($p > 120 \text{ kg} \cdot m^{-2}$) a současně s plochou $S^{1)} > 2\ 500$	200	25	40	72
¹⁾ Plocha S v m^2 představuje plochu požárního úseku (u vícepodlažních úseků je dána součtem ploch užitých podlaží). ²⁾ U položek 1 až 4 se nemusí k požárnímu zatížení přihlížet. ³⁾ U hasebnímu zásahu lze připojením mobilní techniky na hydrant překročit doporučenou rychlost proudění vody v potrubí ($v = 0,8 \text{ m} \cdot s^{-1}$) až na hodnotu $v = 2,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$, aby se zabránilo „kavitačnímu“ režimu při provozu požárního čerpadla vlivem zvýšených hydraulických ztrát byla pro účely této normy navržena nižší hodnota rychlosti, a to $v = 1,5 \text{ m} \cdot s^{-1}$.					

Nejmenší povolený odběr z požárního výtakového stojanu je $35 \text{ l} \cdot s^{-1}$. Nejmenší povolený odběr plnicích požárních míst činí $60 \text{ l} \cdot s^{-1}$.

2.4 Vodárenské výpočty

2.4.1 Potřeba vody

Je potřeba rozlišovat pojmy spotřeba a potřeba vody, ČSN 75 0150 Terminologie vodárenství je definuje následovně: [1]

- Potřeba vody je návrhová hodnota požadovaného množství vody za jednotku času. [1]
- Spotřeba vody je množství skutečně odebrané vody za určité časové období [1]
- Specifická potřeba je množství vody za jednotku času připadající na jednu jednotku (obyvatele, výrobek...). [1]

Potřeba vody je základním podkladem pro navrhování, případně rozšiřování každého vodovodu (vodovodní sítě, úpraven vod, vodojemů a ostatních objektů). Výpočtu musí předcházet podrobný průzkum zamýšleného spotřebiště jeho současného a odhadovaného budoucího stavu, v případě, že má obec schválený územní plán, je zapotřebí z něj vycházet, tedy zohlednit předpokládaný vývoj v příštích třiceti letech. [4] [3]

V případě, že se předpokládaná potřeba vody ukáže být nízká, vyvstávají dodatečné investice. V případě předimenzování vodovodu je cena vody neúměrně vysoká a dochází i k technickým problémům při provozu vodovodu: malým průtokovým rychlostem, dlouhé době zdržení vody v potrubí, snížení kvality vody apod. [4] [3]

Výpočet potřeby vody není v současnosti právními ani norami a jinými předpisy závazně stanoven. Dříve byla závazná dnes již neplatná Směrnice č. 9 vydaná v roce 1973, která díky tehdy státem významně dotované ceně vody vcházela ze současného pohledu vysokých nároků na vodu tedy specifické potřeby 280 litru na osobu a den , dnes se pohybuje v průměru kolem 80-120 l.ob.⁻¹d⁻¹. Dnes se pro výpočet potřeby vody v konkrétní oblasti doporučuje přednostně vycházet ze skutečných hodnot spotřeby vody v dané lokalitě a podpůrně vycházet z tzv. směrných čísel roční potřeby vody uvedených v příloze č. 12 vyhlášky č. 428/2001 Sb., i když je tato příloha prioritně určena k určení množství odebrané vody v případě že není osazen vodoměr a ne k výpočtu potřeby vody. [3] [4]

2.4.1.1 Výpočet potřeby vody

Celková potřeba pro zásobování oblasti vodou se vypočítá jako součet dílčích potřeb jednotlivých skupin odběratelů: obytné pásmo, zemědělství, průmysl, zásobování požární vodou. Při výpočtu potřeby vody je potřeba zohlednit ztráty vody.

Velikost ztrát vody, množství nefakturované vody, tedy množství vody uniklé a nevyužité za provozu, obsluhy a údržbě vodárenských objektů, případně odebrané ale nezjištěné (krádež vody nebo nepřesnost vodoměrů) se odhaduje na základě současného stavu sítě, stáří materiálu, geologických podmínek a současných úniků a podobně. Jeli potrubí ve vyhovujícím stavu pohybují se ztráty kolem 20 %. [35] [4]

Prvním krokem výpočet průměrné denní potřeby vody jednotlivých skupin. Druhé základní dva kroky vyplývají z toho, že potřeba vody je stejně jako odběry nerovnoměrná v čase. Mění se v průběhu hodin, dnů měsíců i roků. Pro navrhování a posuzování základních parametrů vodárenských soustav proto stanovujeme maximální denní potřebu vody a maximální hodinovou potřebu vody. [3] [4]

2.4.1.1.1 Skupiny odběratelů

- Protipožární potřeba vody – Podle ČSN 73 0873 viz výpočet objemu vodojemu.

- Obytné pásmo – Potřebu vody bytového fondu tvoří potřeba bytového fondu a občanská a technická vybavenost. [3]

Bytový fond

Potřeba bytového fondu je potřeba pokrývající přímou osobní spotřebu obyvatelstva, jedná se o vodu na pití, hygienu, vaření úklid a podobně. Výpočet je založen na specifické spotřebě vody na osobu v litrech za den. [3]

Občanská a technická vybavenost

Potřeba vody pro školství, služby, zdravotnictví, kulturu obchody, administrativu a podobně. [3]

- Zemědělství – Potřeba vody na živočišnou a rostlinou výrobu (závlahová voda) a provozní zařízení a personál. [3]

- Průmysl – Potřeba vody pro výrobní účely (tedy vlastní výrobu chlazení, údržbu apod). a personál. V průmyslových a ostatních provozech se počítá potřeba vody individuálně na základě podkladů poskytnutými jednotlivými odběrateli. Výpočet

potřeby vody pro personál podle Směrnice číslo 9/1973 závisí na počtu pracovníků, druhu provozu (špinavý/čistý), režimu výroby (třísměnný provoz...), přítomnosti nebo nepřítomnosti závodní kuchyně [3] [48]

2.4.1.1.2 Průměrná denní potřeba vody Q_p (l. den⁻¹)

Pro bytový fond:

$$Q_p = O \cdot q_s \quad (1)$$

- Kde: - q_i je specifická potřeba vody v litrech/(osobu a den)
 - O je počet obyvatel v bytech příslušné vybavenosti vycházející ze směrných čísel roční potřeby vody

Obdobou tohoto vzorce lze také vypočítat průměrnou denní potřebu vody občanské vybavenosti, kde je q_i je specifická potřeba příslušné vybavenosti v litrech /(jednotku a den) a místo O je ve vzorci P_i počet jednotek v příslušné kategorii (lůžek, zaměstnanců, pacientů a podobně).

Další variací tohoto vzorce lze vypočítat potřebu vody hospodářských zvířat, kde q_i je specifická potřeba zvířat příslušné kategorie a místo O je Z počet hospodářských zvířat dané kategorie. [3]

2.4.1.1.3 Maximální denní potřeba vody Q_m (l.den⁻¹; m³.den⁻¹)

Maximální denní potřeba vyjadřuje tzv. denní nerovnoměrnost, tedy rozdíly v potřebě v jednotlivých dnech, týdnech, měsících a letech. Na maximální denní potřebu vody se navrhují vodní zdroje, čepicí stanice, úpravny vod přiváděcí řady a vodojem. Maximální denní potřeba pro obyvatelstvo, občanskou vybavenost i drobné živnostenské provozovny a hospodářská zvířata se počítá: [3] [4]

$$Q_m = Q_p \cdot k_d \quad (2)$$

- Kde: - Q_p je průměrná potřeba vody vypočítaná výše uvedeným postupem
 - k_d je součinitel denní nerovnoměrnosti. Jeho hodnota závisí na počtu obyvatel ve spotřebišti. V tabulce dále jsou uvedeny hodnoty součinitele denní nerovnoměrnosti doporučené empiricky stanovené a také často se vyskytující hodnoty tohoto součinitele podle staré Směrnice č. 9/1973. [3] [49]

Tabulka 30: Součinitel denní nerovnoměrnosti [49]

Doporučené (empirické) hodnoty		Směrnice č. 9/1973	
Velikost spotřebiště (počet obyvatel)	k_d	Velikost spotřebiště (počet obyvatel)	k_d
do 500	1,50	do 1 000	1,50
500 - 2 000	1,35	1 000 – 5 000	1,40
2 000 - 20 000	1,30	5 000 – 20 000	1,35
20 000 - 1 mil.	1,25	20 000 – 100 000	1,25
nad 1 mil.	1,20	nad 100 000	1,15

2.4.1.1.4 Maximální hodinová potřeba vody Q_h (l. hod⁻¹; m³.hod⁻¹)

Maximální hodinová potřeba vody vyjadřuje tzv. hodinovou nerovnoměrnost, tedy rozdíly v potřebě v jednotlivých hodinách. Na maximální hodinovou potřebu vody se navrhuje zásobovací řady z vodojemu do spotřebiště a automatické čerpací stanice a rozvodná vodovodní síť ve spotřebišti. Maximální hodinová potřeba pro obyvatelstvo, občanskou vybavenost i drobné živnostenské provozovny a hospodářská zvířata se počítá. [3] [4] [2]

$$Q_h = \frac{Q_m \cdot k_h}{24} \quad (3)$$

Kde: - Q_m je maximální denní potřeba vody vypočítaná výše uvedeným postupem

- k_h je součinitel hodinové nerovnoměrnosti. Hodnoty k_h se určují na základě charakteru zástavby u spotřebišť sídlištního typu se používá 2,1 u spotřebišť nesídlištního typu 1,8.

Pro získání standartního časového průběhu potřeby vody v jednotlivých hodinách během dne se používají hodnoty uvedené v procentech v následující tabulce odpovídající příslušnému k_h . Pro získání maximální standartní hodinové potřeby dané hodiny je tedy potřeba vynásobit Q_m s hodnotou k_h pro danou hodinu a vydělit stem. [3] [49]

Tabulka 31: Průběh potřeby vody v procentech z celodenní potřeby podle Směrnice č. 9/1973 [48]

Hodina	Součinitel k_h		Hodina	Součinitel k_h	
	1,8	2,1		1,8	2,1
0 - 1	1,0	1,6	12 - 13	5,0	4,6
1 - 2	0,7	1,5	13 - 14	5,0	4,8
2 - 3	0,7	1,5	14 - 15	4,0	4,6
3 - 4	0,7	1,5	15 - 16	5,0	4,6
4 - 5	2,0	3,0	16 - 17	5,0	4,6
5 - 6	3,0	4,2	17 - 18	6,0	5,0
6 - 7	5,0	5,0	18 - 19	6,5	6,5
7 - 8	6,4	5,0	19 - 20	7,5	8,8
8 - 9	4,5	5,0	20 - 21	5,0	5,0
9 - 10	5,5	4,6	21 - 22	5,0	4,6
10 - 11	5,5	4,2	22 - 23	4,0	3,2
11 - 12	5,5	4,6	23 - 24	1,5	2,0

2.4.2 Objem vodojemu

Celkový objem vodojemu se skládá z využitelného a nevyužitého objemu. Využitelný objem vody ve vodojemu se navrhuje jako součet dílčích potřebných objemů.

U zásobních vodojemů se využitelný objem zásobního vodojemu se obvykle navrhuje na 60 % - 80 % maximální denní potřeby vody pro zásobovací pásmo.

Zemní vodojemy se doporučuje navrhovat ve standartních velikostech podle následující tabulky. [19] [2] [18]

Tabulka 32 : Velikostní řada objemu zemních vodojemů [18]

15 m ³	2 × 250 m ³ = 500 m ³
2 × 15 m ³ = 30 m ³	2 × 400 m ³ = 800 m ³
2 × 25 m ³ = 50 m ³	2 × 650 m ³ = 1 300 m ³
2 × 50 m ³ = 100 m ³	2 × 1 000 m ³ = 2 000 m ³
2 × 100 m ³ = 200 m ³	2 × 1 500 m ³ = 3 000 m ³
2 × 150 m ³ = 300 m ³	2 × 2 500 m ³ = 5 000 m ³

2.4.2.1 Provozní zásoba vody

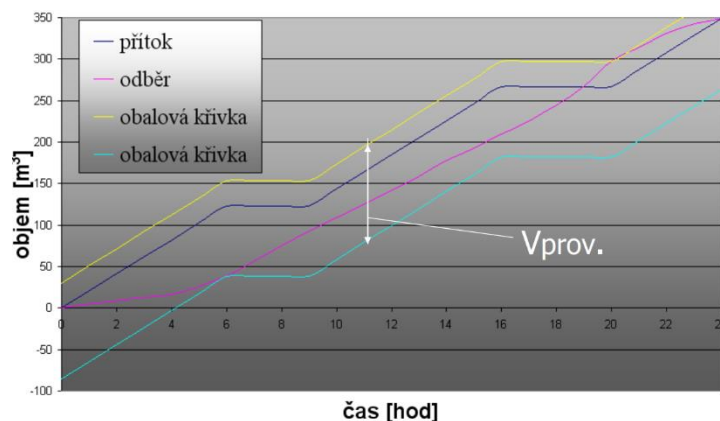
Provozní zásoba vody je množství vody z využitelného objemu vodojemu, které je určeno k pokrytí nerovnoměrnosti mezi přítokem a odběrem vody z vodojemu. [1]

Přítoky do vodojemu jsou rovnoměrné. Dílčí přítok do vodojemu v jednotlivých hodinách se získá vydělením maximální denní potřeby vody navrhovanou dobou plnění. Běžně se gravitačně plněné vodojemy navrhují na kontinuální dvacet čtyřhodinové plnění a vodojemy plněné čerpáním se navrhují na plnění po dobu cca sedmnácti hodin. [4] [2]

Výpočtem se provozní zásoba vody vodojemu tedy stanovuje na základě známého průběhu přítoku a odběru, tj. přítékajících a odtékajících objemů vody v jednotlivých hodinách dne. Spočítá se rozdíl mezi přítokem a odtokem, čím se dostanou přebytky a nedostatky objemu, následně se udělá součtová čára tohoto rozdílu. Součet absolutních hodnot maximální kladné hodnoty a minimální záporné hodnoty této součtové čáry tvoří potřebný objem provozní zásoby vody vodojemu. [2]

Graficky je možné stanovit provozní zásobní objem vodojemu tak, že do grafu závislosti objemu (svislá osa) na čase (vodorovná osa) se zakreslí obalové křivky součtové čáry přítoku a součtové čáry odběru vody. Horní obalová křivka je součtová čára přítoku, ke které je přičtený maximální rozdíl součtové čáry přítoku od součtové čáry odběru. Spodní obalová křivka je součtová čára přítoku, od které je odečtena maximální hodnota rozdílu součtové čáry odběru od součtové čáry přítoku. Rozdíl objemů (délka svislé spojce) těchto obalových křivek udává hodnotu hledaného

provozního zásobního objemu vodojemu, příklad grafického znázornění potřebného provozního objemu vodojemu je vidět na obrázku níže. [50]



Obrázek 128: Graf grafické stanovení provozního objemu vodojemu [50]

2.4.2.2 Požární zásoba vody

Požární zásoba vody je množství vody z využitelného objemu vodojemu určené výhradně pro účely požární ochrany. [2] [1]

Požární potřeba vody q_p ($l \cdot s^{-1}$) je uvedena v závislosti na typu zástavby ve spotřebišti v tabulce normy ČSN 73 0873, která je zde uvedena jako Tabulka 29. Hodnoty nejmenší dimenze potrubí, odběru vody pro hydranty a obsahu nádrže ve sloupci odběr vody s požární technikou. Dále je pro výpočet potřeba znát návrhovou dobu trvání požáru (hod.) a počet odběrných míst ve spotřebišti, pak lze následujícím vzorcem určit potřebný objem požární zásoby vody $V_{poz.}(m^3)$: [47] [2] [50]

$$V_{poz.} = 3,6 \cdot q_p \cdot n \cdot t \quad (4)$$

2.4.2.3 Poruchová zásoba vody

Povrchová zásoba vody je množství vody z využitelného objemu vodojemu určené pro zajištění nepřerušování odtoku z vodojemu po dobu uvažované poruchy na přítoku do vodojemu. [1]

Objem poruchové zásoby vody $V_{por.}$ je možné počítat po výpočtu ostatních potřebných objemů jako zbývající objem do 60 % - 80 % maximální denní potřeby, nebo vzorcem na základě maximální denní potřeby vody Q_{maxd} a předpokládané doby nutné na opravu poruchy před vodojemem T (hod.): [50]

$$V_{por} = \frac{T}{24} \cdot Q_{maxd} \quad (5)$$

2.4.3 Základní hydraulické výpočty tlakového proudění v potrubí

Základní výpočetní přístupy používané ve vodohospodářské praxi za předpokladu ustáleného tlakového proudění v potrubí (tedy průtok, rychlost a ostatní veličiny nejsou funkcemi času, průtočná plocha je dána plochou příčného řezu uvnitř potrubí – potrubí je zcela zaplněno tekutinou), vychází se současné platnosti zákona zachování mechanické energie a zákona zachování hmoty. Tento základní výpočetní přístup nahlíží na proudění jako na jednorozměrný problém, kdy dominantní směr proudění je směr osy potrubí. [37] [8]

2.4.3.1 Rovnice spojitosti (zákon zachování hmoty)

Rovnice spojitosti (kontinuity) pro ustálené proudění kapaliny v úseku mezi dvěma profily za předpokladu, že kapalina je nestlačitelná a na úseku se nenachází ani odběr ani přítok kapaliny, zní: [8]

$$Q_1 = Q_2 = v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 \quad (6)$$

Kde: Q je objemový průtok kapaliny ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)

v je průřezová rychlost ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$)

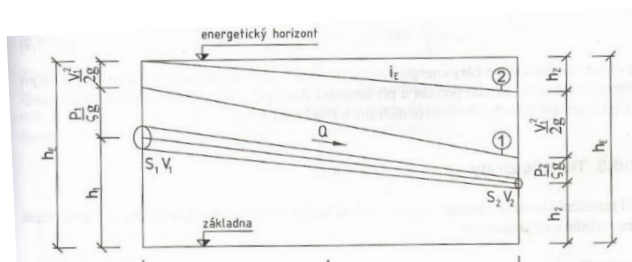
S je průtočná plocha (m^2)

2.4.3.2 Bernoulliho rovnice (zákon zachování mechanické energie)

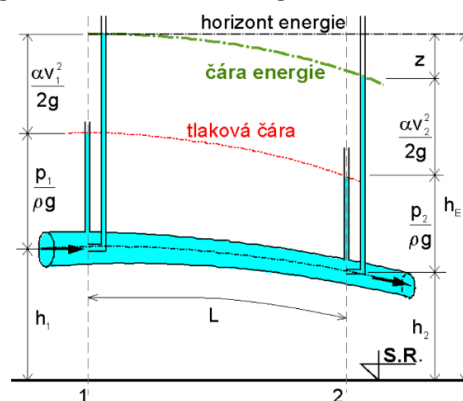
Bernoulliho rovnice proudění skutečné kapaliny, tedy kapaliny s nenulovou viskozitou, ve výškovém tvaru (všechny členy jsou uvedeny v metrech vodního sloupce (m v. s.), zní: [8]

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} + Z \quad (7)$$

Kde: p je tlak kapaliny v potrubí, Z je ztrátová výška na úseku, H je polohová výška příčného profilu nad srovnávací hladinou, $\frac{p_1}{\rho \cdot g}$ je tlaková výška, $\frac{\alpha \cdot v^2}{2 \cdot g}$ je rychlostní výška



Obrázek 129: Ustálené proudění mezi body A a B [3]



Obrázek 130: Ustálené tlakové proudění mezi body 1 a 2 [37]

Při běžných výpočtech se neuvažuje rozdělení rychlosti v průřezu potrubí a navrhuje se na střední průřezovou rychlost v , rychlost se v Bernoulliho rovnici vyskytuje ve druhé mocnině, což zvyšuje chybu, kterou tímto zjednodušením zavádíme, aby se dopad této úpravy snížil, tak se někdy vynásobuje takzvaným Coriollsovým číslem α . Při proudění s vysokým stupněm turbulence se hodnota tohoto součinitele pohybuje kolem hodnoty 1,05. [37]

2.4.3.2.1 Vypočet tlakových ztrát

Hydraulickou ztrátu (m v. s.), ztrátovou výšku v úseku mezi dvěma profily lze vyjádřit z Bernoulliho rovnice takto: [51]

$$Z = \left(h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right) - \left(h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \right) \quad (8)$$

Základním způsobem výpočtu tlakových ztrát na úseku potrubí je prostý součet všech dílčích ztrát místních a třením: [51]

$$Z = Z_m + Z_t \quad (9)$$

- **Ztráty třením**

Ztráty třením jsou ztráty mechanické energie vody (zahřívání) způsobeny vnitřními silami v proudící vazké tekutině a tečným napětím u tuhé stěny potrubí, tedy třením mezi jednotlivými vrstvami vazké tekutiny a třením o stěnu. Vznikají po celé délce proudu, z čehož vyplývá, že jsou přímo úměrné délce proudu. Jsou tím větší čím rychleji se voda v potrubí pohybuje. Pro výpočet ztrát třením se nejčastěji používá Darcy-Weisbechova rovnice: [51] [52] [8]

$$Z_t = i_E \cdot L = \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (10)$$

Kde: Z_t jsou ztráty třením

L je délka úseku

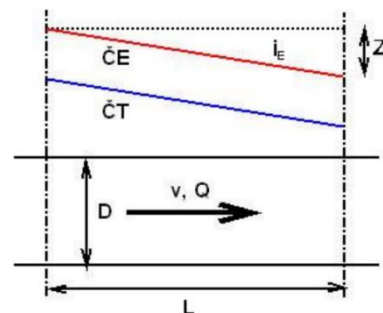
i_E je sklon čáry energie

D je vnitřní průměr potrubí

v je střední průřezová rychlost tekutiny

g je tíhové zrychlení

λ je součinitel ztrát třením



Obrázek 131: Grafické znázornění čáry energie a ztráty [37]

Reynoldsovo číslo

Třetí bezrozměrné Reynoldsovo číslo slouží jako kritérium pro rozdělení laminárního a turbulentního proudění a je zavedeno jako: [51] [52]

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (11)$$

Kde: V je střední průřezová rychlost tekutiny ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)

D vnitřní průměr potrubí (m)

ν kinematická viskozita vody ($\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$). Níže uvedena tabulka hodnot kinematické viskozity.

Tabulka 33: Úryvek z tabulky kinematická viskozita vody v závislosti na teplotě T při tlaku 0,0981 MPa. [51]

T ($^{\circ}\text{C}$)	0	10	20	30
$10^6 \nu$ ($\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$)	1,792	1,306	1,006	0,805

Drsnost

V literatuře neexistuje jednotná terminologie, kterou se označují různé typy drsnosti. [51] [37]

Absolutní drsnost

Absolutní drsnost Δ je výška výstupku nerovnoměrnosti vnitřního povrchu potrubí závisí na velikosti i rozmístění těchto výstupů, udává se v metrech nebo milimetrech. Pouze u geometricky homogenních povrchů s umělou drsností je tato hodnota zcela jednoznačná. [51] [37]

Hydraulická drsnost

Povrch běžných technicky vyráběných potrubí je nehomogenní. Hydraulická drsnost Δ je velikost výstupku umělé pískové drsnosti udávána v milimetrech nebo metrech, která byla pomocí srovnávacích pokusů v hydraulických laboratořích, danému materiálu přiřazena. Hydraulické drsnosti technicky vyráběných potrubí jsou uvedeny v tabulce na následující stráně. [37] [51]

Relativní drsnost

Hydraulická ani absolutní drsnost nevystihují přímo vliv charakteru poruchu na součinitel ztrát třením, proto se zavádí drsnost relativní, nejčastěji jako podíl hydraulické drsnosti (absolutní drsnosti) ku vnitřnímu průměru potrubí tedy Δ/D . [37] [51]

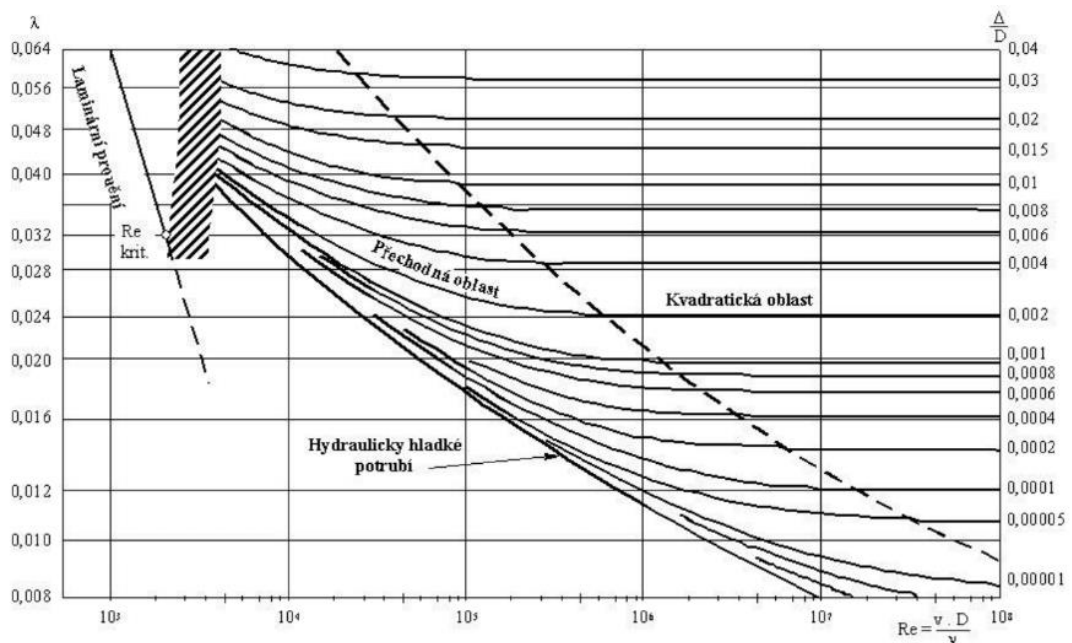
Tabulka 34: Hydraulická drsnost Δ pro technicky vyráběná potrubí [37]

Druh potrubí	Stav potrubí	Δ [mm]
azbestocementové	nové po použití	0.5 1
ocelové bezešvé	nové po použití po delším provozu	0.01-0.02 0.15 0.3
ocelové svařované	nové mírně zrezivělé silně zrezivělé	0.03-0.1 0.3-0.7 2-4
litinové	nové po použití silně zrezivělé	0.01-0.16 0.5-1.5 2-3
plastové (PVC, PE)	nové po delším provozu	0.001-0.003 0.01-0.015
betonové	nové po delším provozu	0.15-0.5 1-3

Součinitel ztrát třením

Součinitel ztrát třením je obecně závislý na Reynoldsově čísle Re (-) a relativní drsnosti potrubí Δ/D (-). [51]

Graficky závislost těchto dvou veličin u technického potrubí vyjadřuje Moodyho diagram. Přesněji lze získat součinitel ztrát třením z empirických vzorců, jejich oblast použití je ovšem vždy omezená pouze na konkrétní hydraulickou oblast proudění vyplývající z rozsahu provedených experimentů [37] [51]



Obrázek 132: Moodyho diagram [37]

Pro určení, do jaké oblasti proudění patří je možné použít empirické vzorce nebo přímo Moodyho diagram. Rozlišujeme pět odlišných oblastí proudění: [37] [51]

-Lineární oblast

Lineární oblast odpovídá laminárnímu proudění, tedy pomalému proudění vody, při kterém si částice vody vzájemně nekříží dráhy a nedochází ke vzniku vírů. λ závisí pouze na Re . V Moodyho diagramu je znázorněna klesající přímkou danou rovnicí: [51] [8]

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (12)$$

-Kritická (přechodná) oblast

V kritická oblasti je oblast přechodu laminárního a turbulentního proudění. λ závisí pouze na Re , ale kvůli nestabilitě režimu proudění se tato závislost nedá vystihnout žádnou rovnicí. Kritická oblast se nachází mezi $Re \approx 2300$ až $Re \approx 4000$ až 5000 . [51]

Při turbulentním proudění dochází ke křížení drah částic vody a vzniku vírů:

-Hydraulicky hladké potrubí

Pojem hydraulicky hladké potrubí nevyjadřuje stálou vlastnost určitého potrubí, potrubí může být pro malých rychlostech hydraulicky hladké a při vysokých rychlostech tedy při vysokém Re hydraulicky drsné. [51]

V případě hydraulicky hladkého potrubí lze vzhledem k relativní malé výšce výstupků uvažovat závislost λ na Δ/D za zanedbatelnou. Obecně lze jako hydraulicky hladká potrubí uvažovat potrubí vyráběná jako „technicky hladká“, jedná se o materiály jako například sklo, mosaz, měď hliník nebo plasty. [37]

Tabulka 35: Empirické rovnice pro hydraulicky hladké potrubí [37]

autor	rovnice	platnost
Blasius	$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}}$	$4 \cdot 10^3 < Re < 10^5$
Prandtl-Kármán	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 2 \cdot \log(Re \cdot \sqrt{\lambda}) - 0.8$	$4 \cdot 10^3 < Re < 10^8$
Altšul	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = 1.82 \cdot \log \frac{Re}{100} + 2$	$2.5 \cdot 10^3 < Re < 10^{12}$
Konakov	$\lambda = \frac{1}{(1.8 \cdot Re - 1.5)^2}$	$4 \cdot 10^3 < Re < 10^5$

Přechodná oblast

Proudění v režimu přechodné oblasti je v praxi přepravování kapalin potrubím za běžných provozních podmínek zejména díky používaným rychlostem velice časté. V přechodné oblasti je součinitel ztrát třením výrazně závislý jak na hydraulické drsnosti, tak na Reynoldsově čísle, vztahy vyjadřující λ jsou tedy zde nejsložitější. [37] [51]

Tabulka 36: Empirické rovnice pro přechodnou oblast turbulentního proudění [37]

autor	rovnice	platnost
El-Abdala	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left[\frac{6.524}{\text{Re}^{0.908}} + \frac{\Delta}{3.71 \cdot D} \right]$	$10^4 < \text{Re} < 10^8$ $10^{-5} < \Delta/d < 10^{-1}$
Haaland	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -1.8 \cdot \log \left[\frac{6.9}{\text{Re}} + \left(\frac{\Delta}{3.71 \cdot D} \right)^{1.11} \right]$	$4 \cdot 10^4 < \text{Re} < 10^8$ $\Delta/d < 10^{-2}$
Moody	$\lambda = 0.0053 \cdot \left[1 + \left(20000 \cdot \frac{\Delta}{D} + \frac{10^6}{\text{Re}} \right)^{1/3} \right]$	$4 \cdot 10^3 < \text{Re} < 10^7$ $\Delta/d < 10^{-1}$

Kvadratická oblast

Kvadratická oblast je oblast hydraulicky drsného potrubí. V této oblasti je zanedbatelný vliv Re čísla, rychlosti, součinitel ztrát tření je tedy závislý pouze na drsnosti potrubí. [37]

Tabulka 37: Empirické rovnice pro kvadratickou oblast ztrát třením [37]

autor	rovnice	platnost
Nikuradse	$\lambda = \left(2 \cdot \log \frac{r_0}{\Delta} + 1.74 \right)^{-2}$	$\text{Re} > 4 \cdot 10^3$
Šifrinson	$\lambda = 0.11 \cdot \left(\frac{\Delta}{D} \right)^{0.25}$	$10^4 < \text{Re} < 10^8$ $10^{-5} < \Delta/d < 10^{-1}$

Některé empirické rovnice mají širší rozsah platnosti než pouze jednu oblast:

Tabulka 38: Empirické rovnice s širším rozsahem platnosti [37]

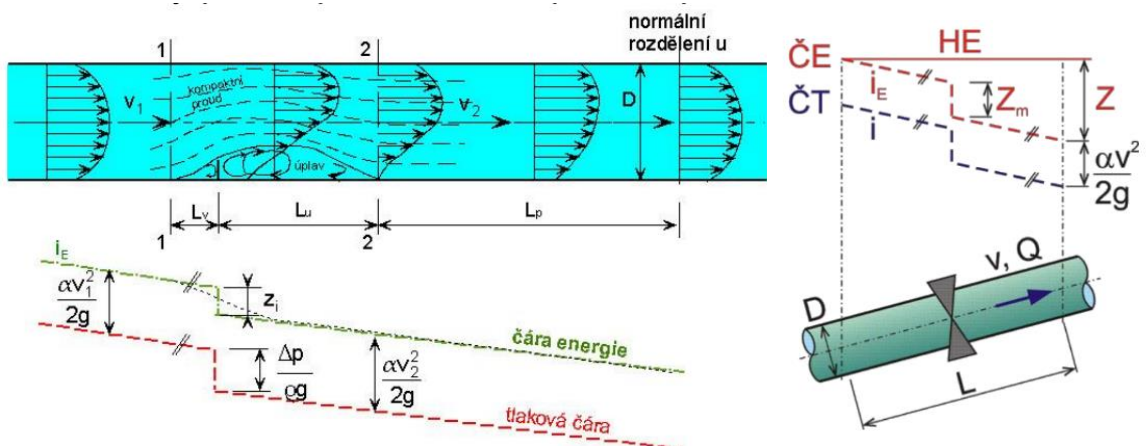
autor	rovnice	platnost
Colebrook-White	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left[\frac{2.51}{\text{Re} \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3.71 \cdot D} \right]$	$\text{Re} > 4 \cdot 10^3$
Frenkel	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left[\left(\frac{6.81}{\text{Re}} \right)^{0.9} + \frac{\Delta}{3.7 \cdot D} \right]$	$\text{Re} > 4 \cdot 10^3$
Altšul	$\lambda = 0.11 \cdot \left[\frac{68}{\text{Re}} + \frac{\Delta}{D} \right]^{0.25}$	$\text{Re} > 4 \cdot 10^3$

- **Místní ztráty**

Místní ztráty jsou ztráty mechanické energie (zahřívání) vody v armaturách, tvarovkách a dalších částech potrubí, v nichž se mění velikost nebo směr rychlosti proudění. Dochází ke zvýšenému kolísání a tlaku, tedy odtrhávání proudu od stěn potrubí, zvýšeným turbulencím proudění, vznikům úplavů doprovázených podtlaky, případně následnými kavitacemi. Úbytek mechanické energie se zvěštuje s nárůstem kinetické energie proudící vody, proto se místní ztráta vyjadřuje jako součin rychlostní výšky vody $\frac{v^2}{2 \cdot g}$ v potrubí a součinitele místních ztrát ξ : [51] [37] [8]

$$Z_m = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (13)$$

Místní tlaková ztráta se v praxi vždy započítává jako skokový pokles tlakové a energetické čáry, ve skutečnosti ale propaguje postupně na úseku, jehož délka závisí na druhu místní ztráty a Reynoldsově čísle, řádově bývá tento úsek deseti až sto násobek průměru potrubí, a skládá se ze tří částí: začíná vstupním úsekem, kde se rychlostní pole deformuje ještě před překážkou, pak následuje hlavní část, kde dochází ke vzniku úplavů a poslední část je úsek, kde se rychlostní pole postupně vyrovnává. [51] [37] [8]



Obrázek 134: Vliv překážky v přímém potrubí na proudění [37]

Obrázek 133: Místní ztráta [8]

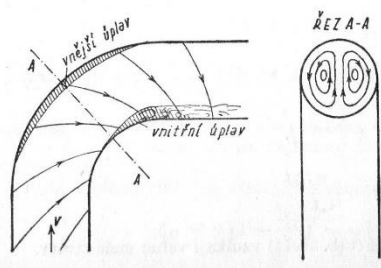
Někdy je možné pro účely zjednodušení výpočtu celkových tlakových ztrát v potrubí použít takzvanou náhradní délku. Náhradní délka je délka, která se při výpočtu přidá ke skutečné délce potrubí a umožní tak přibližně zavést do výpočtu vliv ztrát na armaturách tvarovkách a podobně bez započítání jednotlivých místních ztrát. [25]

V přívodním řadu a v hlavních rozváděcích řadech vodovodní sítě z pravidla nejsou místní ztráty významné a často se uvažují jako 5-20 % ztrát třením. [51]

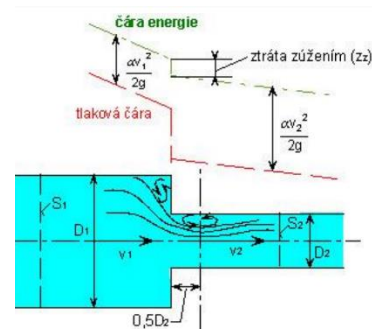
Součinitel místní ztráty

Součinitel, popřípadě koeficient, místní ztráty ξ , je výhradně experimentálně stanovená hodnota, vystihující charakter místní tlakové ztráty konkrétní armatury nebo tvarovky. Jak již bylo řečeno samotná hodnota místní ztráty na konkrétní tvarovce nebo armatuře se získá vynásobením tohoto součinitele s rychlostní výškou. [51] [37] [8]

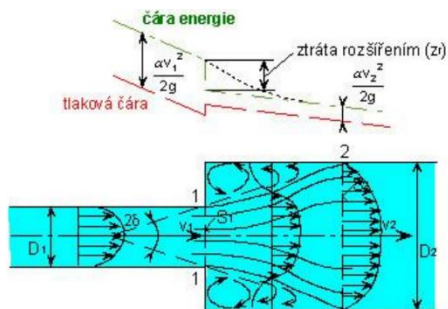
Na následující obrázcích jsou vidět typické charaktery úplavů v koleni, v případě náhlého zúžení a rozšíření a v tvarovce typu T, kdy většina vody zatačí a kdy protéká pouze rovně.



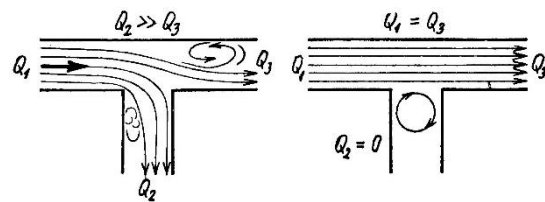
Obrázek 135: Odtržení proudu a příčné proudění v koleni [51]



Obrázek 136: Schéma proudění v náhlém zúžení [37]



Obrázek 138: Schéma proudění v náhlém rozšíření [37]



Obrázek 137: schéma proudění v tvarovce

Dále jsou uvedeny tabulky součinitelů místních ztrát, které jsou v praktické části práce použity pro výpočet.

Následující tabulka udává součinitel místní ztráty otevřeného šoupátkového uzávěru při stoprocentním otevření a tvarovek typu T.

Tabulka 39: Součinitel místní ztráty – Výřez z tabulky uživatelského manuálu programu Epanet [61]

FITTING	LOSS COEFFICIENT
Gate valve, fully open	0.2
Standard tee - flow through run	0.6
Standard tee - flow through branch	1.8
Exit	1.0

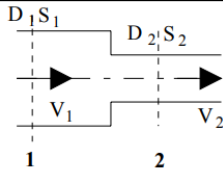
Ztráty změnou směru udává následující tabulka, a to tabulka součinitele místní ztráty v kolně podle Thomy. V ní uvedené hodnoty jsou stanové pro proudění s $Re \geq 2 \cdot 10^5$. [51]

Tabulka 40: Součinitel místní ztráty v koleně podle Thomy ($Re \geq 2 \cdot 10^5$) [51]

$\delta(^{\circ})$	10	15	22,5	30	45	60	90
hladké ζ_s	0,034	0,042	0,066	0,130	0,236	0,471	1,129
drsnoé ζ_s	0,044	0,062	0,154	0,165	0,320	0,684	1,265

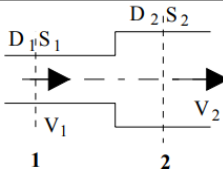
Následující tabulka udává součinitel místních ztrát pro náhlé zúžení průřezu potrubí podle Tullise.

Tabulka 41: Součinitel ztráty náhlým zúžením průřezu dle Tullise [69]

součinitel ζ_z vztažen k průměru D_2										
		0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
S_2 / S_1		0,95	0,89	0,83	0,775	0,71	0,63	0,55	0,45	0,32
D_2 / D_1		0,01	0,062	0,10	0,164	0,22	0,27	0,31	0,34	0,36

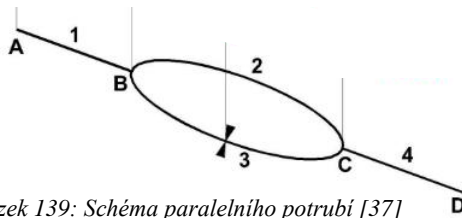
Další tabulka udává takzvanou Borovu ztrátu, tedy součinitel místní ztráty v potrubí v případě náhlého rozšíření.

Tabulka 42: Součinitel ztráty náhlým rozšířením průřezu K_r (Borova ztráta) [69]

součinitel ζ_r vztažen k průměru D_2										
		1,00	1,20	1,25	1,33	1,50	1,67	2,00	2,50	3,00
D_2 / D_1		1,00	1,44	1,56	1,78	2,25	2,78	4,00	6,25	9,00
S_2 / S_1		0,00	0,19	0,32	0,60	1,56	3,17	9,00	27,6	64,0

2.4.4 Paralelní potrubí

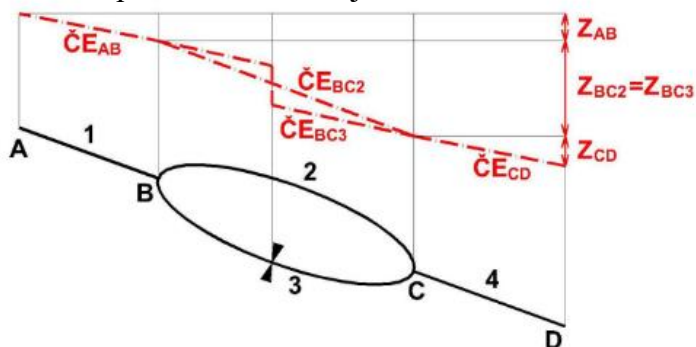
Výpočet paralelního potrubí vychází z uzlové průtokové podmínky a uzlové tlakové podmínky. [37] Následující obrázek znázorňuje schéma paralelního potrubí s označením jednotlivých větví pro zjednodušení popisu.



Obrázek 139: Schéma paralelního potrubí [37]

První podmínka je ve své podstatě uplatněním rovnice kontinuity: Součet všech přítoků a odtoků z uzlu musí být roven nule. Matematický zápis zní: $\sum Q_a = 0$ a $\sum Q_c = 0$ přeneseně na průtok větví se jedná o rovnici: $Q_1 = Q_2 + Q_3 = Q_4$ [37]

Druhá podmínka je tlaková. V jednom bodě potrubí je jeden tlak. Začínají a končí potrubí ve stejných bodech, začínají a končí čáry energie taktéž ve stejných bodech, z čehož vyplývá, že ztráty na dvou paralelních větvích potrubí se rovnají. Matematicky lze toto zapsat jako $\sum Z_3 = \sum Z_2$. [37] Rovnost tlaků je vidět z tlakové čáry schématicky znázorněného potrubí na následujícím obrázku.



Obrázek 140: Schéma paralelního potrubí – tlaková čára a ztráty [37]

Na základě rovnice kontinuity, Bernoulliho rovnice, Darcy-Weisbechova rovnice a výše uvedené rovnosti ztrát se průtok do jednotlivých rozdělení větví rozdělí na základě následujících pravidel:

Průtok větví je tím menší:

- čím menší má potrubí průměr (ovlivní na čtvrtou)
- čím delší úsek potrubí je (ovlivní lineárně)
- čím větší je součet místních ztrát na úseku se nacházejících, popřípadě čím je zavřenější uzávěr (ovlivní lineárně)
- čím větší je drsnost potrubí, míra ovlivnění (závisí na režimu proudění).

2.4.5 Čerpadla

2.4.5.1 Základní dělení čerpadel

Základní dělení čerpadel je podle principu jejich činnosti na hydrodynamická, hydrostatická a ostatní. [53]

2.4.5.1.1 Ostatní čerpadla

Z této skupiny čerpadel se ve vodárenství uplatňuje mamutka, která se používá k čerpání sedimentů ze studní. [4]

2.4.5.1.2 Čerpadla hydrostatická (objemová)

Hydrostatická objemová čerpadla jsou čerpadla, ve kterých se přírůstek energie čerpané vody získá v ohraničeném pracovním prostoru střídavě zvětšujícím a zmenšujícím svůj objem tak, že se dosáhne určité hodnoty průtoku. Dochází k přímé přeměně mechanické energie na tlakovou energii, kdy mechanický tlak pohyblivé části čerpadla zvyšuje tlak v kapalině. Neberou-li se v úvahu ztráty přepraví na jednu otáčku vždy stejný objem kapaliny nezávisle na počtu otáček a dopravní výšce Regulace průtoku je možná změnou rychlosti pohybu pohyblivé části čerpadla. [54] [53]

Významné využití pístových hydrostatických čerpadel ve vodárenství představuje dávkovací technika v úpravnách. Dávkují se jimi koagulanty a dezinfekční činidla. [2] [4]

2.4.5.1.3 Čerpadla hydrodynamická (odstředivá)

Pro vodárenství nejvýznamnější skupinou jsou odstředivá čerpadla, které se používají pro dopravování vody v čepicích stáních a u čerpadel používající se pro odběr vody ze studní. [4]

Odstředivá čerpadla jsou rotační stroje, u kterých se přírůstku energie čerpané vody dosahuje v točivém oběžném kole. Voda probíhá spojitě v nepřetržitě proudě. Nepochází k přímé přeměně mechanické energie na tlakovou energii vody, nejprve se mechanická energie oběžného kola, mění na kinetickou energii vody, která se dále mění na energii tlakovou, proto mají hydrodynamická čerpadla nižší účinnost než čerpadla hydrostatická. Průtok lze regulovat změnou rychlosti rotující části, tedy regulací otáček čerpadla, nebo škrcením na výtok. Z energetického hlediska je efektivnější používat regulaci změnou otáček než škrcením na konci potrubí, při kterém se maří hodně dodávané energie. [4] [54] [53]

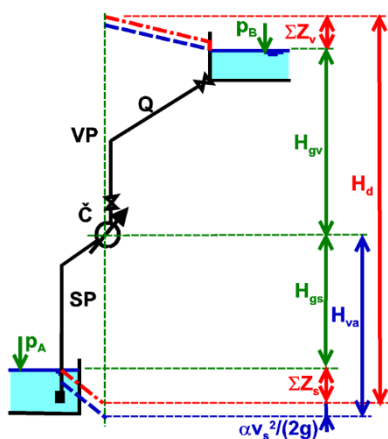
2.4.5.2 Základní princip čerpadla

Při dopravování vody do míst s vyšší geodetickou výškou je potřeba použít čerpadla. Existují čerpadla dvojího typu, ponorná čerpadla ve vodárenství často využívaná (například pro odběr vody ze studní...) a čerpadla neponorná (využití). Ponorná čerpadla se umísťují pod hladinou čerpané vody. Neponorná čerpadla mají sací potrubí (od nátoky k čerpadlu, geodetická sací výška H_{gs}) a výtlačné potrubí (od čerpadla po horní nádrž, geodetická výtlačná výška H_{gv}). Pro čerpadlo je základní veličinou čistý geodetický spád H_g : . [37] [4]

$$H_g = H_{gs} + H_{gv} \quad (14)$$

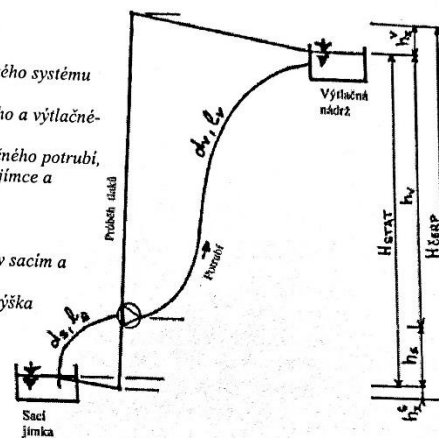
Ovšem zásadnější veličinou je takzvaná dopravní výška čerpadla H , která obsahuje nejen čistý geodetický spád, ale i všechny tlakové ztráty na trase. U sacího potrubí je vždy nutné započítávat $\sum Z_s$ ztráty třením a všechny místní ztráty (sací koš, zpětná klapka, kolena). U výtlačného potrubí je někdy potřeba započítat veškeré tlakové ztráty $\sum Z_v$, někdy je lze uvažovat jako dlouhé, tedy se někdy mohou místní ztráty na této větvi zanedbat. Schéma čerpadlové soustavy s neponorným čerpadlem znázorňují oba následující obrázky: [37]

$$H = H_{gs} + \sum Z_s + H_{gv} + \sum Z_v = H_g + \sum Z \quad (15)$$



Obrázek 142: Schéma systému s čerpadlem [8]

Obr. 7.4. Schéma hydraulického systému potrubí – čerpadlo.
 d_s, d_v – vnitřní průměr sacího a výtlačného potrubí,
 l_s, l_v – délka sacího a výtlačného potrubí,
 H_{STAT} – rozdíl hladin v sací jínce a výtlačné nádrži,
 h_s – sací výška,
 h_v – výtlačná výška,
 h_s', h_v' – hydraulické ztráty v sacím a výtlačném potrubí,
 $H_{ČERP}$ – celková dopravní výška



Obrázek 141: Schéma hydraulického systému potrubí - čerpadlo [4]

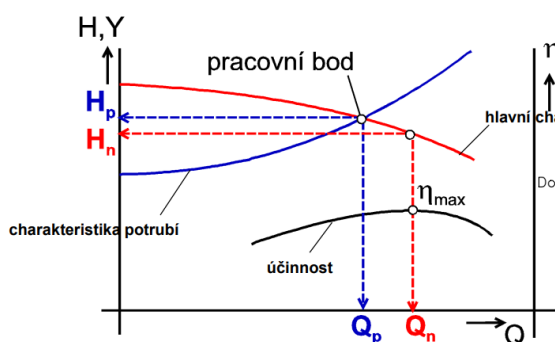
Při výpočtu potrubí s čerpadlem je nezbytné posouzení podtlaků. V praxi bývá řešeno výrobcem udávanou NPSH (čistou pozitivní sací výškou). Energetická vakuometrická výška H_{va} , graficky znázorněna na předchozím levém obrázku, by pro zajištěné hydraulické funkce měla být menší než 6–8 m. v. sl. [37]

2.4.5.3 Základní charakteristiky čerpadel

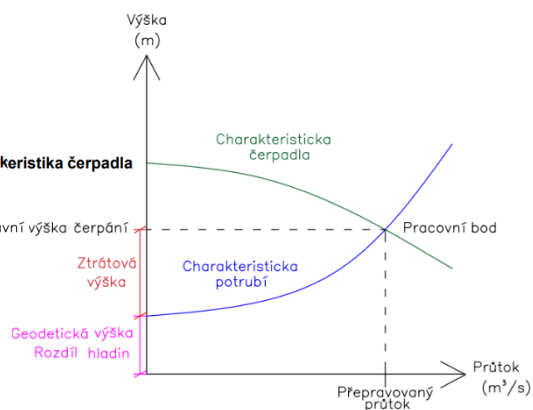
- Q-H křivka

Q-H křivka čerpadla je charakteristická závislostí průtoku a dopravní výšky čerpadla udávaná výrobcem.

Q-H graf umožňuje stanovení průtoku a dopravní výšky pro danou kombinaci potrubí a čerpadla. Takzvaný pracovní bod, tedy bod charakterizující situaci odpovídající průtok a dopravní výšku, se nachází na průsečíku charakteristiky (Q-H křivky) čerpadla a (Q-H křivky) potrubí. Obrázky níže graficky znázorňují princip Q-H grafu:



Obrázek 143: Pracovní bod soustavy: potrubí-čerpadlo [37]



Obrázek 144: Q-H graf

- Křivka účinnosti

Křivka účinnosti vyjadřuje závislost účinnosti čerpadla na jeho průtoku. Je možné zakreslit křivku účinnosti na vedlejší osu do Q-H grafu, tak jak je vidět na obrázku vlevo nad tímto odstavcem. Aby byl návrh čerpadla optimální, měl by se pracovní bod čerpadla (pracovní průtok) nacházet v blízkosti maximální účinnosti čerpadla. Účinnosti čerpadel se zpravidla pohybují v rozmezí od 0,3 až 0,9. [37]

- Křivka příkonů

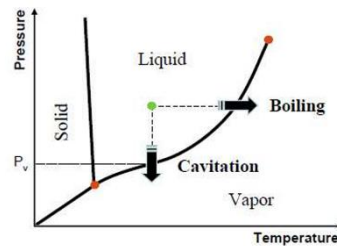
Příkon čerpadla P (W), je výkon čerpadla vydělený účinností čerpadla η (-). Výkon čerpadla je součinem průtoku Q ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), dopravní výšky H (m) a hustoty vody ρ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$) a tíhovém zrychlení g ($\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$): [37] [54]

$$P = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta} \quad (16)$$

- Křivka NPSH (čistá pozitivní sací výška)

Hodnota křivky NPSH se měří v metrech. Křivka čerpadla udává hodnotu minimálního absolutního tlaku v sací větvi na vstupním hrdle čerpadla při daném průtoku, aby čerpadlo nebylo ohroženo kavitací. [55]

Kavitace je vznik dutin vzduchu při nezměněné teplotě z důvodu poklesu tlaku, následné implozi těchto dutin může čerpadlo významně poškodit. [56]

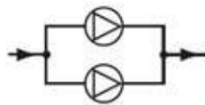


Obrázek 145: Stavový diagram, princip kavitace [56]

Soustavy s více čerpadly

Paralelní zapojení

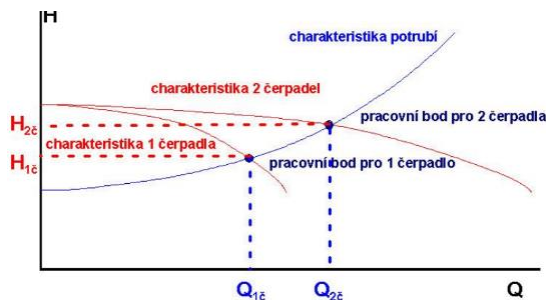
Ve vodárenství časté zapojení čerpadel (rezervní čerpadla). U soustavy s čerpadly zapojenými paralelně (obrázky pod odstavcem vlevo) dojde k významnému zvýšení průtoku čerpací soustavou. V případě, že je pracovní bod jednoho dán průtokem $Q_{1\check{c}}$ a dopravní výškou $H_{1\check{c}}$, pak pro dvě taková stejná čerpadla vždy platí $Q_{2\check{c}} < 2 \cdot Q_{1\check{c}}$, použití dvou paralelně zapojených čerpadel tedy nikdy nezajistí dvojnásobný průtok potrubí. [37]



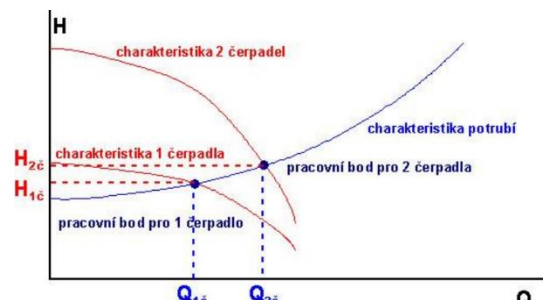
Obrázek 147: Schéma paralelního zapojení čerpadel [54]



Obrázek 146: Schéma sériového zapojení čerpadel [54]



Obrázek 148: Q-H diagram paralelní zapojení 2 čerpadel [37]



Obrázek 149: Q-H diagram sériové zapojení 2 čerpadel [37]

Sériové zapojení

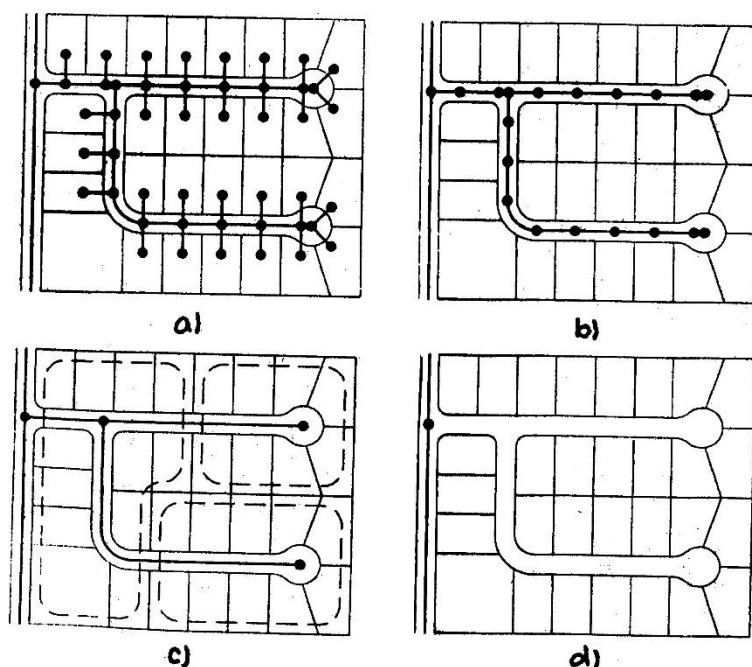
U soustav s čerpadly zapojenými sériově (viz obrázky vpravo nad odstavcem) dojde k významnému zvýšení dopravní výšky. V případě, že pracovní bod jednoho dán průtokem $Q_{1\check{c}}$ a dopravní výškou $H_{1\check{c}}$, pak platí pro dvě taková stejná čerpadla vždy platí $H_{2\check{c}} < 2 \cdot H_{1\check{c}}$, použití dvou paralelně zapojených čerpadel tedy nikdy nezajistí dvojnásobnou dopravní výšku. [37]

2.4.6 Výpočet vodovodní sítě

Složitost výpočtu vodovodní sítě závisí na tom, zda se jedná o síť větvenou, okruhovou nebo kombinovanou. [3]

Počet odběrných míst ve vodovodní síti je velký a při výpočtech vodovodní sítě nebývá proto běžně každé odběrné místo respektováno a považováno za samostatný uzel sítě. Výpočetně by taková síť byla opravdu složitá, proto se přistupuje k zjednodušení. [2]

V případě ručního výpočtu se využívá maximální zjednodušení, při kterém se zachovávají do výpočtu pouze hlavní řady následující obrázek d). Při vytváření počítačového modelu, pak bude schematizace běžně mezi případem b) a c) na následujícím obrázku. [4]



Obr. 8.6 Příklad zjednodušení vodovodní sítě
 a) bez zjednodušení, až po domovní přípojky, b) bez přípojek, s přípojkovými uzly,
 c) zachovány pouze všechny uliční řady, d) zachovány pouze hlavní řady

Obrázek 150: Zjednodušení vodovodní sítě [4]

Za uzle se běžně považují jen místa větvení, změn průměru potrubí nebo jiných změn fyzikálních vlastností potrubí a místa významných velkoodběratelů (průmyslové závody, nemocnice a podobně). Ostatní drobné odběry ze sítě se do těchto uzlů přesouvají. Odběry se tak koncentrují do uzlů a mezi dvěma uzly se přepokládá konstantní průtok za určitého odběrného stavu. [2]

2.4.6.1 Výpočet odběru vody

Výpočet odběrů vody se tedy skládá ze dvou částí. V první části jsou vypočteny celkové souhrnné odběry vody v každém úseku sítě. V druhé části se odběry na úsecích rozdělí do krajních uzlů příslušných úseků. [2]

Rozdíl maximální hodinové potřeby celého spotřebiště Q_h ($m^3 \cdot s^{-1}$) a součtu všech bodových velkoodběrů Q_o ($m^3 \cdot s^{-1}$) je souhrn odběrů všech drobných odběratelů v síti Q_s ($m^3 \cdot s^{-1}$). Je-li v celém spotřebišti celkem m úseků a odběry v jednotlivých úsecích jsou $q_1 \dots q_m$, ($m^3 \cdot s^{-1}$), pak platí: [2]

$$Q_s = Q_h - Q_o = \sum_{i=1}^m q_i \quad (17)$$

2.4.6.1.1 Stanovení odběru z úseku (úsekových potřeb)

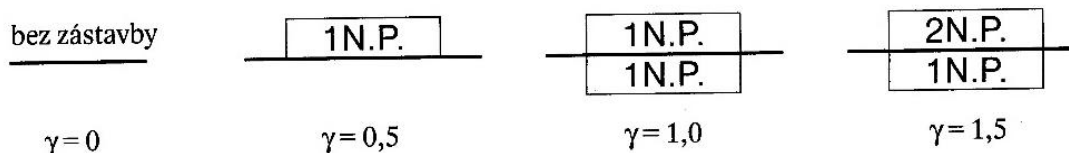
Zde jsou vedeny dva způsoby stanovení velikosti odběrů z dílčích úseků:

Metoda redukovaných délek:

. Tato metoda je vhodná pro typy zástavby, kdy jsou odběry rovnoměrně rozmístěny po délce úseku tak, že lze předpokládat přímo úměrnou závislost odběrů na délce úseku. Kvůli své jednoduchosti a dostatečné přesnosti se jedná o nejpoužívanější metodu. [2] [3]

$$l_{ri} = L_i \cdot \gamma_i \quad (18)$$

Redukovaná délka úseku l_{ri} je součinem jeho skutečné délky L_i (m) se součinitelem uličního zalidnění γ_i daného úseku, který vyjadřuje míru odběru vody na jednotkové délce úseku. Součinitel uličního zalidnění se určuje podle hustoty a podlažnosti zástavby. Vývoj jeho hodnot lze odvodit z následujícího obrázku. [3] [2]



Obrázek 151: Metoda redukovaných délek – princip stanovení součinitele γ [3]

Úsekový odběr q_i se následně vypočítá součinem drobných odběrů v síti Q_s a délky daného úseku l_{ri} vydělený součtem redukovaných délek všech úseků l_{ri} , tedy: [3] [2]

$$q_i = \frac{Q_s}{\sum l_{ri}} \cdot l_{ri} \quad (19)$$

Metoda dvou parametrů

Metoda dvou parametrů je vhodná pro případy, kdy odběratelé vody nejsou rovnoměrně rozloženi po délce úseku a délka úseku proto pro stanovení míry odběru není významná. Za míru odběru vody se v této metodě považuje součin dvou parametrů úseku $u_i \cdot v_i$. [2]

Tyto parametry se volí podle dostupných podkladů: u_i může být například počet obyvatel náležících i-tému úseku, nebo zastavěná plocha přiřazená i-tému úseku. Součinitel v_i může například představovat vybavenost bytového fondu nebo hustotu osídlení plochy a podobně. Závisí-li odběr pouze na jednom parametru bere se druhý parametr roven jedné. [2]

Úsekový odběr q_i ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) se tedy stanoví tak, že se součin drobných odběrů v síti Q_s ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), a mírou odběru $u_i \cdot v_i$ vydělí součtem $u_i \cdot v_i$ všech úseků tedy: [2]

$$q_i = \frac{Q_s}{\sum u_i v_i} u_i v_i \quad (20)$$

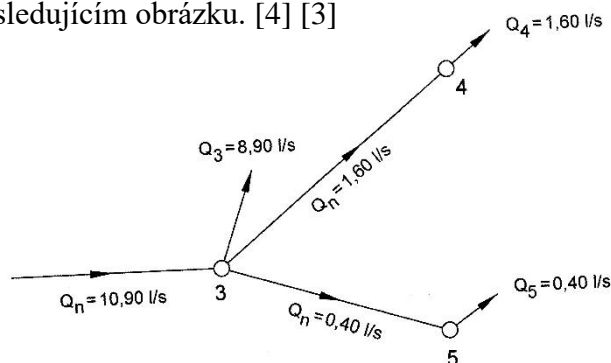
2.4.6.1.2 Transformace úsekových odběrů do uzlových odběrů

Uzlový odběr Q_j ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) někdy zvaný uzlová potřeba se běžně při výpočtu uvažuje jako polovina úsekových odběrů uzlu přilehlých úseků $\sum q_{ij}$ ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), jejichž počet je m a odběru ze samotného uzlu B_j ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). [4] [23]

$$G_j = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^m q_{ij} \quad (21)$$

2.4.6.1.3 Výpočet návrhových průtoků Q_n ve větvených sítích

U větvených sítí se vychází ze znalosti uzlových odběrů a směru proudění. Postupně se od konce načítají uzlové odběry G_j ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), a stanovuje se tak průtok Q_n ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$), v jednotlivých větvích až ke zdroji tlaku tedy vodojemu. Princip je znázorněn na následujícím obrázku. [4] [3]



Obrázek 152: Výpočet návrhových průtoků větvené sítě [3]

Ve všech uzlech vodovodní sítě musí být dodržen zákon zachování hmoty, zvaný také uzlová podmínka, nebo I. Kirhofův zákon. I. Kirhofův zákon říká, že součet všech průtoků do uzlu vtékajících a vytékajících musí být roven nule, tedy: [3] [4] [23]

$$\sum Q_{uzel} = 0 \quad (22)$$

2.4.6.1.4 Dimenzování vodovodních řadů větvené sítě

Dimenzování vodovodních řadů větvené sítě vychází ze stanovených návrhových průtoků Q_n , zvolených materiálů (drsnosti) a doporučených rychlostní proudění vody v potrubí v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$): [3]

-sací potrubí $v = 0,5-1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

-výtlačné řady $v = 0,6-1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

-gravitační zásobní řady $v = 1,0-1,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

-rozvodná síť $v = 0,8-1,2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Ze základní rovnice kontinuity lze odvodit vztah pro výpočet průměru světlosti kruhového potrubí D jako:

$$D = \sqrt{\frac{4Q_n}{\pi \cdot v}} \quad (23)$$

2.4.6.1.5 Výpočet tlakových ztrát

Vodovodní sítě se většinou uvažují jako „hydraulicky“ dlouhá potrubí a dochází proto často k zanedbání místních ztrát, případně k započítání pouze významných místních ztrát.

Ze základního principu tlakového gravitačního zásobování vyplývá, že minimální přetlaková výška h_p (m) v určitém uzlu sítě se vypočítá odečtením kóty terénu ve sledovaném uzlu K_t (m) a součtu ztrátových výšek (třením) ve všech úsecích sítě od vodojemu až po zájmový uzel $\sum h_t$ (m) od minimální kóty hladiny vody ve vodojemu K_{min} (m):

$$h_p = K_{min} - \sum h_t - K_t \quad (24)$$

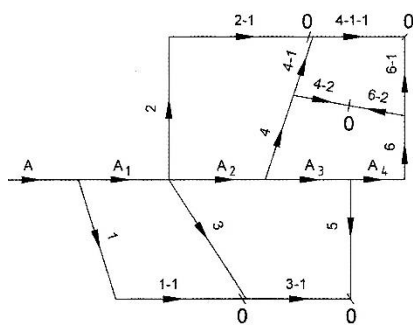
Obdobně lze spočítat maximální přetlakovou výšku v uzlu sítě. Vypočítané hodnoty se následně porovnají s požadavky na maximální a minimální tlaky ve vodovodní síti viz tlaková funkce vodojemu str. 44, v případě, že jsou tyto podmínky splněny, vyhoví vodovod požadavkům.

2.4.6.1.6 Výpočet průtoku v okruhových sítích

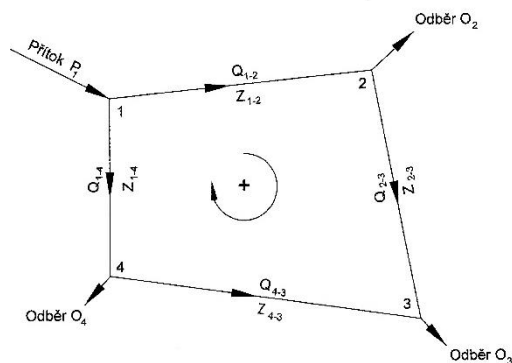
Okruhové vodovodní sítě se rozumí uzavřená cesta, kde je počáteční a koncový uzel totožný. Nachází-li se v síti m úseků a n uzlů a síť je spojitá má tato síť $l=m-n+1$ okruhů. Výpočet okruhové sítě je podstatně složitější než výpočet sítě větvené, protože u ní nelze jednoznačně stanovit ani průtoky ani směr proudění. Dále jsou uvedeny dvě z řady výpočtových metod, kterými lze okruhovou síť počítat. [3] [4]

Metoda nulových (dělicích) bodů

Principem této metody je převedení okruhové vodovodní sítě na síť větvenou volbou takzvaných nulových dělicích bodů. Jedná se o vybrané uzly rozvodné sítě, do kterých přitéká voda z obou stran a ve kterých se přepokládá nulová rychlost. Správné určení těchto bodů je velice náročné a vyžaduje velkou zkušenost projektanta. [3]



Obrázek 154: Metoda nulových bodů [3]



Obrázek 153: Metoda Lobačev-Cross [3]

Metoda Lobačev-Cross

Tato metoda je založena nejen na I. Kirchofově zákoně (zákonu zachování hmoty) ale i na II. Kirchofově zákoně, který představuje zákon zachování energie, bývá také nazýván okruhovou podmínkou a říká, že součet hydraulických ztrát v okruhu je roven nule, tedy: [3] [4] [23]

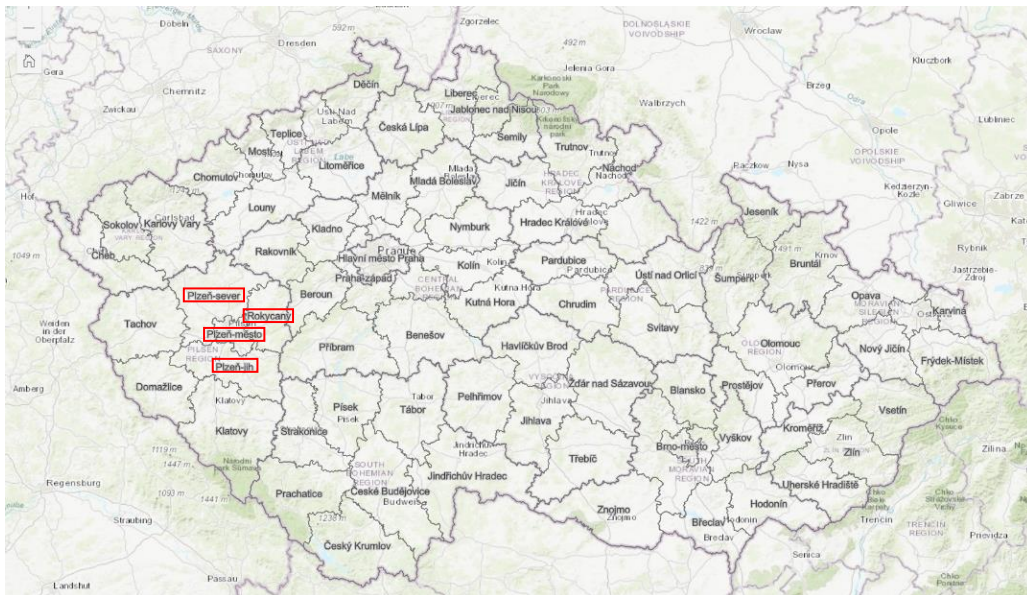
$$\sum h_{okruhu} = 0 \quad (25)$$

Při výpočtu touto metodou se postupuje následovně. Nejprve se navrhnou průtoky na úsecích a okruzích sítě tak, aby ve všech uzlech byla zachována uzlová podmínka, tedy I. Kirchofův zákon. Následně se nedimenzuje potrubí sítě a stanoví se průtočné rychlosti a tlakové ztráty v úsecích. Následuje posouzení splnění II. Kirchofova zákona, tedy zjištění rovnováhy v okruzích. Platí-li, že součet ztrát na okruhu je menší než 0,5 m vodního sloupce, je možné výpočet ukončit. V případě, že vyjde tento rozdíl vyšší, určí se opravné průtoky a celý postup se opakuje. Iterace se provádí tak dlouho, dokud není tato podmínka splněna.[3]

3. Praktická část

3.1 Vodárna Plzeň

Dodávku vody pro veřejnou potřebu v Plzni zajišťuje Vodárna Plzeň a.s. Stoprocentním vlastníkem akcií této společnosti je město Plzeň. Celkem tato společnost zásobuje přibližně 241 500 obyvatel pitnou vodou, a to na území okresů Plzeň-město, Plzeň-sever, Plzeň-jih a Rokycany, (okresy působnosti Vodárny Plzeň jsou vyznačené na obrázku mapy níže). Celkem se jedná se o víc jak 30 měst a obcí. [57] [58] [59]



Obrázek 155: Okresy působnosti Vodárny Plzeň a.s. [64].

Společnost jímá vodu z více než 90 podzemních zdrojů. Hlavním zdroj surové vody je ale povrchový, jedná se o řeku Úhlavu.

Provozují 26 úpraven pitné vody, 91 vodojemů a 67 čerpacích stanic. Vodovodní síť v její správě má délku 1420 km, je k ní připojeno více než 44 000 vodovodních přípojek. Ztráty vody se pohybují okolo 13,4 %. Společnost vyrobí okolo 14 milionů m³ vody za rok. [57] [58] [59]

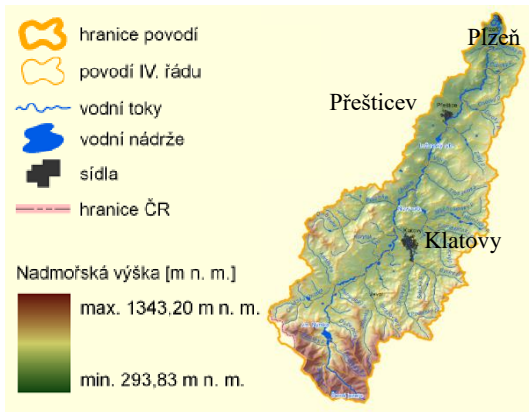
3.2 Plzeňský vodovod

V současnosti je potrubní síť Plzně tvořena převážně šedou a tvárnou litinou. V síti je použita také ocel a PVC. Při navrhování je pro přivaděče, hlavní řady a rozváděcí řady upřednostňována tvárná litina, ve zcela výjimečných případech v kolektorech nebo v omezených prostorových možnostech lze použít trouby z nerezové oceli. Jako vnitřní ochrana stěn potrubí se navrhuje polyurethan, cementová nebo epoxidová výstelka. [59]

Jediným zdrojem surové vody pro město Plzeň je řeka Úhlava (schéma jejího povodí je na následujícím levém obrázku), z ní bere vodu plzeňská Úprava vody III, které je na následujícím pravém obrázku. Úprava je schopná vyrobit 1000 l/s. V současné době se výkon úpravy pohybuje v okolo 400–450 l/s. Za rok vyrobí okolo 13 mil m³ vody.

Úprava vody III se nachází na Slovanech pod plzeňským kopcem Homolka, podle kterého bývá často nazývána jako úprava Homolka.

Modernizace úpravy byla dokončena v roce 2016, v současnosti zde probíhá čištění vody pomocí koagulačního srážení a dvoustupňové separace, ozonizace a filtrací přes granulované aktivní uhlí. Hygienické zabezpečení je zajištěno UV zářením a chlorací. [59] [57] [58] [57]



Obrázek 157: Schéma povodí Úhlavy [65]



Obrázek 156: Úprava vody III. Plzeň [66]

Z této úpravy se voda čerpá do jednotlivých vodovodů. Město Plzeň je rozdělené do tří základních zásobovacích tlakových pásem.

- I. tlakové pásmo 300-335 m n. m.
- II: tlakové pásmo 332-370 m n. m.
- III. tlakové pásmo 370-410 m n. m.

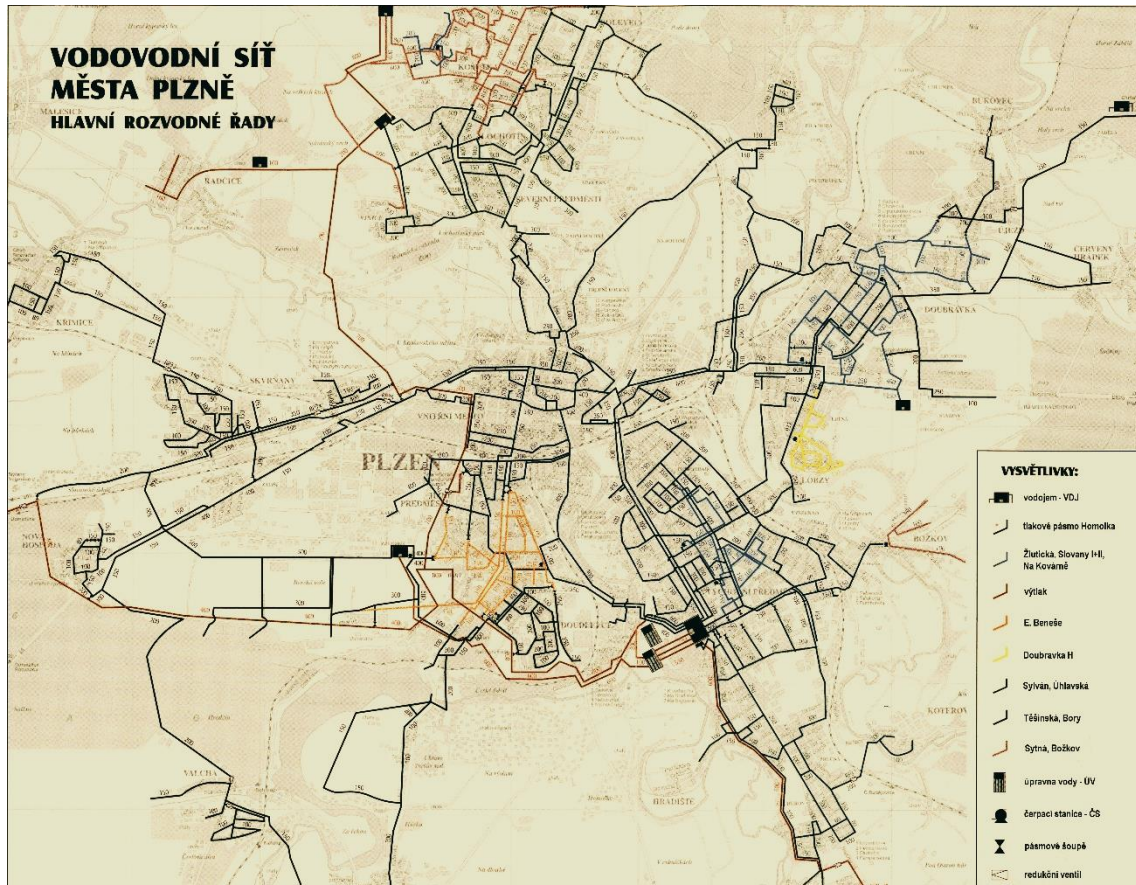
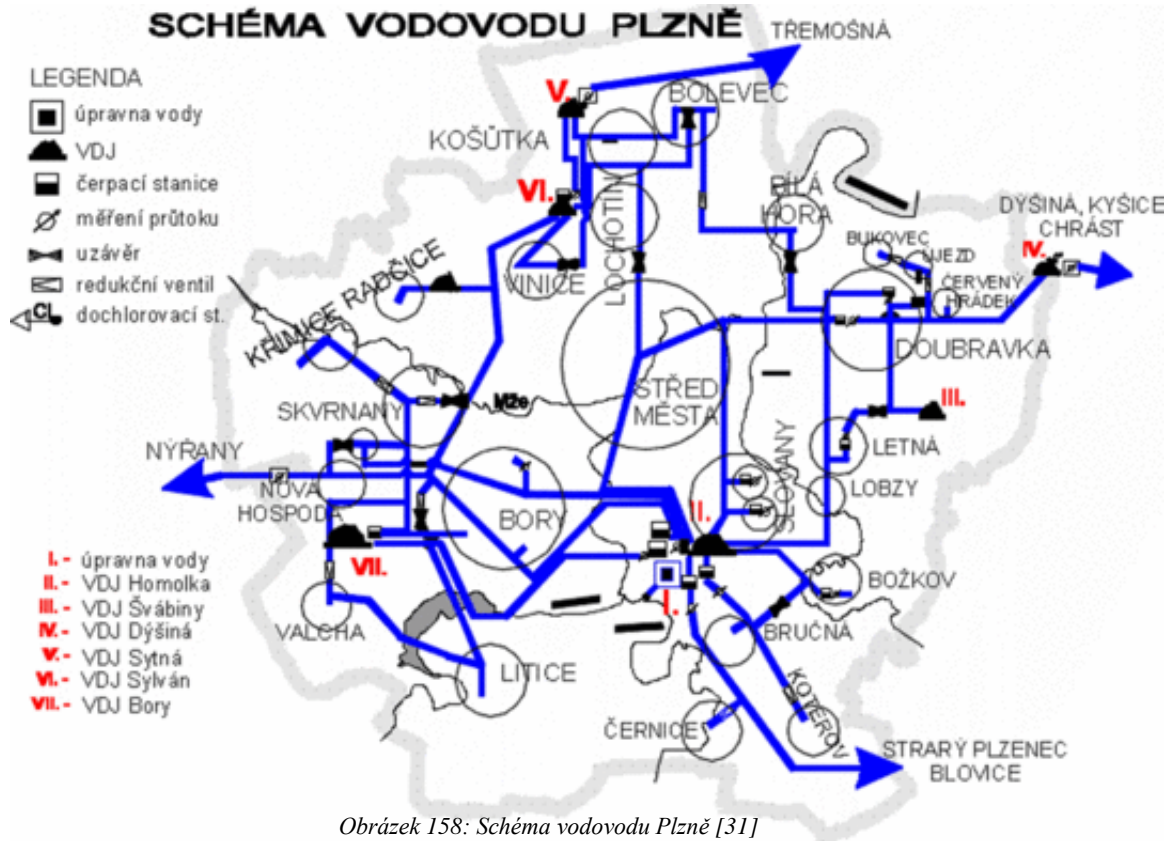
Nejstarší je I. tlakové pásmo s vodojemem Homolka je z roku 1889 a zásobuje centrální část města. Homolka má objem 12 760 m³ a kóta dna ve výšce 364 m n. m.

Vodojem Sylván zásobuje II. pásmo, má objem 12 000 m³ a kóta dna je ve výšce 402,4 m n. m.

Vodojem Sytná zásobuje III. tlakové pásmo, má objem 12 000 m³ a kóta dna ve výšce 437,9 m n. m.

Vodojem Bory zásobuje samostatné tlakové pásmo v úrovni II. tlakového pásma. Vodojem Bory má kótu dna v 351 m n. m. a objem 12 000 m³. [60] [59]

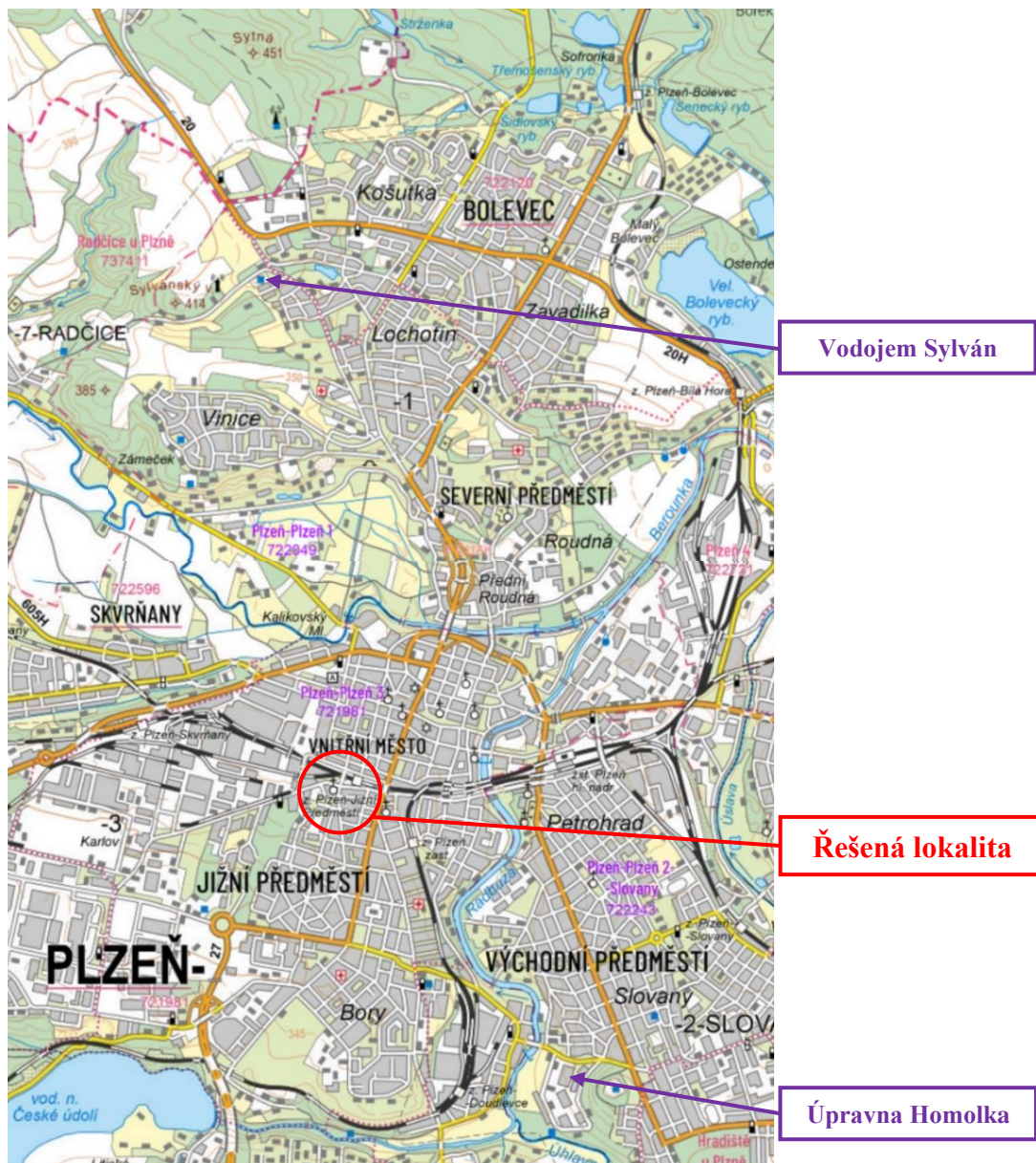
Základní schéma a mapa Plzeňského vodou je vidět na dvou na následujících obrázcích.



3.3 Předmět řešení

Předmětem řešení je vodovodní shybka v podchodu pod nádražím Jižní Předměstí v Plzni (na železniční trati Plzeň – Domažlice) přibližně mezi ulicemi Hálkova a Borská.

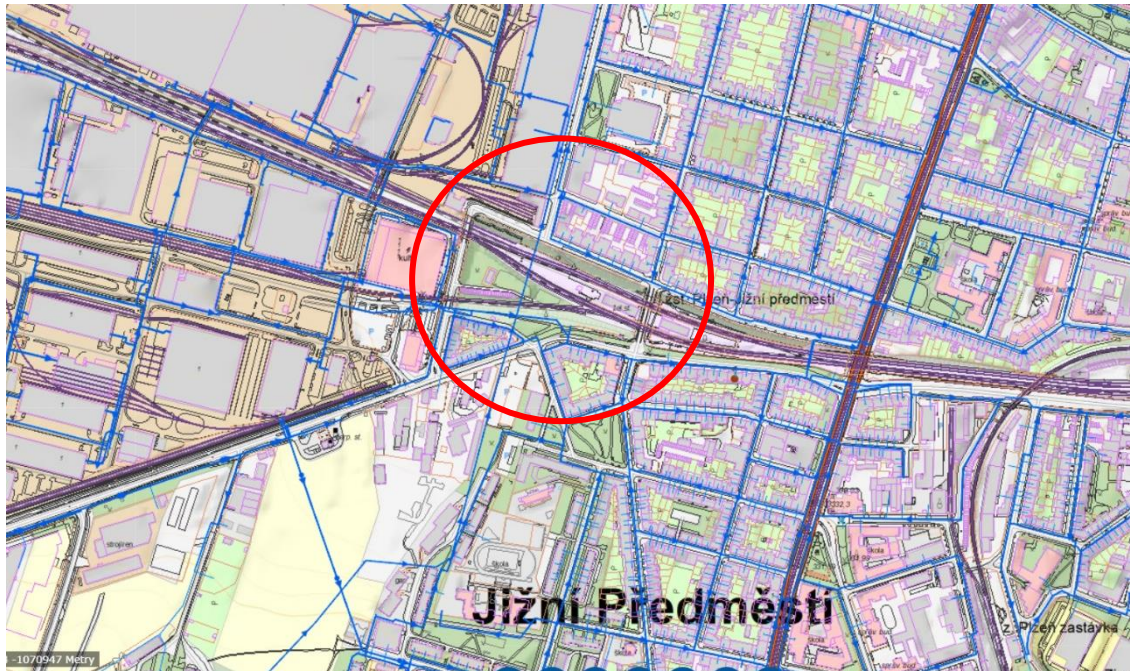
Tato vodovodní shybka je součástí výtlačného vodovodního řadu, který je v současnosti tvořen jedním ocelovým vodovodním potrubím DN 700 v celkové délce cca 11 km. Tento vodovodní řad přivádí vodu z úpravní vody Homolka do vodojemu Sylván a představuje jediný zdroj vody pro tento vodojem, ze kterého je dále napájen vodojem Sytná, jenž též nemá žádný jiný zdroj vody, proto představuje tento potrubí řad jediné zásobování pitnou vodou oblasti Severního Předměstí a Plzeň sever.



Obrázek 160: Obrázek situace širších vztahů [67]

Předchozí obrázek na minulé straně (Obrázek 160) umožňuje vytvoření představy o poloze řešené lokality na mapě Plzně. Zároveň jsou na tomto obrázku vyznačené objekty zásadní pro zájmový vodovodní řad, tedy úpravna vody Homola a vodojem Sylván.

Na následujícím obrázku (Obrázek 161), výřezu z digitální technické mapy Plzeňského kraje je vidět zájmová lokalita železniční stanice Plzeň Jižní předměstí, ve které se nachází předmětná shybka.



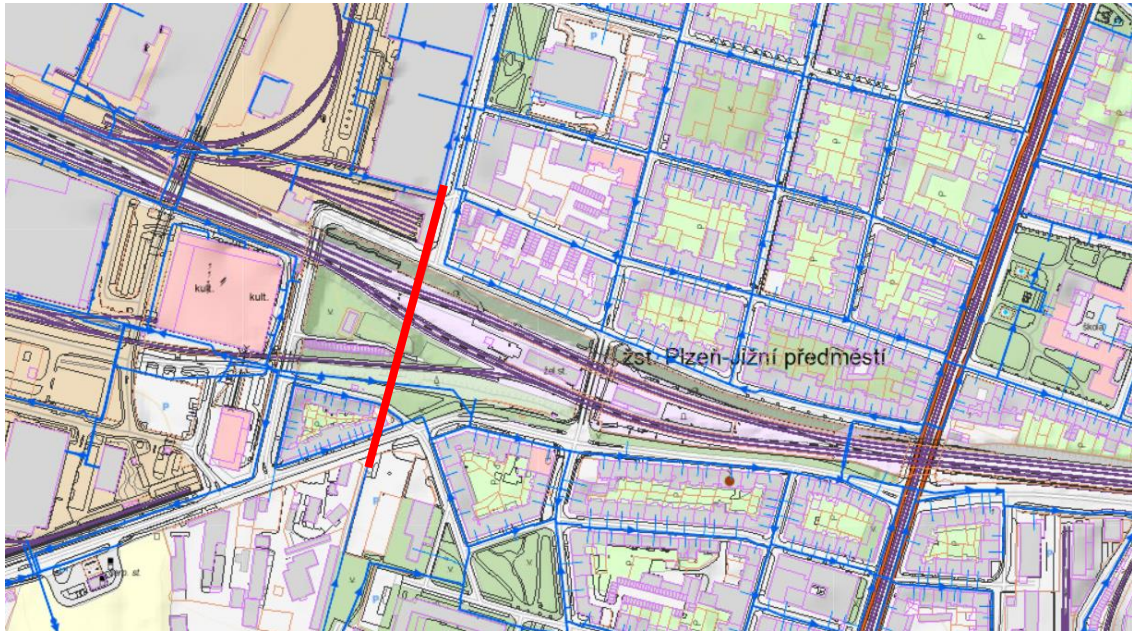
Obrázek 161: Poloha řešené lokality [68]

3.4 Podklady

- Výkresová dokumentace současného stavu kolektorového podchodu společnosti VODÁRNA PLZEŇ a.s.
- Studie proveditelnosti rekonstrukce stávajícího vodovodního kolektorového podchodu provedená firmou AQUA PROCON s.r.o.
- Průzkum vodovodního kolektorového podchodu zpracovaný firmou INSET s.r.o., Divizí specializovaných prací
- Dokumentace pro stavební povolení realizovaná firmou INGUTIS, spol. s.r.o.
- Fotodokumentace pořízená v rámci Průzkumu vodovodního kolektorového podchodu a Studie proveditelnosti rekonstrukce stávajícího vodovodního kolektorového podchodu

3.5 Popis současného stavu

V současnosti vede zájmová shybka z parkoviště v ulici Borská a končí v ulici Korandova, jak je vidět na následujícím obrázku (Obrázek 162).



Obrázek 162: Řešená lokalita: Současná trasa — [68]

Stávající vodovodní shybka výtlačného řadu je dlouhá 289 m uložena v podchodě, který je dlouhodobě zatopen balastními vodami. V případě poruchy řadu v tomto místě je proto oprava možná pouze po odčerpání těchto vod. Odčerpávání by mohlo být značně časově náročné a násobně převýšit dobu, po kterou jsou schopné vodojemy Sylván a Sytná pokrýt spotřebu spotřebiště pouze ze svých akumulčních objemů. Protože jsou oba tyto vodojemy zásobeny výhradně tímto řadem, mohl by v případě poruchy vzniknout zásadní výpadek zásobování příslušných spotřebišť.



Obrázek 164: Pohled do šachty podchodu



Obrázek 163: Jeden z přítoků balastní vody

Svařované ocelové potrubí DN 700 je již víc než třicet let v provozu, je opatřeno textilní izolací a umístěno na betonových patkách. Armatury i provozní vybavení šachet a štoly jsou vlivem okolních podmínek zasaženy různými stupni koroze.

Štola je na obou koncích ukončena armaturními šachtami. Vstupní šachta se nachází na parkovišti v ulici Borská a výstupní šachta se nachází v ulici Korandova, do této šachty je celá trasa štoly vyspádována a je zde umístěna jímka na čerpání balastních vod. Ve vstupní armaturní šachtě je osazen uzávěr DN 700 a vzdušník, ve výstupní šachtě je osazen uzávěr DN 700 a kalník.



Obrázek 166: Pohled na dno šachty a začátek štoly



Obrázek 165: Pohled šachtou nahoru

Podchod je tvořen kruhovou raženou štolou v hloubce cca 12 m. Celková délka štoly činní 264 m, její průměr je 2,4 m. Štola je tvořena prefabrikovanými železobetonovými segmenty bez překryvů. Právě spárami mezi jednotlivými díly ostění prosakuje do štoly balastní voda. Ve štole se nachází velké množství sintrových povlaků a krápníků, které jsou produktem degradace injektážní výplně z prostoru za ostěním.



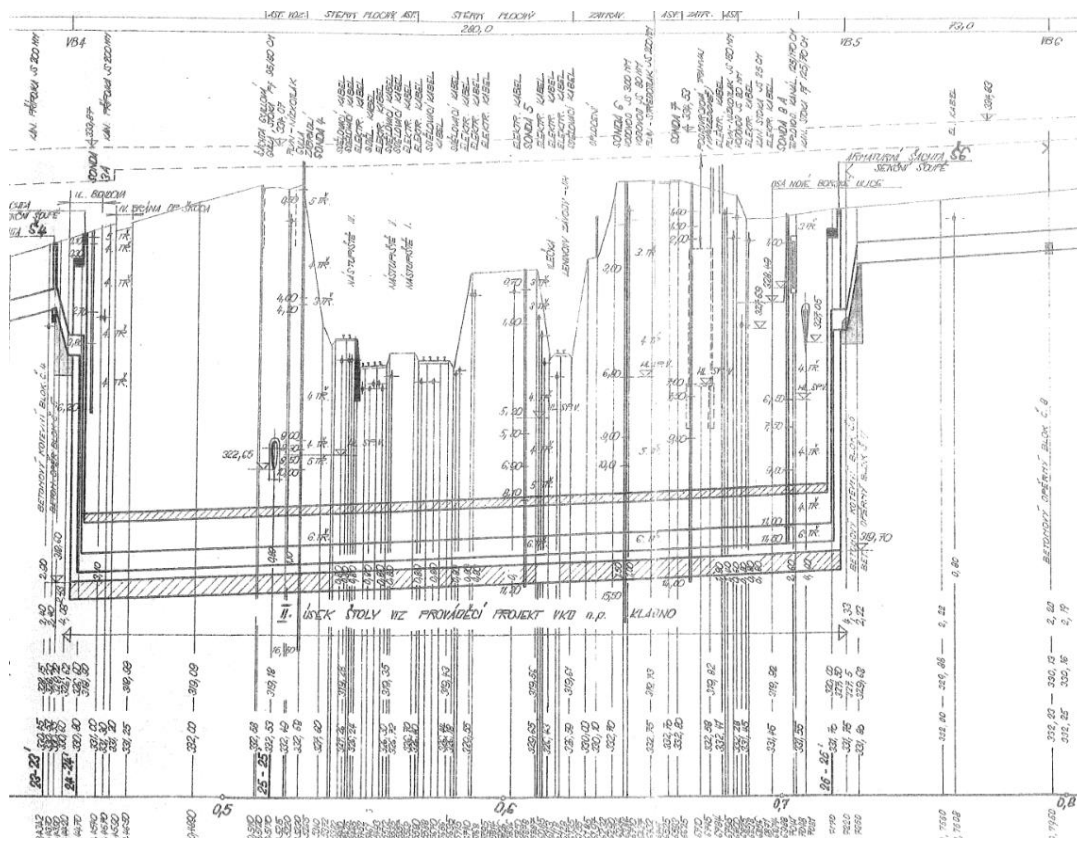
Obrázek 167: Štola podchodu – Pohled proti směru spádu podchodu



Obrázek 168: Štola podchodu – pohled po směru spádu podchodu

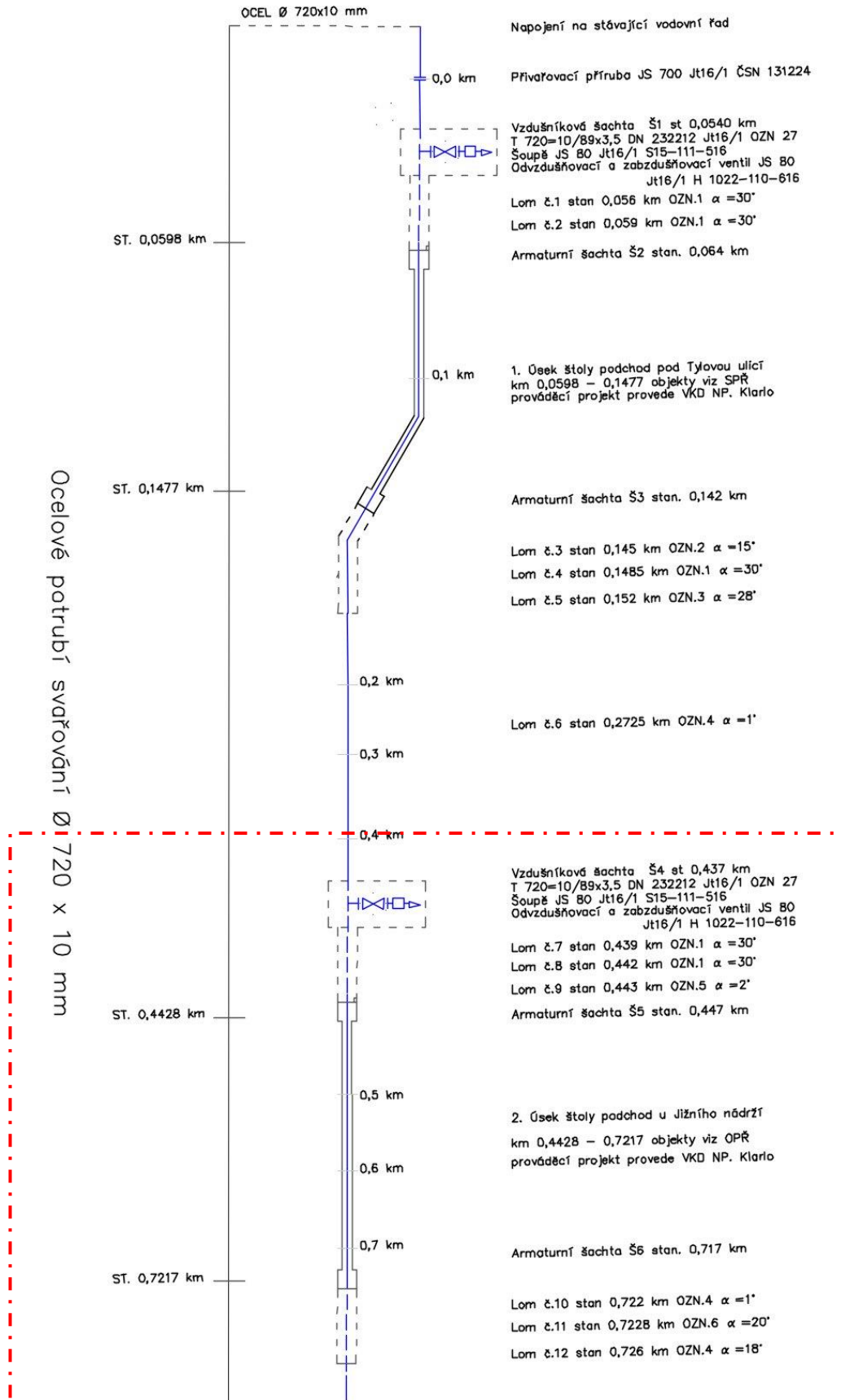
Obrázek (Obrázek 169) níže je výřezem z oskenovaného výkresu podélného profilu více než sedmi sty metrového úseku se dvěma vodovodními shybkami z archivu Vodárny Plzeň. a.s. Výkres byl proveden ve výškovém systému Jadran v měřítku 1:1000. Směr proudění vody v úseku na následujícím výkresu je zprava do leva.

Tento zmenšený výřez zachycuje pouze zájmovou shybkou a je zde uveden pro představu o prostorovém uspořádání současného stavu shybkou, nikoliv kvůli jednotlivým kótám a popiskům, které jsou bohužel kvůli velikosti obrázku a kvalitě skenu nečitelné.



Obrázek 169: Výkres z archivu: Podélný profil stávající shybkou

Následující obrázek (Obrázek 170) na další straně je překreslením výkresu kladečského schématu celého více než sedmi sty metrového úseku se dvěma vodovodními shybkami z archivu Vodárny Plzeň. a.s. Zájmová shybkou začíná ve staničení 0,437 km a je zde vyznačena červeným čerchovaným obdélníkem.



Obrázek 170: Překreslení výkresu z archivu Vodárny Plzeň a.s.: Kladečské schéma současného stavu shybky

3.6 Rekonstrukce

S ohledem na významnost výtlačného řadu mezi UV Homolka a vodojemem Sylván je současný stav shybky neuspokojivý a vyžaduje rekonstrukci, proto byla provedena Studie proveditelnosti rekonstrukce stávajícího vodovodního kolektorového podchodu, ze které vzešly tři možné varianty řešení rekonstrukce.

3.6.1 Varianta č. 1 - podchod a shybka v současné trase a uspořádání

V případě realizace této varianty rekonstrukce by došlo k sanaci stávajícího vodovodního potrubí, výměně armatur v armaturních šachtách, dále k sanaci stávající konstrukce vlastní štolý a obou armaturních šachet.

Tato varianta rekonstrukce by byla nejlevnější a časově nejméně náročná.

Nevýhody této varianty jsou především následující: Sanováním potrubí by sice došlo k prodloužení jeho životnosti. Tato životnost by ale nedosahovala hodnot zvýšení životnosti v případě použití nového potrubí. V případě porušení či při údržbě potrubí by došlo k přerušení dopravy vody do vodojemu. Sanací konstrukce štolý by se sice snížilo množství vody prosáklé do štolý, přesto by ale bylo třeba během rekonstrukce i následného provozu trvale odčerpávat balastní vody do kanalizace.

Další nevýhodou této varianty rekonstrukce je její nesoulad s existujícím záměrem stávající výtlačný vodovodní řad DN 700 mezi úpravnou vody Homolka a VDJ Sylván nahradit provozním propojením 2 x DN 500.

3.6.2 Varianta č. 2 - stávající podchod a nahrazení potrubí dvěma DN 500/400

V případě realizace této varianty rekonstrukce by opět došlo k sanaci stávající konstrukce vlastní štolý a obou armaturních šachet, avšak současné ocelové potrubí DN 700 by bylo nahrazeno 2 x DN 500 nebo 2x DN 400 z tvárné litiny. Rozdělení potrubí do dvou větví by v případě poruchy nebo při údržbě jedné z větví potrubí, umožňovalo vést průtok shybkou pouze jednou větví, čímž by nedošlo k přerušení dopravy vody do vodojemu.

Tato varianta je také ekonomicky a časově úspornější, což způsobuje zachování stávající štolý. Životnost nového potrubí by byla vysoká a toto řešení také zajišťuje zvýšené zabezpečení dodávky vody do vodojemu.

Nevýhody tohoto řešení představují ztížené podmínky při manipulaci a montáži během výměny potrubí a potřeba trvalého odčerpávání prosáklé balastní vody do kanalizace během výstavby i následného provozu. V případě instalace 2 x DN 500 by z prostorových důvodů mohly nastávat potíže v souvislosti s pohybem ve štole, v případě kontroly nebo opravy.

Instalace 2 x DN 400 by ovšem také nebyla v souladu s existujícím záměrem nahradit stávající výtlačný vodovodní řad DN 700 mezi úpravnou vody Homolka a VDJ Sylván provozním propojením 2 x DN 500.

3.6.3 Varianta č. 3 – Nově ražená štole, nahrazení potrubí dvěma DN 500

Varianta č. 3 je varianta, která byla vybrána k realizaci a ke které již byla vypracována Dokumentace pro stavební povolení.

V této variantě je navržena přeložka stávající vodovodní shybky výtlačného řadu. Potrubí bude uloženo v nově ražené štole a stávající potrubí DN 700 bude nahrazeno 2 x DN 500 z tvárné litiny.

Výhody této varianty rekonstrukce jsou bezproblémové zachování provozu stávajícího vodovodního řadu během výstavby a dostatečný prostor pro výstavbu. Zároveň má toto variant stejně jako varianta č. 2. výhody vyplývající z instalace nového potrubí a rozdvojení řadu v místě průchodu podchodem, tedy vyšší životnost a vyšší zabezpečení dodávky vody do vodojemu.

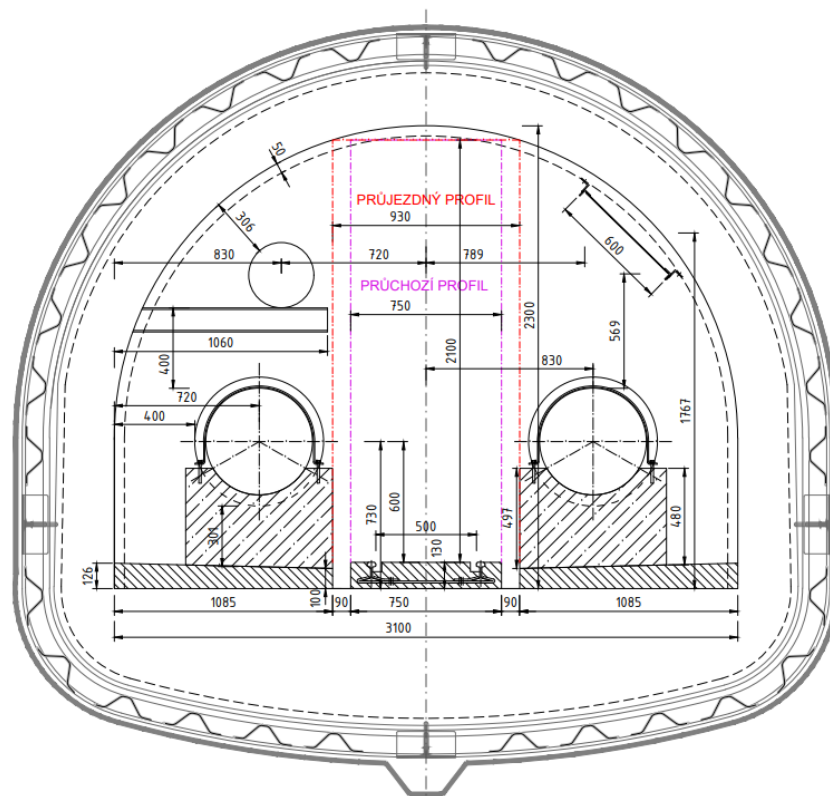
Nevýhody této varianty jsou její finanční náročnost (jedná se o nejdražší řešení) a značná časová náročnost realizace a projektové přípravy.

Toto řešení rekonstrukce bylo vybráno také proto, že je v souladu s plánem doplnění vodohospodářských staveb v Plzni, konkrétně s projektem Vodárenský soubor Vinice v rámci, kterého je kromě výstavby vodojemu Vinice a jiných rekonstrukcí, také uveden záměr stávající výtlačný vodovodní řad DN 700 mezi úpravnou vody Homolka a VDJ Sylván nahradit provozním propojením 2 x DN 500. [60]

3.7 Plánovaná rekonstrukce (varianta rekonstrukce č. 3)

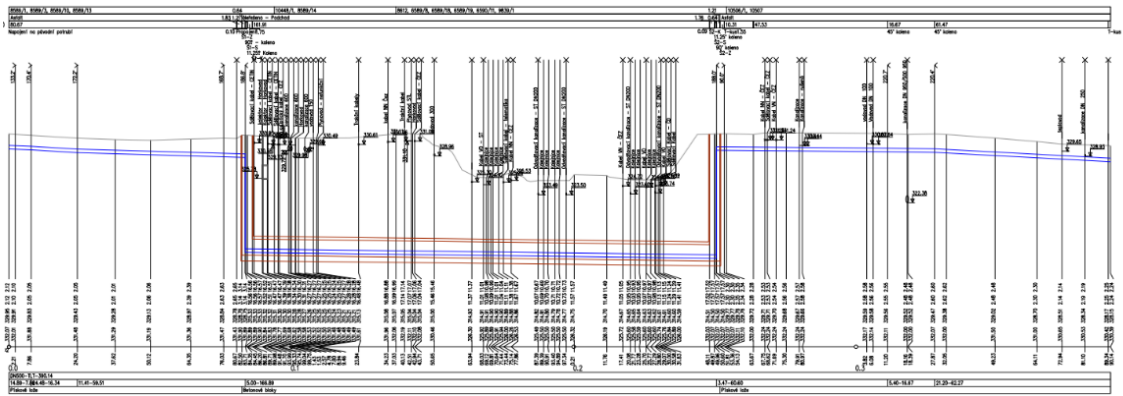
V rámci rekonstrukce bude zbudována přeložka stávající vodovodní shybky. Tedy nová shybka uložená v nově ražené štolě nacházející se pod železničním nádražím Jižní Předměstí v souběhu se stávající štolou přibližně 50 m západním směrem. Stávající ocelové potrubí DN 700 bude nahrazeno dvěma potrubími DN 500 z vysokotlaké tvárné litiny (TLT).

Nová štola bude dlouhá 161 m, široká 3,1 m a vysoká 2,3 m. Šachta 1 bude hluboká 17 m. V šachtě 2, která bude 18 m hluboká, bude umístěna čerpací jímka pro možné odvádění vody z podchodu. Představu o prostorovém uspořádání nového podchodu dává následující obrázek. Jedná se o výřez z výkresu D.1.2.3 Trasa příčný řez z Dokumentace pro stavební povolení realizovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.



Obrázek 171: Výřez z výkresu D.1.2.3 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.

Vizuální představu o délce a výškovém uspořádání nové trasy vodovodu lze získat z výřezu výkresové Dokumentace pro stavební povolení realizované firmou INGUTIS, spol. s r.o. (Obrázek 172) Tento výrazně zmenšený výřez výkresu D.2.1.4 Podélný profil vodovodu B je zde uveden pouze pro představu o prostorovém uspořádání, nikoliv kvůli jednotlivým kótám a popiskům, které jsou bohužel kvůli velikosti obrázku nečitelné. V rámci výpočtu byla z tohoto výkresu odečtená délka nové trasy vodovodu.

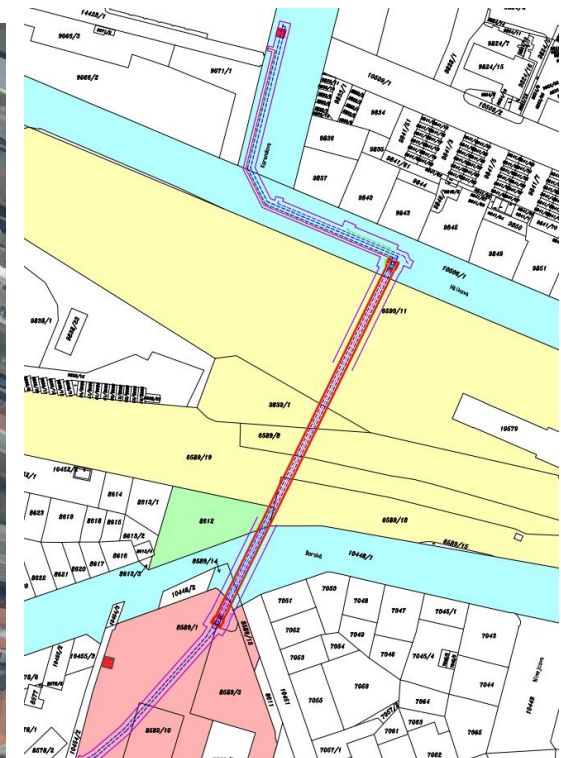


Obrázek 172: Výřez z výkresu D.2.1.4 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r. o.

Vizuální půdorysnou představu o plánované budoucí přeložce vodovodu lze získat ze dvou následující obrázků (Obrázek 173 a Obrázek 174). Jedná se o výřezy výkresů z Dokumentace pro stavební povolení realizovaná firmou INGUTIS, spol. s r. o. Levý obrázek je výřez z výkresu C.1 Situace širších vztahů a pravý obrázek výřez z výkresu C.2 Katastrální situace. Červeně je na výkresech vyznačené šlybka a modře celá nová trasa potrubí.



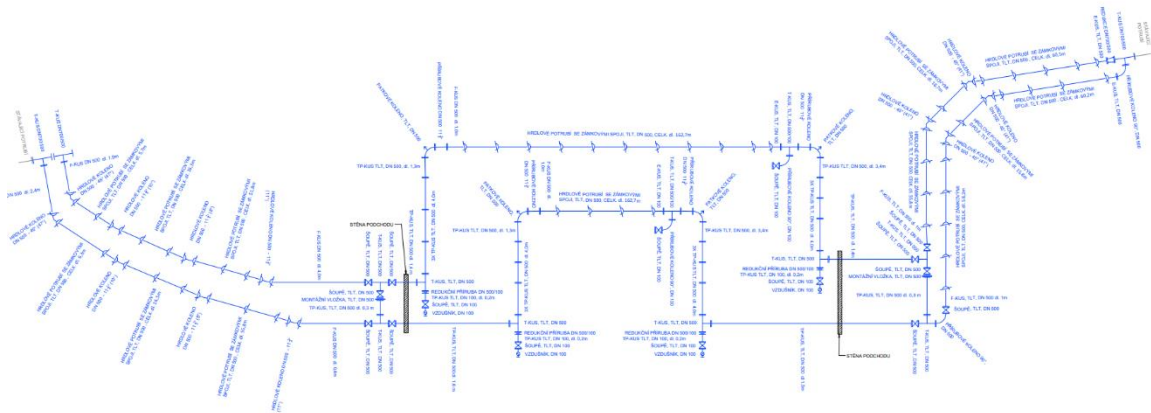
Obrázek 173: Výřez z výkresu C1 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r. o.



Obrázek 174: Výřez z výkresu C2 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r. o.

Pro výpočet místních ztrát po rekonstrukci bylo klíčové právě na další stránce uvedené kladečské schéma (Obrázek 175), ze kterého byly vyčteny tvarovky a armatury na nové trase. Taktěž se jedná o výřez výkresu z Dokumentace pro stavební povolení realizovaný firmou INGUTIS, spol. s r. o. Kvůli přehlednosti je zde v nezmenšené

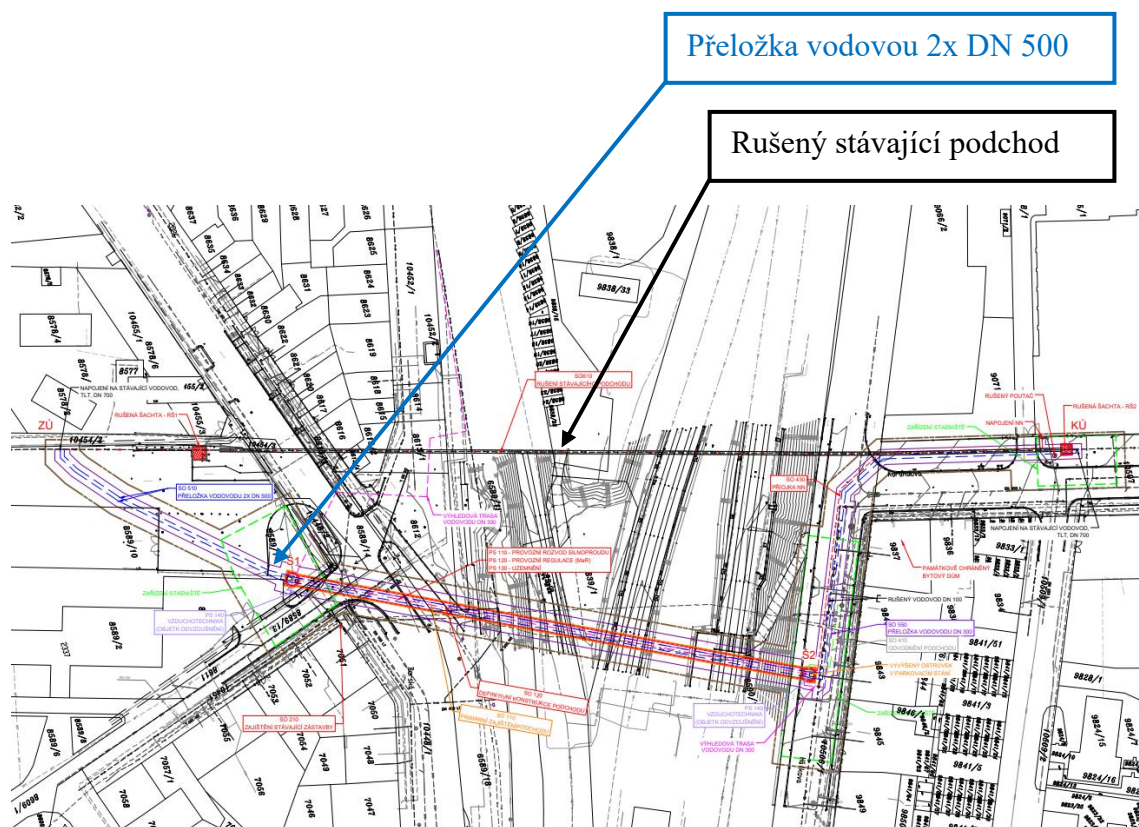
podobě 5 A4 dlouhé schéma též uvedené zmenšené a poskytuje tak pouze vizuální představu o celkové situaci.



Obrázek 175: Výřez z výkresu D.2.1 Kladečské schéma z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.

Výkres koordinační situace zachycuje umístění stávajícího vodovodního podchodu a plánované vodovodní přeložky. Taktéž se jedná o výřez výkresu z Dokumentace pro stavební povolení realizovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.

Koordinační situace byla použita ke stanovení délek spojek větví potrubí na začátku a na konci shybky.



Obrázek 176: Výřez z výkresu C.3 Koordinační situace z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.

3.8 Hydraulické posouzení

V rámci hydraulického posouzení byly provedeny výpočty hydraulických tlakových ztrát pro všechny tři varianty rekonstrukce předmětné vodovodní shybky výtlačného vodovodního řadu mezi UV Homolka a vodojemem Sylván.

Ovšem s ohledem na již rozhodnutou situaci z pohledu výběru varianty rekonstrukce, pro variantu č. 3 již byla zpracována Projektová dokumentace pro stavební povolení, se výpočet zaměřuje právě na tuto variantu rekonstrukce.

U ostatních variant zde tedy není uveden kompletní detailní postup výpočtu, který byl, co se vzorců a použitých dílčích postupů týče totožný s výpočty ztrát u varianty č. 3 a výpočtem ztrát současného vodovodního potrubí, ale jsou zde uvedeny pouze výsledky hydraulických ztrát jednotlivých variant a jejich srovnání.

V rámci hydraulického výpočtu byly tedy provedeny především tyto tři výpočty tlakových ztrát pro **variantu rekonstrukce č. 3**:

- Výpočet tlakových ztrát současné trasy za běžného provozu.

Jedná se o výpočet ztrát v úseku stávajícího vodovodního řadu od plánovaného napojení nové trasy přes stávající vstupní šachtu v ulici Borská, stávající shybku až po výstupní šachtu současné vodovodní shybky. (Výstupní šachta v ulici Korandova je zároveň místem napojení plánované rekonstruované trasy.)

- Výpočet tlakových ztrát nové trasy za běžného provozního stavu.

Jedná se o úsek skládající se z nové vodovodní shybky a úseků potrubí uloženého v zemi před i za shybkou.

- Výpočet tlakových ztrát nové trasy při nouzovém provozu v případě poruchy jedné větve.

Výpočet předpokládá výpadek jedné ze dvou větví potrubí v místě shybky, proto je počítáno, že v místě začátku rekonstruovaného úseku dojde k běžnému rozdělení průtoku do větví, přímo shybkou voda protéká nouzově pouze jednou větví a na konci shybky opět dojde k rozdělení průtoku, až do místa napojení stávajícího řadu, kde se průtok opětovně spojí.

Dále pak byly zpracovány následující tři výpočty:

- Výpočet hydraulických ztrát rekonstrukce varianty č. 1.
- Výpočty hydraulických ztrát varianty rekonstrukce č. 2. při požití 2 x DN 500
- Výpočty hydraulických ztrát varianty rekonstrukce č.2. při požití 2 x DN 400

3.8.1 Vstupy a předpoklady všech výpočtů

Všechny výpočty jsou provedeny pro předpoklad ustáleného tlakového proudění v potrubí.

Pro výpočty byla brána voda o teplotě 10 °C, tato teplota odpovídá požadavku na teplotu pitné vody ve vyhlášce č.428/2001 Sb. (Tabulka 17). Kinematická viskozita vody při této teplotě je vzata z tabulky (Tabulka 33) jako $1,39 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$.

Průtokové poměry na zájmovém výtlačném řadu mezi UV Homolka a vodojemem Sylván nebyly blíže specifikovány, proto je zde vycházeno z ČSN 75 5301, která udává doporučené rychlosti na výtlačném řadu vodárenského čerpadla o světlost potrubí větší než DN 250 jako min. 0,6 m/s a max. 1,6 m/s, v tomto intervalu rychlostí jsou hodnoty ztrát napočítány po 0,1 m/s.

Velikost celkové tlakové ztráty na úseku potrubí je vždy spočítána jako součet ztrát třením a ztrát místních.

Ztráty třením jsou počítány Darcy-Weisbechovou rovnicí, ve které je součinitel ztrát třením spočítán iterací z Colebrook-Whiteho rovnice.

Ztráty místní jsou součtem vynásobení rychlostní výšky a součinitele místních ztrát jednotlivých tvarovek a armatur. Součinitelé místních ztrát jsou brány především z těchto tabulek: Tabulka 39: Součinitelé místní ztráty – Výřez z tabulky uživatelského manuálu programu Epanet, Tabulka 40: Součinitel místní ztráty v koleně podle Thomy ($Re \geq 2.105$).

3.8.2 Potřebné výpočty pro variantu rekonstrukce č. 3

3.8.2.1 Tlakové ztráty současné trasy za běžného provozu

Jedná se o výpočet tlakových ztrát v úseku stávajícího vodovodního řadu od plánovaného napojení nové trasy přes stávající vstupní šachtu v ulici Borská, stávající shybku až po výstupní šachtu současné vodovodní shybky. (Výstupní šachta v ulici Korandova je zároveň místem napojení plánované rekonstruované trasy.)

Pro přesné stanovení velikosti tlakových ztrát v současnosti by bylo zapotřebí provést tlaková měření, a pokles tlaku stanovit z naměřených hodnot.

Pro potřeby tohoto posouzení byly hydraulické ztráty na současném potrubí přibližně stanoveny následujícím výpočtem z dostupných podkladů o současném stavu potrubí a tabulkových hodnot.

Celková délka zájmového úseku byla stanovena jako součet délky shybky, která byla odečtena z Podélného řezu stávající dokumentace (Obrázek 169), a délky úseku mezi shybkou a napojením nové trasy na stávající řad, jež byla stanovena pomocí výkresů DSP rekonstrukce (Koordinační situace (Obrázek 176) a Podélného profilu (Obrázek 172).

Jednotlivé tvarovky a armatury jsou převzaty z kladečského schématu (Obrázek 170), Podélného řezu stávající dokumentace (Obrázek 169) a informací uvedených ve Studii proveditelnosti rekonstrukce stávajícího vodovodního podchodu.

Vzhledem ke stáří svařovaného ocelového potrubí, byla hydraulická drsnost potrubí, na základě tabulky drsností (Tabulka 34) uvažována jako 3 mm.

Všechna 90° kolena byla uvažována jako krátká. Kolena v horní části armaturních šachet, u kterých není z výkresu jasně patrný úhel, byla taktéž uvažována jako 90°.

Vstupní hodnoty výpočtu jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 43):

Tabulka 43: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát současné trasy za běžného provozu

Délka úseku:	L	335	m
Vnitřní průměr potrubí:	D	700	mm
Hydraulická drsnost:	Δ	3.0	mm (inkrustovaná ocel)
Relativní drsnost:	Δ/D	0.0043	
Teplota podle vyhlášky se pohybuje okolo:	T	10	°C
T odpovídající kinematičká viskozita:	ν	1.39E-06	m ³ .s ⁻¹
Tíhové zrychlení:	G	9.81	m.s ⁻²
Předpokládané rychlosti na výtlačném řadu podle normy ČSN 75 5301	v_{\min}	0.6	m.s ⁻¹
	v_{\max}	1.6	m.s ⁻¹

Následující tabulka (Tabulka 44) udává hodnoty výpočtu ztrát třením:

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,71 \cdot D} \right)} \right)^2 \quad z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Tabulka 44: Výpočet ztrát třením současné trasy za běžného provozu

Výpočet ztrát pomocí rovnice Colebrook – White		$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$	$4 \cdot 10^3 < Re$	Iterace		iterace	
V	Q	Re		λ_1	λ	$\lambda - \lambda_1 = 0$	Z_t
(m.s ⁻¹)	(m ³ /s)	(-)		(-)	(-)	$\Delta\lambda$	(m)
0.6	0.231	3.03E+05	OK	0.0293	2.93E-02	0.000	0.258
0.7	0.269	3.53E+05	OK	0.0293	2.93E-02	0.000	0.350
0.8	0.308	4.04E+05	OK	0.0292	2.92E-02	0.000	0.457
0.9	0.346	4.54E+05	OK	0.0292	2.92E-02	0.000	0.577
1	0.385	5.05E+05	OK	0.0292	2.92E-02	0.000	0.712
1.1	0.423	5.55E+05	OK	0.0292	2.92E-02	0.000	0.861
1.2	0.462	6.05E+05	OK	0.0292	2.92E-02	0.000	1.024
1.3	0.500	6.56E+05	OK	0.0291	2.91E-02	0.000	1.201
1.4	0.539	7.06E+05	OK	0.0291	2.91E-02	0.000	1.393
1.5	0.577	7.57E+05	OK	0.0291	2.91E-02	0.000	1.598
1.6	0.616	8.07E+05	OK	0.0291	2.91E-02	0.000	1.818

V tabulce níže (Tabulka 45) jsou uvedeny hodnoty výpočtu místních ztrát. V případě součinitelů místních ztrát v kolenech podle Thomy musí být uvážena podmínka $Re > 2 \cdot 10^5$. V předchozím výpočtu (Tabulka 44) ztrát třením Re vyšla v intervalu od $3,03 \cdot 10^5$ do $8,07 \cdot 10^5$, všechny hodnoty tedy podmínku splňují.

Tabulka 45: Výpočet místních ztrát současné trasy za běžného provozu

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g}$$

Tvarovky armatury	Počet kusů	v(m/s)	0.6	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
		Q(m ³ /s)	0.231	0.269	0.308	0.346	0.385	0.423	0.462	0.500	0.539	0.577	0.616
		$\xi(-)$	Místní ztráty na jednotlivých typech tvarovek a armatur pro danou rychlost Z_m (m)										
90°	8	1.265	0.186	0.253	0.330	0.418	0.516	0.624	0.743	0.872	1.011	1.161	1.320
30°	2	0.165	0.006	0.008	0.011	0.014	0.017	0.020	0.024	0.028	0.033	0.038	0.043
20°	2	0.154	0.006	0.008	0.010	0.013	0.016	0.019	0.023	0.027	0.031	0.035	0.040
š	2	0.200	0.007	0.010	0.013	0.017	0.020	0.025	0.029	0.034	0.040	0.046	0.052
Tr	2	0.600	0.022	0.030	0.039	0.050	0.061	0.074	0.088	0.103	0.120	0.138	0.157
Celkové Z_m (m):			0.227	0.309	0.403	0.510	0.630	0.762	0.907	1.064	1.235	1.417	1.612

Vysvětlivky armatur a tvarovek: - 90°, 30°, 20° = koleno o daném úhlu

- š = šoupě

- Tr = tvarovka T protékaná rovně

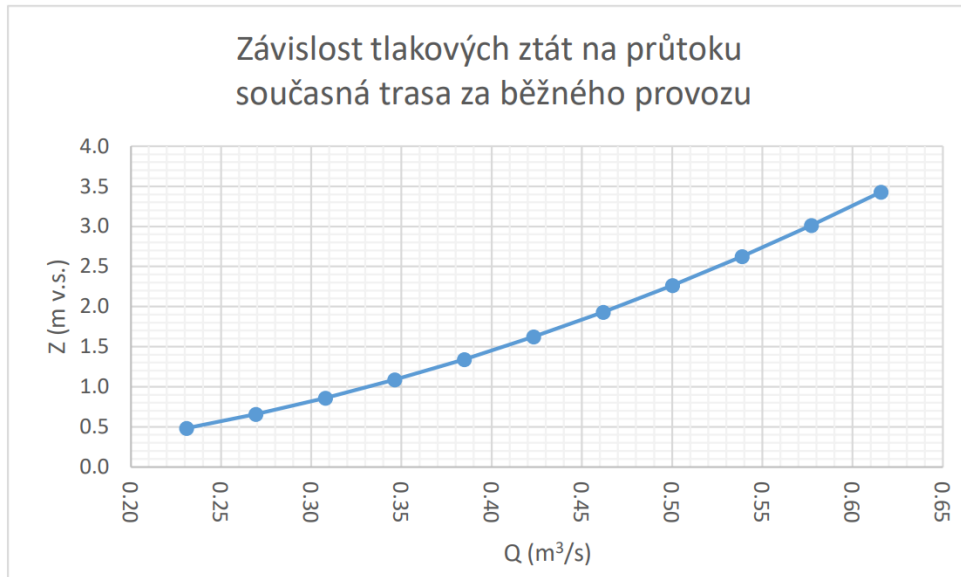
V následující tabulce (Tabulka 46) představuje výpočet celkových tlakových ztrát zájmového úseku v současnosti.

Tabulka 46: Výpočet celkových výsledných ztrát současné trasy za běžného provozu

Rychlost V (m.s ⁻¹)	Průtok Q (m ³ .s ⁻¹)	Ztráty		
		Třením (m)	Místní (m)	Celkem (m)
0.6	0.231	0.258	0.227	0.484
0.7	0.269	0.350	0.309	0.659
0.8	0.308	0.457	0.403	0.860
0.9	0.346	0.577	0.510	1.087
1	0.385	0.712	0.630	1.342
1.1	0.423	0.861	0.762	1.623
1.2	0.462	1.024	0.907	1.931
1.3	0.500	1.201	1.064	2.266
1.4	0.539	1.393	1.235	2.627
1.5	0.577	1.598	1.417	3.015
1.6	0.616	1.818	1.612	3.430

$$Z = Z_t + Z_m$$

Následující obrázek (Obrázek 177) je grafickým znázorněním spočtené závislosti tlakových ztrát na průtoku.



Obrázek 177: Graf závislosti ztrát na průtoku – současné trasy za běžného provozu

Podle výpočtu se hodnoty tlakových ztrát řešeného úseku v současné trase pohybují v intervalu od 0,5 m v. s. (při nejmenší doporučené rychlosti na výtlačné větvi čerpadla) do 3,4 m v. s. (při nejvyšší doporučené rychlosti vody na výtlačné větvi čerpadla.)

3.8.2.2 Tlakové ztráty nové trasy za běžného provozního stavu

Jedná se o výpočet tlakových ztrát v úseku po rekonstrukci v nové trase, skládající se z nové vodovodní shyby a úseků navazujícího potrubí uloženého v zemi před i za shybkou.

Výpočet hydraulických ztrát byl proveden na základě tabulkových hodnot a Dokumentace pro stavební povolení. Jak již bylo řečeno, při rekonstrukci dojde k rozvětvení potrubí z DN 700 na dvě větve potrubí DN 500.

Obě větve začínají a končí prakticky ve stejném místě, z principu paralelních potrubí, viz kapitola 2.4.4 Paralelní potrubí, vyplývá, že ztráty na obou větvích si budou rovny, proto jsou ztráty napočítány pouze na jedné z nich.

Skladba obou větví potrubí je až na ojedinělé výjimky (při rozdvojení a spojení) totožná, rozdíl délek jednotlivých větví je nepatrný, proto byl zaveden předpoklad rovnoměrného rozdělení průtoku mezi obě paralelní větve potrubí taktéž na základě principu paralelních potrubí, viz kapitola 2.4.4 Paralelní potrubí. Z tohoto předpokladu byl spočítán maximální a minimální průtok jednou větví, z něj pak byly následně dopočítány rychlosti.

Celková délka nové trasy byla odečtena z Podélného profilu dokumentace pro stavební povolení (Obrázek 172)

Vzhledem k zamýšlené životnosti stavby, nebyla vzata nejmenší možná hodnota drsnosti litinového potrubí, ale průměrná hodnota po použití 1 mm z tabulky drsností (Tabulka 34).

Vstupní hodnoty výpočtu jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 47):

Tabulka 47: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát nové trasy za běžného provozu

Délka úseku:	L	419	mm	
Průměr potrubí:	D	500	mm	0.5 m
Hydraulická drsnost:	Δ	1.0	mm	Litina
Relativní drsnost:	Δ / D	0.002		
Teplota podle vyhlášky se pohybuje okolo	T	10	°C	
T odpovídající kinematická viskozita	V	1.39E-06	$m^3 \cdot s^{-1}$	
Tíhové zrychlení	G	9.81	$m \cdot s^{-2}$	

První tabulka na následující straně (Tabulka 48) obsahuje výpočet rychlostí ve větvi na základě předpokládaných rychlostí ve výtlačném řadu před rozdělením potrubí za předpokladu rovnoměrného rozdělení průtoku.

Tabulka 48: Výpočet rychlosti vody nové trasy za běžného provozu

$$Q = v \cdot \pi \cdot \frac{DN^2}{4} \quad v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot DN^2}$$

Stávající potrubí					Větev rekonstrukce 1/2 Q stávajícího potrubí						
DN=	0.7	m			DN=	0.5	m	Větev			
v _{min} =	0.6	m.s ⁻¹	Q _{min} =	0.231	m ³ s ⁻¹	Q _{min} =	0.115	m ³ s ⁻¹	v _{min} =	0.59	m.s ⁻¹
v=	0.7	m.s ⁻¹	Q=	0.269	m ³ s ⁻¹	Q=	0.135	m ³ s ⁻¹	v=	0.69	m.s ⁻¹
v=	0.8	m.s ⁻¹	Q=	0.308	m ³ s ⁻¹	Q=	0.154	m ³ s ⁻¹	v=	0.78	m.s ⁻¹
v=	0.9	m.s ⁻¹	Q=	0.346	m ³ s ⁻¹	Q=	0.173	m ³ s ⁻¹	v=	0.88	m.s ⁻¹
v=	1	m.s ⁻¹	Q=	0.385	m ³ s ⁻¹	Q=	0.192	m ³ s ⁻¹	v=	0.98	m.s ⁻¹
v=	1.1	m.s ⁻¹	Q=	0.423	m ³ s ⁻¹	Q=	0.212	m ³ s ⁻¹	v=	1.08	m.s ⁻¹
v=	1.2	m.s ⁻¹	Q=	0.462	m ³ s ⁻¹	Q=	0.231	m ³ s ⁻¹	v=	1.18	m.s ⁻¹
v=	1.3	m.s ⁻¹	Q=	0.500	m ³ s ⁻¹	Q=	0.250	m ³ s ⁻¹	v=	1.27	m.s ⁻¹
v=	1.4	m.s ⁻¹	Q=	0.539	m ³ s ⁻¹	Q=	0.269	m ³ s ⁻¹	v=	1.37	m.s ⁻¹
v=	1.5	m.s ⁻¹	Q=	0.577	m ³ s ⁻¹	Q=	0.289	m ³ s ⁻¹	v=	1.47	m.s ⁻¹
v _{max} =	1.6	m.s ⁻¹	Q _{max} =	0.616	m ³ s ⁻¹	Q _{max} =	0.308	m ³ s ⁻¹	v _{max} =	1.57	m.s ⁻¹

Následující tabulka (Tabulka 49) obsahuje výpočet ztrát třením:

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,71 \cdot D} \right)} \right)^2 \quad z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Tabulka 49: Výpočet ztrát třením nové trasy za běžného provozu

Výpočet ztrát pomocí rovnice Colebrook - White	Q	$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$	4.10 ³ <Re	Iterace		iterace	
		Re		λ1	λ	λ-λ ₁ =0	Zt
V		(-)		(-)	(-)	Δλ	(m)
(m/s)	(m ³ /s)	(-)		(-)	(-)		
0.59	0.115	2.12E+05	OK	0.0242	2.42E-02	0.000	0.358
0.69	0.135	2.47E+05	OK	0.0241	2.41E-02	0.000	0.485
0.78	0.154	2.83E+05	OK	0.0240	2.40E-02	0.000	0.631
0.88	0.173	3.18E+05	OK	0.0240	2.40E-02	0.000	0.797
0.98	0.192	3.53E+05	OK	0.0239	2.39E-02	0.000	0.981
1.08	0.212	3.89E+05	OK	0.0239	2.39E-02	0.000	1.185
1.18	0.231	4.24E+05	OK	0.0238	2.38E-02	0.000	1.408
1.27	0.250	4.59E+05	OK	0.0238	2.38E-02	0.000	1.650
1.37	0.269	4.94E+05	OK	0.0238	2.38E-02	0.000	1.912
1.47	0.289	5.30E+05	OK	0.0238	2.38E-02	0.000	2.192
1.57	0.308	5.65E+05	OK	0.0237	2.37E-02	0.000	2.492

V tabulce níže (Tabulka 50) jsou uvedeny hodnoty výpočtu místních ztrát. V případě součinitelů místních ztrát v kolenech podle Thomy (Tabulka 40) musí být opět uvážena podmínka $Re > 2,10^5$. V předchozím výpočtu ztrát třením (Tabulka 49) bylo Re spočítáno jako $2,12 \cdot 10^5$ a $5,65 \cdot 10^5$, obě tyto hodnoty podmínku splňují. Součinitel náhlé ztráty zúžením byl odečten z tabulky náhlé ztráty podle Tullise (Tabulka 41) a součinitel náhlého rozšíření byl stanoven lineární interpolací z tabulky ztrát náhlým rozšířením (Tabulka 42).

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g}$$

Tabulka 50: Výpočet místních ztrát nové trasy za běžného provozu

Tvarovky armatury	Počet kusů	v(m/s)	0.59	0.69	0.78	0.88	0.98	1.08	1.18	1.27	1.37	1.47	1.57
		Q(m ³ /s)	0.115	0.135	0.154	0.173	0.192	0.212	0.231	0.250	0.269	0.289	0.308
		$\xi(-)$	Místní ztráty na jednotlivých typech tvarovek a armatur pro danou rychlost Z_m (m)										
red	1	0.220	0.004	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.016	0.018	0.021	0.024	0.028
roz	1	0.995	0.018	0.024	0.031	0.039	0.049	0.059	0.070	0.082	0.095	0.110	0.125
š	4	0.200	0.014	0.019	0.025	0.032	0.039	0.047	0.056	0.066	0.077	0.088	0.100
90°	2	1.270	0.045	0.061	0.080	0.101	0.124	0.150	0.179	0.210	0.244	0.280	0.318
45°	3	0.320	0.017	0.023	0.030	0.038	0.047	0.057	0.068	0.079	0.092	0.106	0.120
11°	5	0.044	0.004	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.016	0.018	0.021	0.024	0.028
Tr	2	0.600	0.021	0.029	0.038	0.048	0.059	0.071	0.085	0.099	0.115	0.132	0.150
Tz	6	1.800	0.190	0.259	0.338	0.428	0.529	0.640	0.761	0.893	1.036	1.189	1.353
Celkové Z_m (m):			0.313	0.425	0.556	0.703	0.868	1.050	1.250	1.467	1.702	1.953	2.222

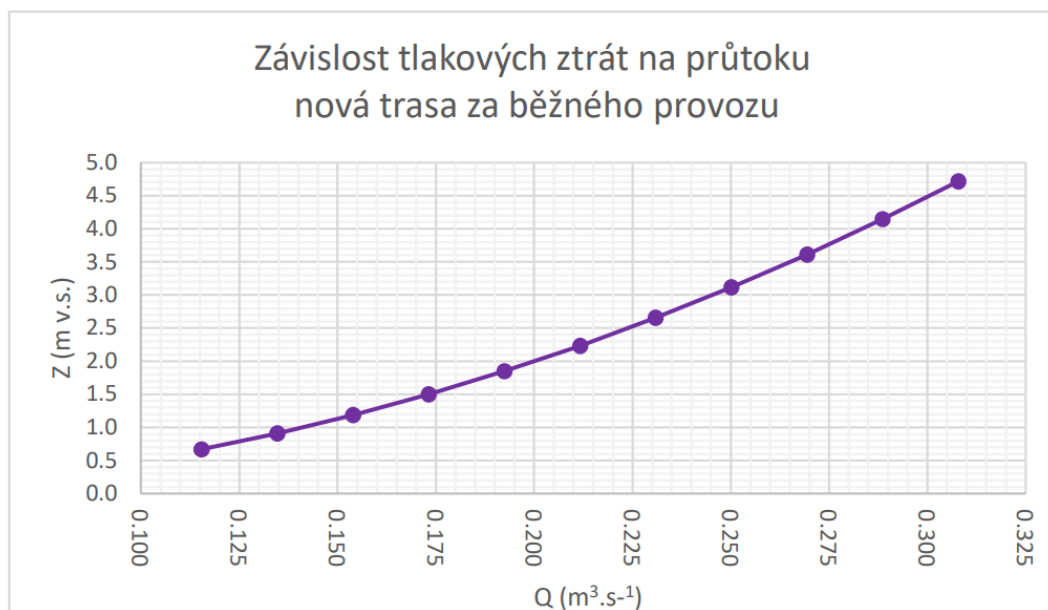
- Vysvětlivky armatur a tvarovek:
- 90°, 45°, 11° = koleno o daném úhlu
 - š = šoupě
 - Tr = tvarovka T protékaná rovně
 - Tz = tvarovka T protékané do zatačky
 - red = redukce
 - roz = rozšíření

Tabulka (Tabulka 51), která následuje na další straně, obsahuje výpočet celkových tlakových ztrát na nové trase pro jednotlivé počítané rychlosti.

Tabulka 51: Výpočet celkových výsledných ztrát nové trasy za běžného provozu

Rychlost	Průtok	Ztráty		
		Tření	Místní	Celkem
(m.s ⁻¹)	(m ³ .s ⁻¹)	(m)	(m)	(m)
0.59	0.115	0.358	0.313	0.671
0.69	0.135	0.485	0.425	0.910
0.78	0.154	0.631	0.556	1.187
0.88	0.173	0.797	0.703	1.500
0.98	0.192	0.981	0.868	1.849
1.08	0.212	1.185	1.050	2.235
1.18	0.231	1.408	1.250	2.658
1.27	0.250	1.650	1.467	3.117
1.37	0.269	1.912	1.702	3.613
1.47	0.289	2.192	1.953	4.146
1.57	0.308	2.492	2.222	4.714

Následující obrázek (Obrázek 178) je grafickým znázorněním spočtené závislosti tlakových ztrát na průtoku nové trasy za běžného provozu.



Obrázek 178: Graf závislosti tlakových ztrát na průtoku – nová trasa za běžného provozu

Podle výpočtu se hodnoty tlakových ztrát řešeného úseku v nové trase pohybují v intervalu od 0,7 m v. s. při nejmenší doporučené rychlosti na výtlačné větvi čerpadla do 4,7 m v. s. při nejvyšší doporučené rychlosti vody na výtlačné větvi čerpadla.

3.8.2.3 Srovnání tlakových ztrát současné a nové trasy

Tabulka (Tabulka 52) obsahuje výpočet změny tlakových ztrát, absolutního a procentuálního nárůstu ztrát rekonstruovaného potrubí v nové trase oproti současnému potrubí ve stávající trase v závislosti na celkovém průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.

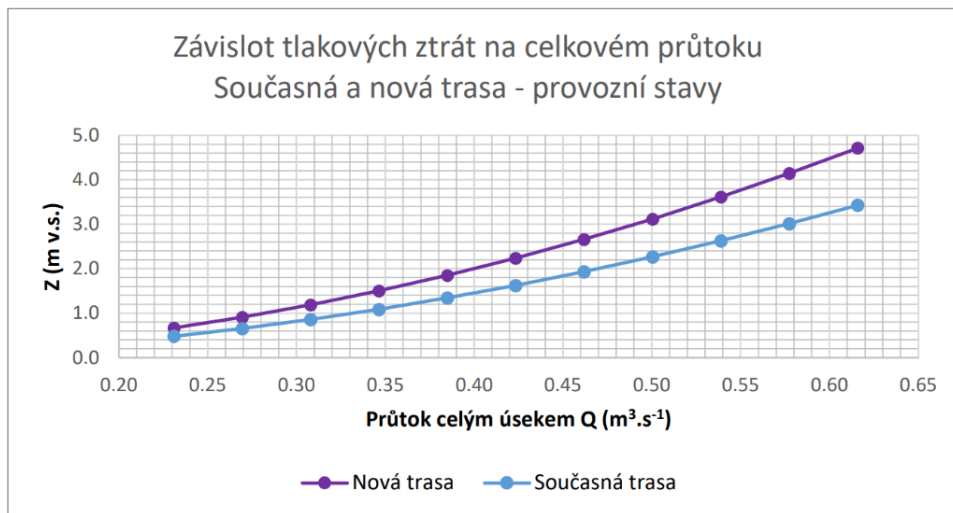
$$\delta = R - S$$

$$\Delta = \frac{\delta}{S} \cdot 100$$

Tabulka 52: Srovnání ztrát současné a nové trasy

Celkový průtok úsekem	Celkové ztráty	S (m)	R (m)	δ (m)	Δ (%)
		Současná trasa	Nová trasa	Navýšení ztrát	Zvýšení ztrát o % z původního
0.231	Z_{\min}	0.484	0.671	0.186	38.5
0.269	Z	0.659	0.910	0.252	38.2
0.308	Z	0.860	1.187	0.327	38.1
0.346	Z	1.087	1.500	0.412	37.9
0.385	Z	1.342	1.849	0.508	37.8
0.423	Z	1.623	2.235	0.612	37.7
0.462	Z	1.931	2.658	0.727	37.7
0.500	Z	2.266	3.117	0.852	37.6
0.539	Z	2.627	3.613	0.986	37.5
0.577	Z	3.015	4.146	1.130	37.5
0.616	Z_{\max}	3.430	4.714	1.284	37.4

Na následujícím obrázku (Obrázek 179) je graf znázorňující zároveň ztráty na současné a nové trase v závislosti na průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.



Obrázek 179: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu v současné a nové trase

Bylo vypočteno, že vzrůst tlakové ztráty se bude pohybovat od 0,2 až 1,3 m v. s. v závislosti na velikosti průtoku (rychlosti) vody v přivaděči. Jedná se o nárůst ztrát na úseku okolo 38 %.

3.8.2.4 Tlakové ztráty nové trasy při nouzovém provozu v případě poruchy jedné větve shybky

V tomto výpočtu se opět jedná o potrubí po rekonstrukci v nové trase, ve které dochází v délce zájmového úseku k rozdělení potrubí z DN 700 na dvě větve potrubí DN 500. Výpočet hydraulických ztrát byl proveden na základě tabulkových hodnot a dokumentace pro stavební povolení. Kvůli srovnatelnosti byla opět vzata hodnota drsnosti litinového potrubí jako 1 mm z tabulky drsností (Tabulka 34).

Větve potrubí shybky jsou na začátku i na konci shybky propojeny v běžném provozním stavu uzavřenými šoupaty. Výpočet předpokládá výpadek jednoho z těchto dvou paralelních potrubí právě v místě shybky.

Proto je počítáno, že v místě začátku rekonstruovaného úseku dojde k rozdělení průtoku do větví jako obvykle. Přímou shybkou voda protéká nouzově pouze jednou větví. Na konci shybky opět dojde k rozdělení průtoku, až do místa napojení stávajícího řadu, kde se průtok opětovně spojí.

Kvůli měnící se velikosti průtoku protékajícího jednou větví potrubí, byl tento výpočet rozdělen na dvě části, pro které byly samostatně spočítány místní a třecí ztráty:

- Výpočet tlakových ztrát obou přilehlých úsecích – jednou větví protéká polovina celkového průtoku.
 - Výpočet tlakových ztrát shybky v nouzovém provozu – veškerý průtok protéká pouze jednou větví.
- následuje: Součet vypočtených ztrát, tedy výpočet celkových ztrát nové trasy při nouzovém provozu.

Vstupní hodnoty shodné pro obě části výpočtu jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 53):

Tabulka 53: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát nové trasy za nouzového provozu

Průměr potrubí:	D	500	mm	0.5	m
Hydraulická drsnost:	Δ	1.0	mm	Litina	
Relativní drsnost:	Δ / D	0.002			
Teplota podle vyhlášky se pohybuje okolo	T	10	°C		
T odpovídající kinematičká viskozita	ν	1.39E-06	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$		
tíhové zrychlení	g	9.81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$		

3.8.2.4.1 Výpočet ztrát shybce přilehlých úseků

Pro úseky, ve kterých je potrubí rozdvojeno a umístěno v zemi, tedy pro úseky potrubí před a za shybkou opět platí:

Paralelní větve začínají a končí prakticky ve stejném místě, z principu paralelních potrubí vyplývá, že ztráty na obou větvích si budou rovny, proto jsou ztráty napočítány pouze na jedné z nich.

Skladba obou větví potrubí je až na ojedinělé výjimky (při rozdělení a spojení) totožná, rozdíl délek jednotlivých větví je nepatrný, proto byl zaveden předpoklad rovnoměrného rozdělení průtoku mezi obě paralelní větve potrubí taktéž na základě principu paralelních potrubí viz kapitola 2.4.4 Paralelní potrubí. Z tohoto předpokladu byly spočítán maximální a minimální průtok, z nich pak byly následně dopočítány rychlosti ve větví potrubí.

Celková délka této části je součtem délek úseků nové trasy před a za shybkou, které byly odečteny z Podélného profilu dokumentace pro stavební povolení (Obrázek 172) a délek propojení větví, jež byly odečteny z Koordinační situace z Dokumentace pro stavební povolení (Obrázek 176).

Následující tabulka (Tabulka 54) obsahuje výpočet rychlostí ve větví na základě předpokládaných rychlostí ve výtlačném řadu před rozdělením potrubí za předpokladu rovnoměrného rozdělení průtoku.

Tabulka 54: Výpočet rychlosti vody nové trasy za nouzového provozu – část: k shybce přilehlé úseky

Stávající potrubí					Větev 1/2 Q stávajícího potrubí Q						
DN=	0.7	m			DN=	0.5	m	Větev			
$v_{\min} =$	0.6	$m \cdot s^{-1}$	$Q_{\min} =$	0.231	$m^3 s^{-1}$	$Q_{\min} =$	0.115	$m^3 s^{-1}$	$v_{\min} =$	0.59	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	0.7	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.269	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.135	$m^3 s^{-1}$	$v =$	0.69	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	0.8	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.308	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.154	$m^3 s^{-1}$	$v =$	0.78	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	0.9	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.346	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.173	$m^3 s^{-1}$	$v =$	0.88	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	1	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.385	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.192	$m^3 s^{-1}$	$v =$	0.98	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	1.1	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.423	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.212	$m^3 s^{-1}$	$v =$	1.08	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	1.2	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.462	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.231	$m^3 s^{-1}$	$v =$	1.18	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	1.3	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.500	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.250	$m^3 s^{-1}$	$v =$	1.27	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	1.4	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.539	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.269	$m^3 s^{-1}$	$v =$	1.37	$m \cdot s^{-1}$
$v =$	1.5	$m \cdot s^{-1}$	$Q =$	0.577	$m^3 s^{-1}$	$Q =$	0.289	$m^3 s^{-1}$	$v =$	1.47	$m \cdot s^{-1}$
$v_{\max} =$	1.6	$m \cdot s^{-1}$	$Q_{\max} =$	0.616	$m^3 s^{-1}$	$Q_{\max} =$	0.308	$m^3 s^{-1}$	$v_{\max} =$	1.57	$m \cdot s^{-1}$

Následující tabulka (Tabulka 55) udává hodnoty výpočtu ztrát třením:

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\Delta}{3,71 \cdot D} \right)} \right)^2$$

Tabulka 55: Výpočet ztrát třením nové trasy za nouzového provozu – část: k šybyce přilehlé úseky

Výpočet ztrát pomocí rovnice Colebrook – White	Q	$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$	4.10 ³ <Re	iterace		iterace	$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$
V		Re		λ1	λ	λ-λ1=0	Zt
(m ¹ .s)	(m ³ .s ⁻¹)	(-)		(-)	(-)	Δλ	(m)
0.59	0.115	2.12E+05	OK	0.024	2.43E-02	0.000	0.191
0.69	0.135	2.47E+05	OK	0.024	2.41E-02	0.000	0.259
0.78	0.154	2.83E+05	OK	0.024	2.40E-02	0.000	0.337
0.88	0.173	3.18E+05	OK	0.024	2.40E-02	0.000	0.426
0.98	0.192	3.53E+05	OK	0.024	2.39E-02	0.000	0.525
1.08	0.212	3.89E+05	OK	0.024	2.39E-02	0.000	0.633
1.18	0.231	4.24E+05	OK	0.024	2.38E-02	0.000	0.753
1.27	0.250	4.59E+05	OK	0.024	2.38E-02	0.000	0.882
1.37	0.269	4.94E+05	OK	0.024	2.38E-02	0.000	1.022
1.47	0.289	5.30E+05	OK	0.024	2.38E-02	0.000	1.172
1.57	0.308	5.65E+05	OK	0.024	2.37E-02	0.000	1.332

V tabulce níže (Tabulka 56) jsou uvedeny hodnoty výpočtu místních ztrát. Hodnoty Re v předchozí tabulce jsou totožné s hodnotami při výpočtu 3.8.2.2 Tlakové ztráty nové trasy za běžného provozního stavu, proto opět lze použít součinitelé místních ztrát v kolenech podle Thomy (Tabulka 40).

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g}$$

Tabulka 56: Výpočet místních ztrát nové trasy z nouzového provozu – část: k šybyce přilehlé úseky

Tvarovky armatury	Počet kusů	v(m/s)	0.59	0.69	0.78	0.88	0.98	1.08	1.18	1.27	1.37	1.47	1.57
		Q(m ³ /s)	0.115	0.135	0.154	0.173	0.192	0.212	0.231	0.250	0.269	0.289	0.308
		ξ(-)	Místní ztráty na jednotlivých typech tvarovek a armatur pro danou rychlost Z _m (m)										
red	1	0.220	0.004	0.005	0.007	0.009	0.011	0.013	0.016	0.018	0.021	0.024	0.028
roz	1	0.995	0.018	0.024	0.031	0.039	0.049	0.059	0.070	0.082	0.095	0.110	0.125
š	4	0.200	0.014	0.019	0.025	0.032	0.039	0.047	0.056	0.066	0.077	0.088	0.100
90°	0	1.270	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
45°	3	0.320	0.017	0.023	0.030	0.038	0.047	0.057	0.068	0.079	0.092	0.106	0.120
11°	3	0.044	0.002	0.003	0.004	0.005	0.006	0.008	0.009	0.011	0.013	0.015	0.017
Tz	4	1.800	0.127	0.173	0.226	0.285	0.352	0.426	0.508	0.596	0.691	0.793	0.902
Celkové Z_m (m):			0.182	0.247	0.323	0.409	0.505	0.610	0.727	0.853	0.989	1.135	1.292

Vysvětlivky armatur a tvarovek: - 90°, 45°, 11° = koleno o daném úhlu

- š = šoupě, - red = redukce, - roz = rozšíření

- Tz = tvarovka T protékající do zatáčky

3.8.2.4.2 Výpočet tlakové ztráty shybky v nouzovém provozu

Tato část výpočtu zpracovává přímo úsek shybky. Jedna větev shybky je z důvodu poruchy vyřazena z provozu (uzavřena z obou stran uzávěry) a voda protéká pouze jednou větví. Právě možnost uzavření jedné ze dvou větví shybky a vzájemné propojení těchto větví šoupaty, jejichž otevřením lze průtok přes shybku přepravovat právě pouze jednou větví, výrazně zvyšuje zabezpečení dodávky vody do závislých vodojemů.

Celková délka této části nové trasy (shybky) byla odečtena z Podélného profilu Dokumentace pro stavební povolení (Obrázek 172).

Výpočet rychlostí a objemů vody protékající shybkou je uveden v následující tabulce (Tabulka 57). Na začátku shybky dojde k soutoku průtoku ze dvou paralelních větví potrubí DN 500 do větve shybky o téže průměru, výpočet tedy vychází z rychlostí a průtoku na těchto větvích.

Tabulka 57: Výpočet rychlosti vody nové trasy za nouzového provozu – část: shybka

Shybce předcházející úsek – větev					Všechn průtok protéká pouze jednou větví				
DN=	0.5	m	Q _{1/2} celkového Q		DN=	0.5	m	Shybka	
v _{min} =	0.59	m.s ⁻¹	Q _{min} =	0.12 m ³ s ⁻¹	Q _{min} =	0.23 m ³ s ⁻¹	v _{min} =	1.18	m.s ⁻¹
v=	0.69	m.s ⁻¹	Q=	0.13 m ³ s ⁻¹	Q=	0.27 m ³ s ⁻¹	v=	1.37	m.s ⁻¹
v=	0.78	m.s ⁻¹	Q=	0.15 m ³ s ⁻¹	Q=	0.31 m ³ s ⁻¹	v=	1.57	m.s ⁻¹
v=	0.88	m.s ⁻¹	Q=	0.17 m ³ s ⁻¹	Q=	0.35 m ³ s ⁻¹	v=	1.76	m.s ⁻¹
v=	0.98	m.s ⁻¹	Q=	0.19 m ³ s ⁻¹	Q=	0.38 m ³ s ⁻¹	v=	1.96	m.s ⁻¹
v=	1.08	m.s ⁻¹	Q=	0.21 m ³ s ⁻¹	Q=	0.42 m ³ s ⁻¹	v=	2.16	m.s ⁻¹
v=	1.18	m.s ⁻¹	Q=	0.23 m ³ s ⁻¹	Q=	0.46 m ³ s ⁻¹	v=	2.35	m.s ⁻¹
v=	1.27	m.s ⁻¹	Q=	0.25 m ³ s ⁻¹	Q=	0.50 m ³ s ⁻¹	v=	2.55	m.s ⁻¹
v=	1.37	m.s ⁻¹	Q=	0.27 m ³ s ⁻¹	Q=	0.54 m ³ s ⁻¹	v=	2.74	m.s ⁻¹
v=	1.47	m.s ⁻¹	Q=	0.29 m ³ s ⁻¹	Q=	0.58 m ³ s ⁻¹	v=	2.94	m.s ⁻¹
v _{max} =	1.57	m.s ⁻¹	Q _{max} =	0.31 m ³ s ⁻¹	Q _{max} =	0.62 m ³ s ⁻¹	v _{max} =	3.14	m.s ⁻¹

Následující tabulka (Tabulka 58) udává hodnoty výpočtu ztrát třením:

Tabulka 58: Výpočet ztrát třením nové trasy za nouzového provozu – část: shybka

$$\lambda = \left(\frac{1}{-2 \cdot \log \left(\frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{4}{3,71 \cdot D} \right)} \right)^2$$

Výpočet ztrát pomocí rovnice Colebrook – White	Q	$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$	4.10 ³ <Re	iterace		iterace	$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$
V		Re		λ ₁	λ	λ-λ ₁ =0	Z _t
(m ¹ .s)	(m ³ .s ⁻¹)	(-)		(-)	(-)	Δλ	(m)
1.18	0.231	4.24E+05	OK	0.024	2.38E-02	0.000	0.669
1.37	0.269	4.94E+05	OK	0.024	2.38E-02	0.000	0.908
1.57	0.308	5.65E+05	OK	0.024	2.37E-02	0.000	1.183
1.76	0.346	6.36E+05	OK	0.024	2.37E-02	0.000	1.496
1.96	0.385	7.06E+05	OK	0.024	2.37E-02	0.000	1.844
2.16	0.423	7.77E+05	OK	0.024	2.36E-02	0.000	2.229
2.35	0.462	8.48E+05	OK	0.024	2.36E-02	0.000	2.651
2.55	0.500	9.18E+05	OK	0.024	2.36E-02	0.000	3.109
2.74	0.539	9.89E+05	OK	0.024	2.36E-02	0.000	3.603
2.94	0.577	1.06E+06	OK	0.024	2.36E-02	0.000	4.134
3.14	0.616	1.13E+06	OK	0.024	2.36E-02	0.000	4.702

V tabulce níže (Tabulka 59) jsou uvedeny hodnoty výpočtu místních ztrát. V případě součinitelů místních ztrát v kolenech podle Thomy (Tabulka 40) musí být opět uvážena podmínka $Re > 2,10^5$. V předchozím výpočtu ztrát třením (Tabulka 58) bylo Re spočítáno jako $4,24 \cdot 10^5$ a $1,13 \cdot 10^6$, obě tyto hodnoty podmínku splňují. Součinitel náhlé ztráty zúžením byl odečten z tabulky náhlé ztráty podle Tullise (Tabulka 41) a součinitel náhlého rozšíření byl stanoven lineární interpolací z tabulky ztrát náhlým rozšířením (Tabulka 42).

Tabulka 59: Výpočet místních ztrát nové trasy z nouzového provozu – část: shybka

$$Z_m = \xi \frac{v^2}{2g}$$

Tvarovky armatury	Počet kusů	v(m/s)	1.18	1.37	1.57	1.76	1.96	2.16	2.35	2.55	2.74	2.94	3.14
		Q(m ³ /s)	0.231	0.269	0.308	0.346	0.385	0.423	0.462	0.500	0.539	0.577	0.616
		ξ(-)	Místní ztráty na jednotlivých typech tvarovek a armatur pro danou rychlost Z _m (m)										
Š	2	0.200	0.028	0.038	0.050	0.063	0.078	0.095	0.113	0.132	0.154	0.176	0.200
90°	2	1.270	0.179	0.244	0.318	0.403	0.497	0.602	0.716	0.840	0.975	1.119	1.273
11°	2	0.044	0.006	0.008	0.011	0.014	0.017	0.021	0.025	0.029	0.034	0.039	0.044
Tr	1	0.600	0.042	0.058	0.075	0.095	0.117	0.142	0.169	0.199	0.230	0.264	0.301
Tz	4	1.800	0.508	0.691	0.902	1.142	1.410	1.706	2.030	2.382	2.763	3.172	3.609
Celkové Z_m (m):			0.763	1.039	1.357	1.717	2.120	2.565	3.053	3.583	4.155	4.770	5.428

Vysvětlivky armatur a tvarovek: - 90°, 11° = koleno o daném úhlu

š = šoupě, Tr = tvarovka T protékaná rovně, Tz = tvarovka T protékané do zatáčky

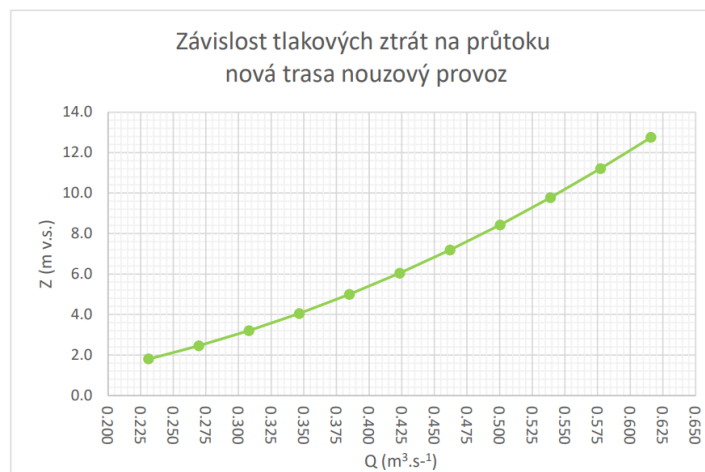
3.8.2.4.3 Výpočet celkových ztrát nové trasy při nouzovém provozu

Následující tabulka (Tabulka 60) obsahuje výpočet celkových tlakových ztrát na nové trase při nouzovém provozu součtem tlakových dílčích ztrát.

Tabulka 60: Výpočet celkových výsledných ztrát nové trasy za nouzového provozu

Rychlost	Průtok	Ztráty			Rychlost	Průtok	Ztráty			Obě části celkem
		třením	Místní	Celkem			třením	místní	Celkem	
V	Q	m	m	m	V	Q	m	m	m	m
m.s ⁻¹	m ³ .s ⁻¹				m.s ⁻¹	m ³ .s ⁻¹				
1.18	0.231	0.669	0.763	1.432	0.59	0.115	0.191	0.182	0.373	1.805
1.37	0.269	0.908	1.039	1.947	0.69	0.135	0.259	0.247	0.507	2.453
1.57	0.308	1.183	1.357	2.540	0.78	0.154	0.337	0.323	0.660	3.201
1.76	0.346	1.496	1.717	3.213	0.88	0.173	0.426	0.409	0.835	4.047
1.96	0.385	1.844	2.120	3.964	0.98	0.192	0.525	0.505	1.029	4.993
2.16	0.423	2.229	2.565	4.795	1.08	0.212	0.633	0.610	1.244	6.039
2.35	0.462	2.651	3.053	5.704	1.18	0.231	0.753	0.727	1.479	7.183
2.55	0.500	3.109	3.583	6.692	1.27	0.250	0.882	0.853	1.735	8.427
2.74	0.539	3.603	4.155	7.759	1.37	0.269	1.022	0.989	2.011	9.770
2.94	0.577	4.134	4.770	8.905	1.47	0.289	1.172	1.135	2.307	11.212
3.14	0.616	4.702	5.428	10.129	1.57	0.308	1.332	1.292	2.624	12.753

Na následujícím obrázku (Obrázek 180) je graf znázorňující ztráty na nové trase za nouzového provozu v závislosti na celkovém průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.



Obrázek 180: Graf závislosti ztrát na průtoku za nouzového provozu nové trasy

Podle výpočtu se hodnoty tlakových ztrát řešeného úseku v nové trase při nouzovém provozu pohybují od 1,8 m v. s. (při nejmenší doporučené rychlosti na výtlačné větvi čerpadla) do 12,8 m v. s. (při nejvyšší doporučené rychlosti vody na výtlačné větvi čerpadla.)

3.8.2.5 Srovnání tlakových ztrát za nouzového provozu nové trasy se ztrátami současné a nové trasy za běžného provozu

Tabulka (Tabulka 61) obsahuje výpočet nárůstu ztrát rekonstruovaného potrubí v nové trase za nouzového provozu oproti běžnému provoznímu stavu v nové a současné trase v závislosti na celkovém průtoku.

Tabulka 61: Srovnání ztrát nouzového provozu nové trasy a současné a nové trasy v běžném provozu

Celkový průtok úsekem	S (m)	R (m)	Rn(m)	δs (m)	δr (m)	Δs(%)	Δr(%)
	Současná trasa	Nová trasa	Nouzový provoz nové trasy	Navyšeni ztrát: nouzový provoz – současné trasy	Navyšeni ztrát: nouzový provoz n.t.- nová trasa	Zvýšení ztrát o % ze současné trasy	Zvýšení ztrát o % z nové trasy
0.231	0.484	0.671	1.432	0.948	0.761	195.7	113.5
0.269	0.659	0.910	1.947	1.288	1.036	195.6	113.8
0.308	0.860	1.187	2.540	1.681	1.354	195.5	114.0
0.346	1.087	1.500	3.213	2.126	1.713	195.5	114.2
0.385	1.342	1.849	3.964	2.622	2.115	195.4	114.4
0.423	1.623	2.235	4.795	3.172	2.559	195.4	114.5
0.462	1.931	2.658	5.704	3.773	3.046	195.4	114.6
0.500	2.266	3.117	6.692	4.426	3.574	195.3	114.7
0.539	2.627	3.613	7.759	5.132	4.146	195.3	114.7
0.577	3.015	4.146	8.905	5.889	4.759	195.3	114.8
0.616	3.430	4.714	10.129	6.699	5.415	195.3	114.9

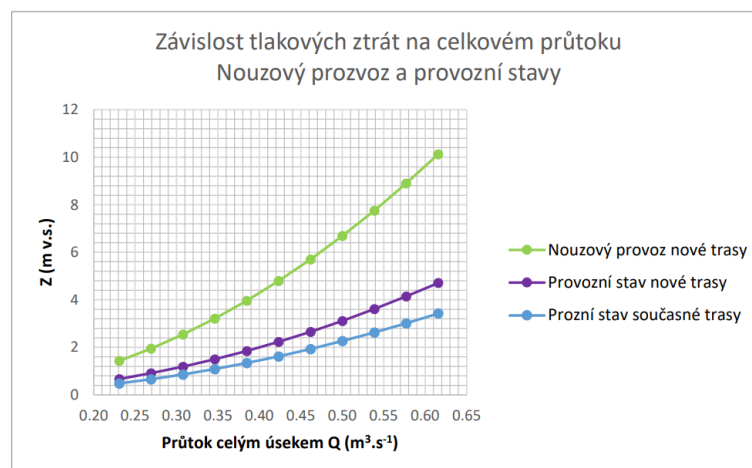
$$\Delta_S = \frac{\delta_S}{S} \cdot 100$$

$$\Delta_R = \frac{\delta_R}{R} \cdot 100$$

$$\delta_S = R_n - S$$

$$\delta_R = R_n - R$$

Na následujícím obrázku (Obrázek 181) je graf znázorňující ztráty nouzového provozu a běžných provozů v závislosti na průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.



Obrázek 181: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za nouzového provozu nové trasy a za běžného provozu v současné a nové trase

Nárůst tlakové ztráty za nouzového provozu při doporučených rychlostech na výtlačném řadu čerpadla by se pohyboval od 0,8 do 5,4 m v.s. v porovnání s běžnými provozními hodnotami nové trasy (a od 0,9 do 6,7 m v.s. ve srovnání se současným stavem). Takto vysoké ztráty představují více jak 100% nárůst ztrát úseku oproti oběma provozním stavům.

3.8.3 Potřebné výpočty pro rekonstrukce variant č. 1 a 2

3.8.3.1 Tlakové ztráty současně shybky za běžného provozu

V tomto případě by došlo ke změnám pouze v místě shyby, proto se oproti výpočtu u varianty rekonstrukce č. 3 změnila délka zájmového úseku. Jinak se jedná o zcela totožný výpočet.

Při výpočtu bylo zkontrolováno, že jsou splněny všechny podmínky pro možné použití všech užitých vzorců a tabulek.

V následující tabulce (Tabulka 62) jsou uvedené vstupní údaje výpočtu.

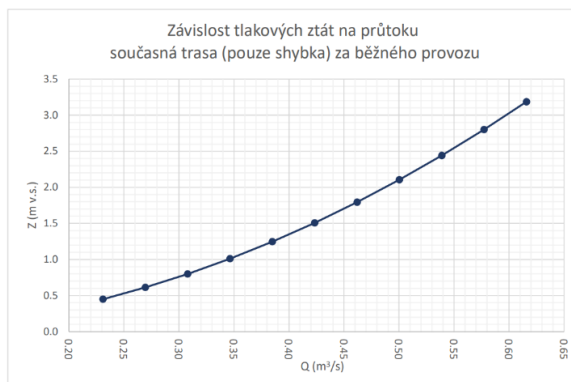
Tabulka 62: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát současně shybky za běžného provozu

Délka úseku:	L	290	m
Vnitřní průměr potrubí:	D	700	mm 0.7 M
Hydraulická drsnost:	Δ	3.0	mm (inkrustovaná ocel)
Relativní drsnost:	Δ/D	0.0043	
Teplota podle vyhlášky se pohybuje okolo:	T	10	°C
T odpovídající kinematická viskozita:	ν	1.39E-06	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
Tíhové zrychlení:	G	9.81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$
Předpokládané rychlosti na výtlačném řadu podle normy ČSN 75 5301	v_{\min}	0.6	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$
	v_{\max}	1.6	$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Níže vlevo je uvedena výsledná tabulka ztrát místních a ztrát třením (Tabulka 63) a vpravo je graf místních ztrát na shybce v současnosti (Obrázek 182).

Tabulka 63: Výpočet celkových výsledných ztrát současně shybky za běžného provozu

Rychlost V ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Průtok Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Ztráty		
		třením (m)	místní (m)	Celkem (m)
0.6	0.231	0.223	0.227	0.450
0.7	0.269	0.303	0.309	0.612
0.8	0.308	0.395	0.403	0.798
0.9	0.346	0.500	0.510	1.010
1	0.385	0.616	0.630	1.246
1.1	0.423	0.745	0.762	1.507
1.2	0.462	0.886	0.907	1.793
1.3	0.500	1.040	1.064	2.104
1.4	0.539	1.206	1.235	2.440
1.5	0.577	1.383	1.417	2.801
1.6	0.616	1.574	1.612	3.186



Obrázek 182: Graf závislosti ztrát na průtoku současně shybky za běžného provozu

Podle výpočtu se hodnoty tlakových ztrát shybky v nové trase při běžném provozu pohybují v intervalu od 0,5 m v. s. při nejmenší doporučené rychlosti na výtlačné větvi čerpadla do 3,2 m v. s. při nejvyšší doporučené rychlosti vody na výtlačné větvi čerpadla.

3.8.3.2 Tlakové ztráty shybky v případě varianty rekonstrukce č. 1 za běžného provozu

V případě rekonstrukce v této variantě by došlo ve vztahu k tlakovým ztrátám pouze k sanaci současného vodovodního potrubí DN 700 ve stávající trase. Také skladba armatur by byla zachována, ačkoli by se samotné armatury osadily nové.

V následující tabulce (Tabulka 64) jsou uvedené vstupní údaje výpočtu.

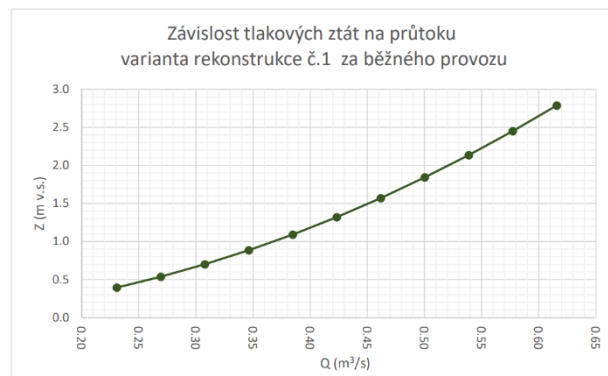
Tabulka 64: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát varianty rekonstrukce č.1 za běžného provozu

Délka úseku:	L	290	M
Vnitřní průměr potrubí:	D	700	Mm 0.7 m
Hydraulická drsnost:	Δ	1.0	mm
Relativní drsnost:	Δ / D	0.0014	
Teplota podle vyhlášky pohybuje okolo:	T	10	°C
T odpovídající kinematická viskozita:	V	1.39E-06	m ³ .s ⁻¹
Tíhové zrychlení:	G	9.81	m.s ⁻²
Předpokládané rychlosti na výtlačném řadu podle normy ČSN 75 5301	v _{min}	0.6	m.s ⁻¹
	v _{max}	1.6	m.s ⁻¹

Níže vlevo je uvedena výsledná tabulka ztrát místních a ztrát třením (Tabulka 65) a vpravo je graf místních ztrát na shybce v současnosti (Obrázek 183).

Tabulka 65: Výpočet celkových tlakových ztrát varianty rekonstrukce č. 1 za běžného provozu

Rychlost V (m.s ⁻¹)	Průtok Q (m ³ .s ⁻¹)	Ztráty		
		Třením (m)	Místní (m)	celkem (m)
0.6	0.231	0.169	0.227	0.396
0.7	0.269	0.229	0.309	0.537
0.8	0.308	0.298	0.403	0.701
0.9	0.346	0.376	0.510	0.886
1	0.385	0.463	0.630	1.092
1.1	0.423	0.559	0.762	1.321
1.2	0.462	0.664	0.907	1.571
1.3	0.500	0.778	1.064	1.843
1.4	0.539	0.901	1.235	2.136
1.5	0.577	1.034	1.417	2.451
1.6	0.616	1.175	1.612	2.787



Obrázek 183: Graf závislosti ztrát na průtoku – varianta rekonstrukce č.1 za běžného provozu

Podle výpočtu by se hodnoty tlakových ztrát shybky v případě realizace varianty rekonstrukce č. 1 za běžného provozu pohybovali v intervalu od 0,4 m v. s. (při nejmenší doporučené rychlosti na výtlačné větvi čerpadla) do 2,8 m v. s. (při nejvyšší doporučené rychlosti vody na výtlačné větvi čerpadla.)

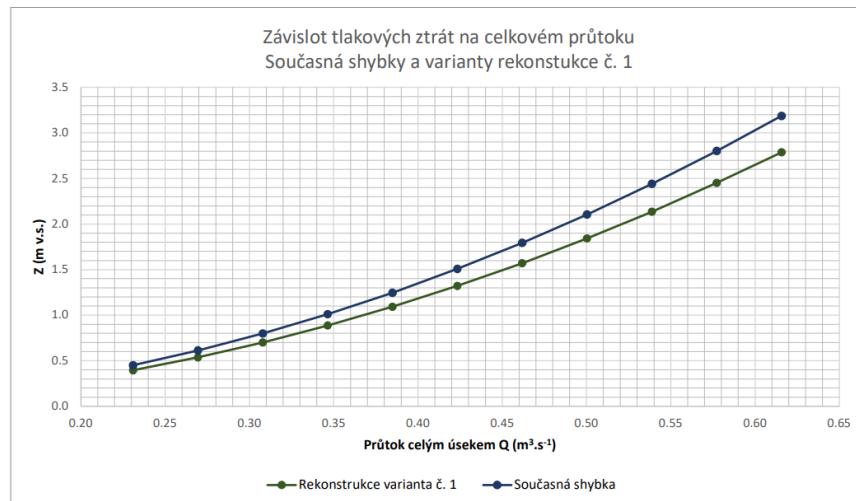
3.8.3.3 Srovnání tlakových ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č. 1

Tabulka (Tabulka 66) obsahuje výpočet změny tlakových ztrát, absolutního a procentuálního nárůstu ztrát rekonstruovaného potrubí v nové trase oproti současnému potrubí ve stávající trase v závislosti na celkovém průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.

Tabulka 66: Srovnání ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č.1

Celkový průtok úsekem	Celkové ztráty	S (m)	R ₁ (m)	δ (m)	Δ(%)
		Současná trasa	Varianta 1	Navýšení ztrát	Zvýšení ztrát o % z původního
0.231	Z _{min}	0.450	0.396	-0.054	-12.1
0.269	Z	0.612	0.537	-0.074	-12.2
0.308	Z	0.798	0.701	-0.098	-12.2
0.346	Z	1.010	0.886	-0.124	-12.3
0.385	Z	1.246	1.092	-0.154	-12.3
0.423	Z	1.507	1.321	-0.187	-12.4
0.462	Z	1.793	1.571	-0.223	-12.4
0.500	Z	2.104	1.843	-0.262	-12.4
0.539	Z	2.440	2.136	-0.304	-12.5
0.577	Z	2.801	2.451	-0.350	-12.5
0.616	Z _{max}	3.186	2.787	-0.399	-12.5

Na následujícím obrázku (Obrázek 184) je graf znázorňující zároveň ztráty na současné a nové trase v závislosti na průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.



Obrázek 184: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu v současnosti a rekonstrukce č.1

Bylo vypočteno, že v případě varianty rekonstrukce č.1 by došlo k mírnému snížení tlakových ztrát. Snížení by se pohybovalo od 0,1 až 0,3 m v. s. v závislosti na velikosti průtoku (rychlosti) vody v přivaděči. Jedná se o snížení ztrát na úseku o něco málo přes 12 %.

3.8.3.4 Tlakové ztráty shybky v případě varianty rekonstrukce č. 2 za běžného provozu

V případě rekonstrukce v této variantě by došlo ve vztahu k tlakovým ztrátám pouze k nahrazení 1 x DN 700 z oceli za 2 x DN 400 nebo 2x DN 500 z tvárné litiny v místě shybky.

Při výpočtu bylo zkontrolováno, že jsou splněny všechny podmínky pro možné použití všech užitých vzorců a tabulek.

Pro výpočet byly předpokládány (až na redukce a rozšíření) totožné součinitelé místních ztrát (tedy totožná skladba větve potrubí) se současnou shybkou. Pro použití DN 400 byl součinitel náhlé ztráty zúžením odečten lineární interpolací z tabulky náhlé ztráty podle Tullise (Tabulka 41). Součinitel náhlého rozšíření byl odečten z tabulky ztrát náhlým rozšířením (Tabulka 42) taktéž lineární interpolací.

3.8.3.4.1 Tlakové ztráty při použití 2x DN 500

V následující tabulce (Tabulka 67) jsou uvedené vstupní údaje výpočtu.

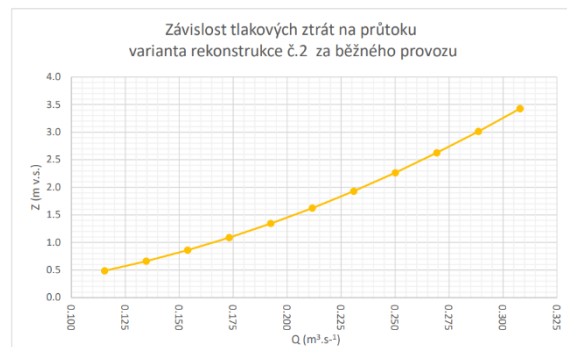
Tabulka 67.: Vstupní hodnoty výpočtu varianty rekonstrukce 2 pro DN 500 za běžného provozu

Délka úseku:	L	290	m
Průměr potrubí:	D	500	mm 0.5 m
Hydraulická drsnost:	Δ	1.0	mm Litina
Relativní drsnost:	Δ/D	0.002	
T podle vyhlášky se pohybuje okolo	T	10	°C
T odpovídající kinematická viskozita	ν	1.39E-06	$m^3.s^{-1}$
Tíhové zrychlení	G	9.81	$m.s^{-2}$

Níže vlevo je uvedena výsledná tabulka ztrát místních a ztrát třením (Tabulka 68) a vpravo je graf místních ztrát na shybce v současnosti (Obrázek 185)

Tabulka 68: Výpočet celkových tlakových ztrát
Varianty rekonstrukce č. 2 pro DN 500 za běžného provozu

Rychlost V ($m.s^{-1}$)	Průtok Q ($m^3.s^{-1}$)	Ztráty		
		Třením (m)	místní (m)	Celkem (m)
0.59	0.115	0.248	0.239	0.487
0.69	0.135	0.336	0.326	0.661
0.78	0.154	0.437	0.425	0.862
0.88	0.173	0.551	0.538	1.090
0.98	0.192	0.679	0.664	1.344
1.08	0.212	0.820	0.804	1.624
1.18	0.231	0.975	0.957	1.931
1.27	0.250	1.142	1.123	2.265
1.37	0.269	1.323	1.302	2.625
1.47	0.289	1.517	1.495	3.012
1.57	0.308	1.725	1.701	3.426



Obrázek 185: Graf závislosti ztrát na průtoku
varianty rekonstrukce č. 2 DN 500

Podle výpočtu by se hodnoty tlakových ztrát shybky v případě realizace varianty rekonstrukce č. 2 a použití 2x DN 500 v běžném provozu pohybovali v intervalu od 0,5 m v. s. (při nejmenší doporučené rychlosti na výtlačné větvi čerpadla) do 3,4 m v. s. (při nejvyšší doporučené rychlosti vody na výtlačné větvi čerpadla.)

3.8.3.4.2 Tlakové ztráty při použití 2x DN 400

V následující tabulce (Tabulka 69) jsou uvedené vstupní údaje výpočtu.

Tabulka 69: Vstupní hodnoty výpočtu varianty rekonstrukce 2 pro DN 400 za běžného provozu

Délka úseku:	L	290	m
Průměr potrubí:	D	400	mm 0.4 m
Hydraulická drsnost:	Δ	1.0	mm Litina
Relativní drsnost:	Δ / D	0.0025	
T podle vyhlášky se pohybuje okolo	T	10	°C
T odpovídající kinematická viskozita	ν	1.39E-06	$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$
tíhové zrychlení	G	9.81	$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Níže vlevo je uvedena výsledná tabulka ztrát místních a ztrát třením (Tabulka 70) a vpravo je graf místních ztrát na shybce v současnosti (Obrázek 186).

Tabulka 70: Výpočet celkových tlakových ztrát varianty rekonstrukce č.2 pro DN 400 za běžného provozu

Rychlost V ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	Průtok Q ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	Ztráty		
		třením (m)	místní (m)	celkem (m)
0.92	0.115	0.794	0.742	1.535
1.07	0.135	1.077	1.009	2.086
1.23	0.154	1.403	1.318	2.721
1.38	0.173	1.772	1.669	3.441
1.53	0.192	2.184	2.060	4.245
1.68	0.212	2.640	2.493	5.133
1.84	0.231	3.138	2.966	6.105
1.99	0.250	3.680	3.482	7.161
2.14	0.269	4.264	4.038	8.302
2.30	0.289	4.892	4.635	9.527
2.45	0.308	5.563	5.274	10.837



Obrázek 186: Graf závislosti ztrát na průtoku variant rekonstrukce č.2 DN 400

Podle výpočtu by se hodnoty tlakových ztrát shybky v případě realizace varianty rekonstrukce č. 2 a použití 2x DN 400 v běžném provozu pohybovali v intervalu od 1,5 m v. s. (při nejmenší doporučené rychlosti na výtlačné větvi čerpadla) do 10,8 m v. s. při nejvyšší doporučené rychlosti vody na výtlačné větvi čerpadla.)

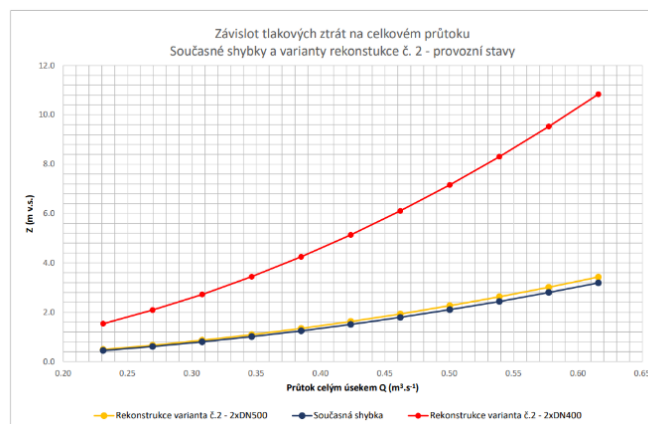
3.8.3.5 Srovnání tlakových ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č.2

Tabulka (Tabulka 71) obsahuje výpočet změny tlakových ztrát, absolutního a procentuálního nárůstu ztrát rekonstruovaného potrubí v nové trase oproti současnému potrubí ve stávající trase v závislosti na celkovém průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.

Tabulka 71: Srovnání ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č. 2

Celkový průtok úsekem	Celkové ztráty	S (m)	R ₅₀₀ (m)	R ₄₀₀ (m)	δ ₅₀₀ (m)	Δ ₅₀₀ (%)	δ ₄₀₀ (m)	Δ ₄₀₀ (%)
		Současná trasa	Varianta 2 2xDN500	Varianta 2 2xDN400	Navýšení ztrát použití DN 500	Zvýšení ztrát o % z původního použití DN 500	Navýšení ztrát použití DN 400	Zvýšení ztrát o % z původního použití DN 400
0.231	Z _{min}	0.450	0.487	1.535	0.037	8.3	1.085	241.4
0.269	Z	0.612	0.661	2.086	0.050	8.1	1.475	241.1
0.308	Z	0.798	0.862	2.721	0.064	8.0	1.923	240.9
0.346	Z	1.010	1.090	3.441	0.080	7.9	2.431	240.7
0.385	Z	1.246	1.344	4.245	0.097	7.8	2.998	240.6
0.423	Z	1.507	1.624	5.133	0.117	7.7	3.625	240.5
0.462	Z	1.793	1.931	6.105	0.138	7.7	4.311	240.4
0.500	Z	2.104	2.265	7.161	0.161	7.6	5.057	240.3
0.539	Z	2.440	2.625	8.302	0.185	7.6	5.862	240.2
0.577	Z	2.801	3.012	9.527	0.212	7.6	6.727	240.2
0.616	Z _{max}	3.186	3.426	10.837	0.240	7.5	7.651	240.1

Na následujícím obrázku (Obrázek 187) je graf znázorňující zároveň ztráty na současné a nové trase v závislosti na průtoku protékajícím výtlačným přivaděčem.



Obrázek 187: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu v současnosti a rekonstrukce č.2

Bylo vypočteno, že v případě varianty rekonstrukce č.2 a použití DN 500 by došlo k velmi mírnému navýšení tlakových ztrát. Navýšení by se pohybovalo od 0 až 0,2 m v. s. v závislosti na velikosti průtoku (rychlosti) vody v přivaděči. Jedná se o snížení ztrát na úseku okolo 7 %.

Dále bylo vypočteno, že v případě varianty rekonstrukce č.2 a použití DN 400 by došlo k velkému navýšení tlakových ztrát. Navýšení by se pohybovalo od 1,1 až 7,7 m v.s. v závislosti na velikosti průtoku (rychlosti) vody v přivaděči. Jedná se o navýšení ztrát na úseku okolo 240 %.

3.8.4 Srovnání běžných provozů všech tří variant rekonstrukce se současným stavem zájmové části výtlačného vodovodního řadu

S ohledem na rozdílné místa napojení uvažovaných variant rekonstrukce na stávající řad (Varianta č. 3 (shybka a úsek 45 m) X Varianty č. 1,2 (pouze shybka), tento délkový rozdíl je dobře vidět na obrázku Koordinační situace rekonstrukce varianty č. 3 (Obrázek 176)), bohužel nelze srovnávat přímo v předešlých kapitolách spočítané hodnoty hydraulických ztrát číselně ani graficky, přesto lze z předchozích výpočtů přímo uvést alespoň následující srovnání procentuálního nárůstu ztrát a délek odpovídajících úseků (Tabulka 72).:

Tabulka 72: Srovnání procentuálních nárůstů hydraulických ztrát jednotlivých variant rekonstrukce

Varianta rekonstrukce		Vybraná	Zavrhnuté		
		Varianta 3	Varianta1	Varianta 2	
Druh rekonstrukce		2xDN500 nová trasa	sanace DN 700	2xDN500	2xDN400
Současná délka		335	290	290	290
Délka rekonstrukce		419	290	290	290
Hlavní výtlačný řad		$\Delta_R(\%)$	$\Delta_{sanace}(\%)$	$\Delta_{500}(\%)$	$\Delta_{400}(\%)$
$v(m.s^{-1})$	$Q(m^3.s^{-1})$				
0.6	0.231	38.5	-12.1	8.3	241.4
0.7	0.269	38.2	-12.2	8.1	241.1
0.8	0.308	38.1	-12.2	8.0	240.9
0.9	0.346	37.9	-12.3	7.9	240.7
1	0.385	37.8	-12.3	7.8	240.6
1.1	0.423	37.7	-12.4	7.7	240.5
1.2	0.462	37.7	-12.4	7.7	240.4
1.3	0.500	37.6	-12.4	7.6	240.3
1.4	0.539	37.5	-12.5	7.6	240.2
1.5	0.577	37.5	-12.5	7.6	240.2
1.6	0.616	37.4	-12.5	7.5	240.1

Pro možnost číselné srovnání hodnot ztrát je zapotřebí přičíst k ztrátám variant rekonstrukce č. 1 a 2 třetí ztráty na přilehlém úseku 45 m, který je v případě těchto variant rekonstrukcí zachován ve stávajícím stavu DN 700, ale zapojuje se do

rekonstrukce č. 3. Jedná se přibližně o 4–24 cm v závislosti na rychlosti vody v řadu. Toto srovnání velikosti ztrát udává následující tabulka (Tabulka 73).

Tabulka 73: Srovnání nárůstů hydraulických ztrát jednotlivých variant rekonstrukce v upravované délce varianty č. 3

Varianta rekonstrukce		Vybraná	Zavrhnuté			Ztráty v současnosti
		Varianta 3	Varianta1	Varianta2		
Druh rekonstrukce		2xDN500 nová trasa	sanace DN 700	2xDN500	2xDN400	
Hlavní výtlačný řad		Z_R(m)	Z_{sanace}(m)	Z₅₀₀(m)	Z₄₀₀(m)	Z_s(m)
v(m.s ⁻¹)	Q(m ³ .s ⁻¹)					
0.6	0.231	0.671	0.430	0.522	1.570	0.484
0.7	0.269	0.910	0.584	0.708	2.133	0.659
0.8	0.308	1.187	0.762	0.923	2.783	0.860
0.9	0.346	1.500	0.963	1.167	3.518	1.087
1	0.385	1.849	1.188	1.439	4.340	1.342
1.1	0.423	2.235	1.436	1.740	5.248	1.623
1.2	0.462	2.658	1.708	2.069	6.242	1.931
1.3	0.500	3.117	2.004	2.426	7.323	2.266
1.4	0.539	3.613	2.323	2.812	8.489	2.627
1.5	0.577	4.146	2.666	3.227	9.742	3.015
1.6	0.616	4.714	3.032	3.670	11.081	3.430

Srovnání hodnot ztrát z výše uvedené tabulky (Tabulka 73) je procentuálně vyjádřeno v následující tabulce (Tabulka 74).

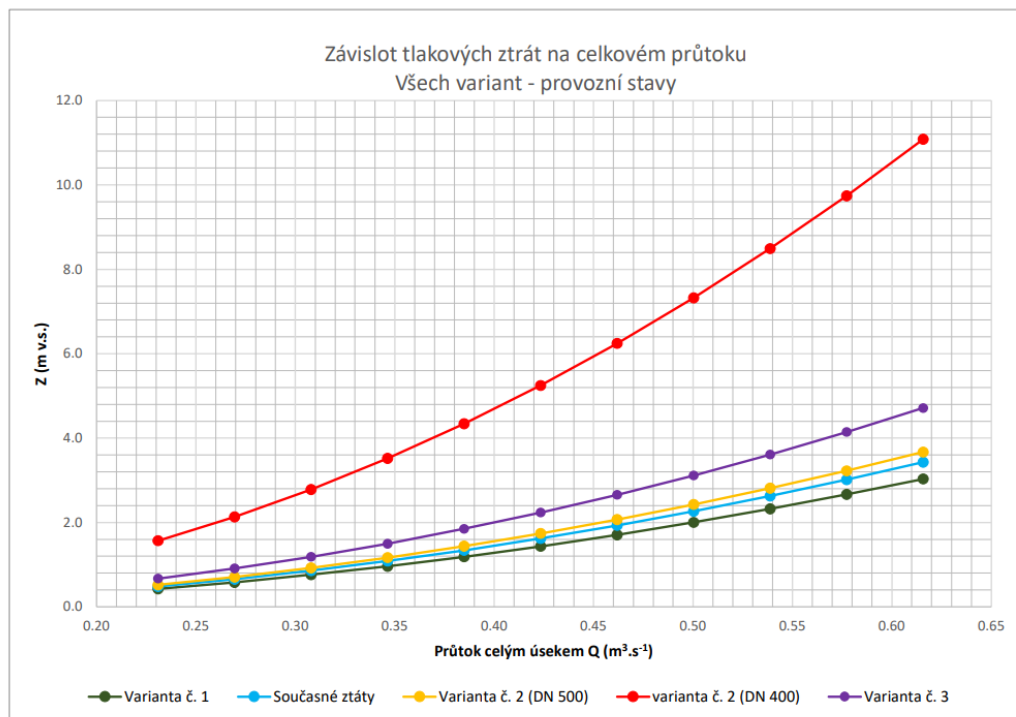
Tabulka 74: Srovnání procentuálních nárůstů ztrát variant rekonstrukce v upravované délce varianty č. 3

Varianta rekonstrukce		Vybraná	Zavrhnuté		
		Varianta 3	Varianta1	Varianta2	
Druh rekonstrukce		2xDN500 nová trasa	sanace DN 700	2xDN500	2xDN400
Hlavní výtlačný řad		Δ_R(%)	Δ_{sanace}(%)	Δ₅₀₀(%)	Δ₄₀₀(%)
v(m.s ⁻¹)	Q(m ³ .s ⁻¹)				
0.6	0.231	38.5	-11.2	7.7	224.1
0.7	0.269	38.2	-11.3	7.5	223.9
0.8	0.308	38.1	-11.4	7.4	223.7
0.9	0.346	37.9	-11.4	7.3	223.6
1	0.385	37.8	-11.5	7.3	223.4
1.1	0.423	37.7	-11.5	7.2	223.3
1.2	0.462	37.7	-11.5	7.1	223.3
1.3	0.500	37.6	-11.6	7.1	223.2
1.4	0.539	37.5	-11.6	7.1	223.1
1.5	0.577	37.5	-11.6	7.0	223.1
1.6	0.616	37.4	-11.6	7.0	223.0

Z předchozí tabulky procentuálního navýšení hydraulických ztrát v délce úseku změněny při rekonstrukci č. 3 je patrné, že započítáním třecích ztrát na úseku zapojeném do rekonstrukce varianty číslo 3, nedojde k významným změnám výsledků procentuálního porovnání.

Z tabulky (Tabulka 74). tedy vyplývá, že realizací rekonstrukce varianty č. 3 dojde v běžném provozním stavu k navýšení ztrát okolo 38 %. Na úseku o stejné délce, v jaké dojde ke změnám při realizaci varianty rekonstrukce číslo 3 by došlo při variantě rekonstrukce č. 1 k mírnému snížení ztrát okolo 12 %, u varianty rekonstrukce č. 2 by při použití DN 500 došlo pouze k mírnému zvýšení ztrát přibližně okolo 7 % a při použití DN 400 by došlo k významnému nárůstu ztrát přibližně o 2,2násobek současných ztrát.

Následující obrázek (Obrázek 188) obsahuje grafické srovnání všech hydraulických ztrát variant rekonstrukce v celé délce zapojené do rekonstrukce č. 3.



Obrázek 188: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu v současnosti a všech zvažovaných variant rekonstrukce

4. Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá vodárenstvím. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část.

V teoretické části je zpracována obecná rešerše o vodárenství. Jsou v ní představeny základní objekty, výpočty, pojmy a principy vodárenského systému.

Předmětem řešení praktické části je vodovodní shybka pod železničním nádražím Jižní Předměstí v Plzni. Kvůli nevyhovujícímu stávajícímu stavu podchodu, ve kterém je shybka umístěna, se zde postaví nový vodovodní podchod v nové trase a stávající vodovodní potrubí DN 700 bude v tomto úseku nahrazeno novým potrubím 2x DN 500.

S ohledem na délku zájmového úseku vodovodní shybky bylo potrubí uvažováno jako hydraulicky krátké. Celkové hydraulické tlakové ztráty byly tedy vypočteny jako součet ztrát třením a ztrát místních.

V rámci hydraulického posouzení byly provedeny zejména tři výpočty a to: výpočet celkových hydraulických ztrát současné trasy potrubí v běžném provozním stavu, výpočet ztrát nové trasy potrubí v běžném provozním stavu a výpočet ztrát nové trasy v nouzovém provozním stavu.

Dále pak byly provedeny výpočty ztrát běžných provozních stavů ostatních variant rekonstrukce, které byly pro opravu zájmového úseku zvažovány.

Hydraulické posouzení potvrdilo, že při realizaci vybrané rekonstrukce (varianta rekonstrukce č. 3) lze očekávat na řešeném úseku navýšení hydraulických tlakových ztrát. Velikost ztrát za běžného provozního stavu se zvýší v závislosti na průtoku přivaděčem o 0,2 - 1,3 m v. s. Procentuálně se jedná o nárůst ztrát na zájmovém úseku oproti současnosti okolo 38 %.

S ohledem na celkové geodetické převýšení a celkovou délku potrubí z UV Homolka do VDJ Sylván, na kterém se shybka nachází, je toto navýšení pravděpodobně bezvýznamné a lze pokládat, že kvůli němu nebude nutné přistoupit k výměně čerpadel.

Následně bylo posouzeno navýšení hydraulických ztrát při nouzovém provozu nové shybky (jedna potrubní větev uzavřená) oproti běžnému provozu současné a nové shybky. V případě poruchy jedné z větví vodovodní shybky, bude po rekonstrukci možné vodu nouzově vést pouze jednou větví shybky.

V takovém případě lze očekávat nárůst hydraulických ztrát o 0,8 m oproti novému provoznímu stavu (a minimálně o 0,9 m oproti současnému provoznímu stavu). Ztráty by výrazně narůstaly společně s velikostí průtoku.

Lze proto přepokládat, že by sice v takovém případě nebylo možné zásobení v maximální možné míře během běžného provozního stavu, ale zároveň by nedošlo k celkovému výpadku dodávky vody, ale maximálně k omezení množství dodávané vody. K přepravení potřebného objemu by tedy bylo zapotřebí čerpat vodu po delší denní dobu nebo použít vyššího výkonu čerpadel.

Z porovnání všech zvažovaných variant rekonstrukce je patrné, že nejméně hydraulický příznivý návrh je varianta rekonstrukce č. 2 při provedení s 2 x DN 400 (rozdělení průtoku do dvou větví umístěných v sanovaném současném podchodu).

Naopak hydraulicky nejpříznivějším návrhem je v krátkém časovém horizontu varianta č. 1 (sanace úseku potrubí DN 700 a sanace současného podchodu). Významné nevýhody této varianty rekonstrukce jsou: kratší životnost sanovaného potrubí oproti novému a nenavýšení zabezpečení dopravy vody v tomto kritickém místě výtlačného řadu.

Z dlouhodobého pohledu je proto spíše výhodná varianta č. 2 při provedení s 2 x DN 500, která by v případě realizace vyvolala jen mírné zvýšení tlakových ztrát a zároveň navýšila zabezpečení dopravy vody. Její hlavní nevýhodou jsou zejména stísněné prostorové podmínky v podchodě.

Uváží-li se, že všechny výše jmenované varianty mají také provozní nevýhodu v nutnosti trvalého čerpání vody ze sanovaného podchodu, lze závěrem konstatovat, že přestože varianta rekonstrukce č. 3 (tedy záměna výtlačného potrubí z DN 700 na 2x DN 500 vedené v nové delší trase) je investičně nejnáročnější a její realizací dojde k o něco vyššímu navýšení hydraulických ztrát, a tím k navýšení celkové energie na dopravu vody, tak s ohledem na důležitost dodávky vody z ÚV Homolka do VDJ Sylván je tato varianta rekonstrukce nejvýhodnějším řešením. Výhodami této varianty rekonstrukce jsou zejména: navýšení zabezpečení dopravy vody v tomto kritickém místě výtlačného řadu, soulad s plánem doplnění vodohospodářských staveb v Plzni, bezproblémové zachování provozu stávajícího vodovodního řadu během výstavby a významné navýšení životnosti řadu v tomto úseku.

5. Seznamy

5.1 Seznam obrázků

Obrázek 1: Místní vodovod se dvěma vodními zdroji [3]	13
Obrázek 2: Územní působnost vodárenských soustav [2]	13
Obrázek 3: Územní působnost vodárenských soustav – skupinový vodovod [2]	14
Obrázek 4: Skupinové vodovody [6]	14
Obrázek 5: Územní působnost vodárenských soustav d) oblastní vodovod [2]	15
Obrázek 6: Oblastní vodovod s několika zdroji [3]	15
Obrázek 7: Možnosti řešení vodárenských distribučních systémů [4] a	15
Obrázek 8: Schéma zásobování pitnou vodou od zdroje ke spotřebišti [5]	16
Obrázek 9: Systém zásobování pitnou vodou [6]	16
Obrázek 10: Druhy zvodní podle napjatosti hladiny podzemní vody [8]	17
Obrázek 11: Pramenná jímka [4]	20
Obrázek 12: Kopaná studna [62]	21
Obrázek 13: Vrtaná studna [62]	21
Obrázek 14: Příčný řez galerií a jímkou [12]	21
Obrázek 15: Jímací zářez. Drenáž zvodnělé vrstvy [4]	21
Obrázek 16: Studna s horizontálními jímači [2]	22
Obrázek 17: Odběrný věžový objekt [63]	23
Obrázek 18: Odběrné objekty v tekoucí vodě [2]	23
Obrázek 19: Břehový odběrný objekt [4]	23
Obrázek 20: Jednostupňová úprava vody [7]	25
Obrázek 21: Jednostupňová úprava [5]	25
Obrázek 22: Dvoustupňová úprava vody [7]	25
Obrázek 23: Dvoustupňová úprava [5]	25
Obrázek 24: Rychlomísiče, vločkovací a usazovací nádrže [5]	29
Obrázek 25: Čiřič ČSAV a Galeriový čiřič [5]	30
Obrázek 26: Spauldingův precipitátor a Čiřič Accelator [5]	30
Obrázek 27: Porovnání metod úpravy vody filtrací podle velikosti odstraňovaných částic [5]	31
Obrázek 28: Schéma úpravy vody při použití pomalé filtrace [15]	32
Obrázek 29: Uspořádání pomalého filtru [5]	32

Obrázek 30: Schémata amerického a evropského rychlofiltru [5]	33
Obrázek 31: Schéma tlakových filtrů [5].....	34
Obrázek 32: Mechanické způsoby odkyselování [5].....	40
Obrázek 33: Inkrustované potrubí [14].....	42
Obrázek 34: Inkrustované potrubí [17].....	42
Obrázek 35: Inkrustované potrubí [14].....	42
Obrázek 36: Vhodné a nevhodné umístění věžového vodojemu [4]	44
Obrázek 37: Základní části vodojemu [19].....	45
Obrázek 38: Schéma zemního vodojemu s vrchním plněním [18].....	46
Obrázek 39: Schéma potrubí v nádržích zemního vodojemu [18]	47
Obrázek 40: Řez zemním vodojeme [50]	48
Obrázek 41: Zemní vodojem [50].....	48
Obrázek 42: Vodojem Otvice	49
Obrázek 43: Vodojem Velemyšleves	49
Obrázek 44: Vodojem Louny ul. Průmyslová	49
Obrázek 45: Vodárenská věž Louny	49
Obrázek 46: Vodojem Louny ul. Říční.....	49
Obrázek 47: Hydroglobus s objemem 200 m ² [20]	49
Obrázek 48: Acnaglobus v Tuchoměřicích	49
Obrázek 49: Příklad různých typů čerpacích stanic [25].....	50
Obrázek 50. Příklad automatické čerpací stanice [78]	51
Obrázek 51:Kombinovaná síť e) zokruhovaná větvená f) prstencově paprscitá	53
Obrázek 52: Větvená síť [3]	53
Obrázek 53: Okruhová síť [3].....	53
Obrázek 54: Rozdíl vodovodní přípojky a vnitřního vodovodu se zkrácenou legendou [76].....	53
Obrázek 55: Navrtávací pas [3]	54
Obrázek 56: T tvarovka odbočka [74]	54
Obrázek 57: Navrtávací pas příklad použití [77].....	54
Obrázek 58: Umístění vodoměru v napojovaném objektu [28].....	55
Obrázek 59: Umístění vodoměru ve vodoměrné šachtě [28]	55
Obrázek 60: Vodovodní přípojka [28].....	55
Obrázek 61: příklad uložení potrubí ve výkopu [25].....	56
Obrázek 62: Nepažena rýh – typ uložení ocelového vodovodního potrubí [4]	56

Obrázek 63: Schéma uložení trubek z HDPE ve výkopu [30]	56
Obrázek 64: Křížení vodního toku shybkou [3]	60
Obrázek 65: Podchod vodovodního potrubí pod drahou [3]	62
Obrázek 66: Vodoměr domovní přípojky	65
Obrázek 67: Lopatkový vodoměr [3].....	65
Obrázek 68: Magneticko indukční průtokoměry [79]	65
Obrázek 69: Indukční průtokoměr [3]	65
Obrázek 70: Použití ultrazvukového průtokoměru [35]	66
Obrázek 71: Schéma funkce ultrazvukového průtokoměru založeného na dobách průchodů signálů [35]	66
Obrázek 72: Druhy uzávěrů [8]	67
Obrázek 73: Šoupátka u odbočky pro nemocnici [3]	67
Obrázek 74: Sekční šoupátka [3]	67
Obrázek 75: Šoupátka u podchodu pod komunikací [3].....	67
Obrázek 76: Šoupátko použití [77]	68
Obrázek 77: Šoupátko [77]	68
Obrázek 78: Šoupátko geometrie [77]	68
Obrázek 79: Šoupátko domovní přípojky [77]	68
Obrázek 80: Zpětná klapka [77]	68
Obrázek 81: Zpětná klapka s pákou závažím, hydraulicky tlumená [77].....	68
Obrázek 82: Axiální zpětná klapka [77]	68
Obrázek 83: Zpětná klapka schéma [77]	68
Obrázek 84: Uzavírací klapky [77].....	68
Obrázek 85: Pokrop podzemního hydrantu	69
Obrázek 86: Podzemní hydrant zapojení [77]	69
Obrázek 87: Podzemní hydrant [77]	69
Obrázek 88: Podzemní hydrant [80]	69
Obrázek 89: Nadzemní hydrant	69
Obrázek 90: Nadzemní hydrant [77]	69
Obrázek 91: Příklad nadzemní hydrant [77].....	69
Obrázek 92: Výtokový stojan [3].....	70
Obrázek 93: Schéma kalosvodu [3]	70
Obrázek 94: Vzdušníky [77].....	71
Obrázek 95: Vzdušník zapojení [77]	71

Obrázek 96: Vzdušník [77].....	71
Obrázek 97: Princip funkce odvzdušňování a zavzdušňování u plovákového vzdušníku [3].....	71
Obrázek 98: Ventil pro udržení tlaku [77].....	72
Obrázek 99: Redukční ventil [77].....	72
Obrázek 100: Montážní vložka [77]	72
Obrázek 101: Gumový kompenzátor [77]	72
Obrázek 102: Skladba ocelového vodovodního potrubí [40]	74
Obrázek 103: Hrdlový spoj TITON ocelové trouby [40]	74
Obrázek 104: Potrubí s cementovou výstelkou [72].....	74
Obrázek 105: Ocelové vodovodní potrubí DN 3 [41]	74
Obrázek 106: Ocelové vodovodní potrubí DN 300 [41]	74
Obrázek 107: Příklad vyráběných světlostí potrubí z tvárné litiny výstřižek z katalogu firmy SAINT-GOBAIN PAM CZ s.r.o. [74].....	75
Obrázek 108: Jištěný spoj BLS [3]	76
Obrázek 109: Hrdlový spoj TYTON [3].....	76
Obrázek 110: Hrdlo pro temavaný spoj [3]	76
Obrázek 111: Hrdlový spoj LKD [3].....	76
Obrázek 112: Složení přírubového spoje [42]	77
Obrázek 113: Přírubový spoj [71]	77
Obrázek 114: Nanášení cementové výstelky	77
Obrázek 115: Odstředivé nanášení cementové výstelky [74].....	77
Obrázek 116: Průřez spojem potrubí PE elektrospojkou [44]	78
Obrázek 117: Elektrospojka PE [44]	78
Obrázek 118: Svařování pomocí elektrospojky [44]	78
Obrázek 119: Řez svarem na tupo PE [44].....	79
Obrázek 120: Svar na tupo [44].....	79
Obrázek 121 : Příklad vyráběných světlostí potrubí z PE výstřižek z katalogu firmy Wavin Czechia s.r.o. [44]	79
Obrázek 122: Příklad vyráběných světlostí potrubí z PVC výstřižek z katalogu firmy PIPELIFE CZECH s.r.o. [43]	80
Obrázek 123: Obrázek 54: Obrázek 45: Příklad vyráběných světlostí potrubí z PP výstřižek z katalogu firmy Wavin Czechia s.r.o. [45]	80
Obrázek 124: Trouby potrubí ze sklolaminátu [70].....	81

Obrázek 125: Těsný spoj [70].....	81
Obrázek 126: Zahýbání ve spojích [70].....	81
Obrázek 127: Světlosti potrubí ze sklolaminátu [70]	81
Obrázek 128: Graf grafické stanovení provozního objemu vodojemu [50]	89
Obrázek 129: Ustálené proudění mezi body A a B [3].....	90
Obrázek 130: Ustálené tlakové proudění mezi body 1 a 2 [37].....	90
Obrázek 131: Grafické znázornění čára energie a ztráty [37]	91
Obrázek 132: Moodyho diagram [37]	93
Obrázek 133: Místní ztráta [8].....	96
Obrázek 134: Vliv překážky v přímém potrubí na proudění [37]	96
Obrázek 135: Odtržení proudu a příčné proudění v koleni [51].....	97
Obrázek 136: Schéma proudění v náhlém zúžení [37]	97
Obrázek 137: schéma proudění v tvarovce.....	97
Obrázek 138: Schéma proudění v náhlé rozšíření [37].....	97
Obrázek 139: Schéma paralelního potrubí [37]	99
Obrázek 140: Schéma paralelního potrubí – tlaková čára a ztráty [37].....	99
Obrázek 141: Schéma hydraulického systému potrubí - čerpadlo [4].....	101
Obrázek 142: Schéma systému s čerpadlem [8]	101
Obrázek 143: Pracovní bod soustavy: potrubí-čerpadlo [37]	102
Obrázek 144: Q-H graf	102
Obrázek 145: Stavový diagram, princip kavitace [56]	103
Obrázek 146: Schéma sériového zapojení čerpadel [54].....	103
Obrázek 147:Schéma paralelního zapojení čerpadel [54]	103
Obrázek 148: Q-H diagram paralelní zapojení 2 čerpadla [37]	103
Obrázek 149: Q-H diagram sérové zapojení 2 čerpadla [37]	103
Obrázek 150: Zjednodušení vodovodní sítě [4].....	104
Obrázek 151: Metoda redukovaných délek – princip stanovení součinitele γ [3]	105
Obrázek 152: Výpočet návrhových průtoků větvené sítě [3]	106
Obrázek 153: Metoda Lobačev-Cross [3].....	108
Obrázek 154: Metoda nulových bodů [3]	108
Obrázek 155: Okresy působnosti Vodárny Plzeň a.s. [64].	109
Obrázek 156: Úpravna vody III. Plzeň [66]	110
Obrázek 157: Schéma povodí Úhlavy [65].....	110
Obrázek 158: Schéma vodovodu Plzně [31].....	111

Obrázek 159: Schéma vodovodní sítě města Plzeň [60].....	111
Obrázek 160: Obrázek situace širších vztahů [67]	112
Obrázek 161: Poloha řešené lokality [68].....	113
Obrázek 162: Řešená lokalita: Současná trasa [68].....	114
Obrázek 163: Jeden z přítoků balastní vody	114
Obrázek 164: Pohled do šachty podchodu.....	114
Obrázek 165: Pohled šachtou nahoru	115
Obrázek 166: Pohled na dno šachty a začátek štoly	115
Obrázek 167: Štola podchodu – Pohled proti směru spádu podchodu	115
Obrázek 168: Štola podchodu– pohled po směru spádu podchodu	115
Obrázek 169: Výkres z archivu: Podélný profil stávající shybky	116
Obrázek 170: Překreslení výkresu z archivu Vodárny Plzeň a.s.: Kladečské schéma současného stavu shybky	117
Obrázek 171: Výřez z výkresu D.1.2.3 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.....	120
Obrázek 172: Výřez z výkresu D.2.1.4 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.....	121
Obrázek 173: Výřez z výkresu C1 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r. o.	121
Obrázek 174: Výřez z výkresu C2 z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.	121
Obrázek 175: Výřez z výkresu D.2.1 Kladečské schéma z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.	122
Obrázek 176: Výřez z výkresu C.3 Koordinační situace z DSP vypracovaný firmou INGUTIS, spol. s r.o.	122
Obrázek 177: Graf závislosti ztrát na průtoku – současné trasy za běžného provozu..	127
Obrázek 178: Graf závislosti tlakových ztrát na průtoku – nová trasa za běžného provozu	131
Obrázek 179: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu v současné a nové trase	132
Obrázek 180: Graf závislosti ztrát na průtoku za nouzového provozu nové trasy	138
Obrázek 181: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za nouzového provozu nové trasy.....	139
Obrázek 182: Graf závislosti ztrát na průtoku současné shybky za běžného provozu	140

Obrázek 183: Graf závislosti ztrát na průtoku – varianta rekonstrukce č.1 za běžného provozu	141
Obrázek 184: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu v současnosti a rekonstrukce č.1	142
Obrázek 185: Graf závislosti ztrát na průtoku varianta rekonstrukce č. 2 DN 500.....	143
Obrázek 186: Graf závislosti ztrát na průtoku variant rekonstrukce č.2 DN 400.....	144
Obrázek 187: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu v současnosti a rekonstrukce č.2	145
Obrázek 188: Graf porovnání závislosti ztrát na průtoku za běžného provozu.....	148

5.2 Seznam tabulek

Tabulka 1: Hlavní rozdíly mezi podzemní a povrchovou vodou [5].....	18
Tabulka 2: Seznam vodárenských nádrží [10].....	19
Tabulka 3: Standardní typy úpravy vody pro jednotlivé kategorie surové vody dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. [33]	24
Tabulka 4: Rozdělení způsobů úpravy podle zdroje podzemní voda [7]	26
Tabulka 5: Rozdělení způsobů úpravy podle zdroje podzemní voda [7]	26
Tabulka 6: Koagulanty [15].....	28
Tabulka 7: Schéma rozdělení způsobů dezinfekce [7]	35
Tabulka 8: Výhody a nevýhody použití jednotlivých dezinfekčních činidel [7].....	36
Tabulka 9: Stálost činidla v síti [7].....	37
Tabulka 10: Vedlejší produkty dezinfekce [7]	37
Tabulka 11: Výhody a nevýhody použití jednotlivých dezinfekčních činidel [5].....	38
Tabulka 12: Mechanické způsoby odkyselování [15]	40
Tabulka 13: Chemické způsoby odkyselování [15].....	40
Tabulka 14: Způsoby odmanganování [15]	41
Tabulka 15: Způsoby odželezování [15]	41
Tabulka 16: Mikrobiologické a biologické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity [16]	43
Tabulka 17: Fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele pitné vody a jejich hygienické limity [16].....	43
Tabulka 18: Minimální doporučené vzdálenosti [22].....	51
Tabulka 19: Minimální šířka výkopu dle hloubky výkopu [30].....	56
Tabulka 20: Minimální šířka výkopu dle průměru potrubí [30].....	56
Tabulka 21: Chránička – základní rozměry [31]	57
Tabulka 22: Kolektory – základní rozměry [31]	57
Tabulka 23: Hodnoty nejmenšího dovoleného krytí, hodnoty max. krytí [21]	59
Tabulka 24: Nejmenší dovolené odstupové vzdálenosti podle ČSN 73 6005 ve svislém směru v (mm) při křížení vedení technického vybavení v podzemní trase [21].....	59
Tabulka 25: Nejmenší dovolené odstupové vzdálenosti podle ČSN 73 6005 ve vodorovném směru (mm) při souběhu vedení technického vybavení v podzemní trase [21]	60

Tabulka 26: Tabulka Značení a symboly přírubových tvarovek [75]	76
Tabulka 27: Značení a symboly přírubových tvarovek [42].....	77
Tabulka 28: Největší vzdálenosti vnějších odběrných míst [47].....	82
Tabulka 29: Hodnoty nejmenší dimenze potrubí, odběru vody pro hydranty y a obsahu nádrže [47]	83
Tabulka 30: Součinitel denní nerovnoměrnosti [49]	87
Tabulka 31: Průběh potřeby vody v procentech z celodenní potřeby podle Směrnice č. 9/1973 [48].....	87
Tabulka 32 : Velikostní řada objemu zemních vodojemů [18]	88
Tabulka 33:Úryvek z tabulky kinematická viskozita vody v závislosti na teplotě T při tlaku 0,0981 MPa. [51]	92
Tabulka 34: Hydraulická drsnost Δ pro technicky vyráběná potrubí [37].....	93
Tabulka 35: Empirické rovnice pro hydraulicky hladké potrubí [37]	94
Tabulka 36: Empirické rovnice pro přechodnou oblast turbulentního proudění [37]	95
Tabulka 37: Empirické rovnice pro kvadratickou oblast ztrát třením [37].....	95
Tabulka 38: Empirické rovnice s širším rozsahem platnosti [37]	95
Tabulka 39: Součinitelé místní ztráty – Výřez z tabulky uživatelského manuálu programu Epanet [61]	97
Tabulka 40: Součinitel místní ztráty v koleně podle Thomy ($Re \geq 2 \cdot 10^5$) [51]	98
Tabulka 41: Součinitel ztráty náhlým zúžením průřezu dle Tullise [69]	98
Tabulka 42: Součinitel ztráty náhlým rozšířením průřezu K_r (Borova ztráta) [69]	98
Tabulka 43: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát současné trasy za běžného provozu	125
Tabulka 44: Výpočet ztrát třením současné trasy za běžného provozu	126
Tabulka 45: Výpočet místních ztrát současné trasy za běžného provozu.....	126
Tabulka 46: Výpočet celkových výsledných ztrát současné trasy za běžného provozu	127
Tabulka 47:Vstupní hodnoty výpočtu ztrát nové trasy za běžného provozu.....	128
Tabulka 48: Výpočet rychlosti vody nové trasy za běžného provozu	129
Tabulka 49: Výpočet ztrát třením nové trasy za běžného provozu.....	129
Tabulka 50: Výpočet místních ztrát nové trasy za běžného provozu	130
Tabulka 51: Výpočet celkových výsledných ztrát nové trasy za běžného provozu	131
Tabulka 52: Srovnání ztrát současné a nové trasy	132
Tabulka 53:Vstupní hodnoty výpočtu ztrát nové trasy za nouzového provozu.....	133
Tabulka 54: Výpočet rychlosti vody nové trasy za nouzového provozu – část: k shybce přilehlé úseky	134

Tabulka 55: Výpočet ztrát třením nové trasy za nouzového provozu – část: k shybce přilehlé úseky	135
Tabulka 56: Výpočet místních ztrát nové trasy z nouzového provozu – část: k shybce přilehlé úseky	135
Tabulka 57: Výpočet rychlosti vody nové trasy za nouzového provozu – část: shybka	136
Tabulka 58: Výpočet ztrát třením nové trasy za nouzového provozu – část: shybka...	137
Tabulka 59: Výpočet místních ztrát nové trasy z nouzového provozu – část: shybka .	137
Tabulka 60: Výpočet celkových výsledných ztrát nové trasy za nouzového provozu .	138
Tabulka 61: Srovnání ztrát nouzového provozu nové trasy a současné a nové trasy v běžném provozu	139
Tabulka 62: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát současné shybky za běžného provozu	140
Tabulka 63: Výpočet celkových výsledných ztrát současné shybky za běžného provozu	140
Tabulka 64: Vstupní hodnoty výpočtu ztrát varianty rekonstrukce č.1 za běžného provozu	141
Tabulka 65: Výpočet celkových tlakových ztrát varianty rekonstrukce č. 1 za běžného provozu	141
Tabulka 66: Srovnání ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č.1	142
Tabulka 67:: Vstupní hodnoty výpočtu varianty rekonstrukce 2 pro DN 500 za běžného provozu	143
Tabulka 68: Výpočet celkových tlakových ztrát	143
Tabulka 69: Vstupní hodnoty výpočtu varianty rekonstrukce 2 pro DN 400 za běžného provozu	144
Tabulka 70: Výpočet celkových tlakových ztrát varianty rekonstrukce č.2 pro DN 400 za běžného provozu	144
Tabulka 71: Srovnání ztrát současné shybky a varianty rekonstrukce č. 2	145
Tabulka 72: Srovnání procentuálních nárůstů hydraulických ztrát jednotlivých variant rekonstrukce	146
Tabulka 73: Srovnání nárůstů hydraulických ztrát jednotlivých variant rekonstrukce v upravované délce varianty č. 3	147
Tabulka 74: Srovnání procentuálních nárůstů ztrát variant rekonstrukce v upravované délce varianty č. 3	147

6. Bibliografie

1. ČSN 75 0150. *Vodno hospodářství - Terminologie vodárenství*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, květen 2008.
2. Tesařík, Igor a kolektiv. *Vodárenství*. Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
3. Chejnovský, Pavel. *Zdravotní vodohospodářské stavby*. Praha : Sobotáles, 2010. ISBN 978-80-86817-40-8.
4. Grünwald, Alexander, Macek, Lubomír a Šrytr, Petr. *Vodárenství*. Praha : Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN: 80-902460-7-9.
5. Slavičková, Kateřina a Slaviček, Marek. *Vodní hospodářství obcí I Úprava a čištění vody*. Praha : nakladatelství ČVUT, 2013. ISBN 978-80-01-05390-4.
6. Teichman, Marek a Kuda, František. *Hodnocení a obnova vodárenských sítí*. Professional Publishing, 2018. ISBN 978-80-88260-26-4.
7. Slavičková, Kateřina. *UDPV2 - Úprava pitné vody, Způsoby úpravy povrchové vody, technologické procesy, mechanické předčištění, preoxidace, dezinfekce*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
8. Kolektiv autorů, katedra hydrauliky a hydrologie FSv ČVUT Praha. *Rozšířené přednáškové slidy předmětu HYA (Hydraulika)*. [pdf přednáška] Praha : © K141 FSv ČVUT, 09 2022.
9. Slavičková, Kateřina. *UDPVI - Zdroje vody, jakost vody ve zdroji, odběrné objekty, ochranná pásma*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
10. Vyhláška 137/1999 Sb. Vyhláška Ministerstva životního prostředí, kterou se stanoví seznam vodárenských nádrží a zásady pro stanovení a změny ochranných pásem vodních zdrojů. In: *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, s.r.o. 2010–2024. [Citace: 2. 3 2024.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1999-137>.
11. Zákon 245/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) In: *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, s.r.o. 2010–2024. [Citace: 1. 3 2024.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254>.

12. Mutschmann, Johann a Stimmelmayer, Fritz. *Taschenbuch der Wasserversorgung*. Stuttgart : Franckh-Kosmos , 1991. ISBN 3-440-06314-3.
13. Ručka, Jan, a další. *Přechod vodovodu města Vsetín na zásobování pitnou vodou bez použití chemické dezinfekce*. tzbinfo. [Online] 3. 6 2019. [Citace: 17. 5 2024.] <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/19113-prechod-vodovodu-mesta-vsetin-na-zasobovani-pitnou-vodou-bez-pouziti-chemicke-dezinfekce>.
14. Nábělková, Jana. *UDPV - Hydrochemi*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
15. Slavíčková, Kateřina. *UDPV7- Úprava podzemní vody*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
16. Vyhláška č. 252/2004 Sb. Vyhláška, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. In: *Zákony pro lidi* [Online] AION CS, s.r.o. 2010–2024. [Citace: 21. 4 2024.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>.
17. Horký, Filip. *6_UDPV_trubní materiály_výstavba a sanace*. [pdf přednášk] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
18. ČSN 75 5355. *Vodojemy*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, listopad 2011.
19. Horký, Filip. *3_UDPV_Vodojemy*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
20. Kittner, Harry, Starke, Wolfgang a Wissel, Dieter. *Wasserversorgung*. Berlin : VEB Verlag für Bauwesen, 1988. ISBN 3-345-00158-6.
21. ČSN 6005. *Prosotrové uspořádání vedení technického vybavení*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, říjen 2020.
22. ČSN 75 5301. *Vodárenské čerpací stanice*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, červen 2014.
23. Horký, Filip. *4_UDPV_Distribuční síť*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
24. ČSN 75 5411. *Vodovodní přípojky*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, duben 2006.

25. ČSN EN 805. *Vodárenství - Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, srpen 2001.
26. Zákon č. 274/2001 Sb. *Zákon o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*. In: *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, s.r.o. 2010–2024 [Citace: 1. 3 2024.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>.
27. VODÁRNA PLZEŇ a.s., *STATUTÁRNÍ MĚSTO PLZEŇ PLZEŇSKÝ STANDARD KANALIZACE A VODOVOD*. Vodárna Plzeň. [Online] 17. 10 2017. [Citace: 27. 4 2024.] <https://www.vodarna.cz/plzenske-standardy/>.
28. Horký, Filip. *5_UDPV_Vodovodní přípojky*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
29. ČSN 75 5401. *Navrhování vodovodních potrubí*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, březen 2020.
30. FV - Plast, a.s. *Systém FV INFRA: Využití FV HDPE potrubí, montážní instrukce pro pokládku a spojování*. tzbinfo. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] <https://m.tzbinfo.cz/16351-system-fv-infra-vyuziti-fv-hdpe-potrubimontazni-instrukce-pro-pokladku-a-spojovani>.
31. Společnost VODÁRNA PLZEŇ a.s. *Plzeňský vodovod*. Vodárna Plzeň. [Online] [Citace: 2024. 4 4.] <https://www.vodarna.cz/plzensky-vodovod/>.
32. ČSN 75 5630. *Vodovnní podchody pod drahou a pozemní komunikací*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, únor 2022.
33. Vyhláška 428/2001 Sb. *Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)* In: *Zákony pro lidi*. [Online] AION CS, s.r.o. 2010–2024 [Citace: 1. 3 2024.] <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428>.
34. Saint-Gobain PAM CZ s.r.o. *Použití povrchových ochran podle ČSN EN 545 - bludné proudy*. PAM SAINT-GOBAIN a safe path for water. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] <https://www.pamlinecz.cz/potrubimontazni-instrukce-pro-pokladku-a-spojovani>.

35. Horký, Filip. *7_Monitoring a správa*. [pdf přednáška] Praha : ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
36. Höntzsch GmbH & Co. KG. *Měřicí technika pro měření průtoku, hmotnostního průtoku a rychlosti proudění*. höntzsch flow measuring technology. [Online] [Citace: 17. 5 2024.] <https://www.hoentzsch.com/cz/produkty/detail/391-ultrazvukove-ua-kapaliny>.
37. Havlík , Aleš a Píček, Tomáš. *Hydraulika potrubí*. [pdf přednáška] Praha : © K141 FSv ČVUT, 2022.
38. Nakladatelství Verlag Dashöfer, spol. s r. o. *Vodovní potrubí. STAVEBNÍ KLUB. Profi*. [Online] [Citace: 2. 5 2024.] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/https://www.stavebniklub.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOJ0sxwBR3d1X4e_mVC1pGiocmyw2859YWQ.
39. ČSN EN ISO 15494. *Plastové potrubní systémy pro průmyslové aplikace*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, červen 2019.
40. Kocks, Hans Jürgen a Kluibenschädl, Alois, *DIN 2460 – die Norm für Wasserleitungsrohre aus Stahl*. MANNESMANN LINE PIPE Ein Unternehmen des Salzgitter Gruppe. [Online] 3 2022. [Citace: 27. 4 2024.] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfndmkaj/<https://www.mannesmann-linepipe.com/fileadmin/footage/MEDIA/gesellschaften/smlp/Documents/DIN-2460-die-Norm-fuer-Wasserleitungsrohre-aus-Stahl.pdf>.
41. Mannesmann Line Pipe GmbH. *St. Pauli-Elbtunnelsanierung, Hamburg* MANNESMANN LINE PIPE Ein Unternehmen des Saltgitter Gruppe. LINE PIPE GLOBAL. [Online] 12. duben 2019. [Citace: 27. 4 2024.] <https://magazin.mannesmann-linepipe.com/de/2019/projekte/st-pauli-elbtunnelsanierung/>.
42. Technoma a.s. *Přírubový spoj*. TRM. [Online] 2019 . [Citace: 26. 4 2024.] <https://www.trm.cz/prirubovy-spoj/>.

43. Pipelife Czech s.r.o. *TLAKOVÉ POTRUBÍ PVC*. PIPELIFE. [Online]
[Citace: 27. 4 2024.]
https://www.pipelife.cz/Inzenyrske_site/Pitna_voda/Doprava_pitne_a_uzitkove_vody/PVC_tlakove_systemy.html?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwxqayBhDFARIsAANWRnTZCjb3_QEOHBq6HdfKU-gsmpFcV1eRxd1zIuTz8uj53hrsQEqkd8aAt-hEALw_wcB.
44. Wavin Czechia s.r.o. *Katalog výrobků a technický manuál; PE potrubní systémy*. WAVIN. [Online] leden 2024. [Citace: 27. 4 2024.] <https://wavin.com/cs-cz/ke-stazeni>.
45. Wavin Czechia s.r.o. *Katalog výrobků a technický manuál; Vnitřní instalace; Rozvody vody, vytápění, kanalizace, odvodnění střech*. Wavin. [Online] leden 2024. [Citace: 27. 4 2024.] <https://wavin.com/cs-cz/ke-stazeni>.
46. Amiblu Czech Republic spol. s r.o. *Glasfaserverstärkte Kunststoffe (GFK)*. Amiblu. [Online] 5 2023. [Citace: 26. 5 2024.] <https://www.amiblu.com/wp-content/uploads/Amiblu-GFK-Rohrsysteme.pdf>.
47. ČSN 73 0873. *Požární bezpečnost staveb-Zásobování požární vodou*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, červen 2003.
48. Vodovod.info. *Historický dokument: Směrnice č. 9/1973 pro výpočet potřeby vod*. Vodovod.info, Vodárenský informační portál, ISSN 1804-7157, Recenzované neimpaktované periodikum [Online] [Citace: 2. 5 2024.]
<https://www.vodovod.info/index.php/extra/zakony-a-vyhlasaky/218-historicky-dokument-smernice-c-9-1973-vypocet-potreby-vody>.
49. Vodovod.info. *Potřeba vody - koeficienty nerovnoměrnosti*. Vodovod.info, Vodárenský informační portál; ISSN 1804-7157, Recenzované neimpaktované periodikum. [Online] [Citace: 2. 5 2024.]
<https://vodovod.info/index.php/extra/tabulky/217-potreba-vody-koeficienty-nerovnomernosti>.
50. Rohanová, Bronislava. *UDPV_návrh_vodojemu*. [pdf prezentace] ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
51. Kolář, Václav, Patočka, Cyril a Bém , Jiří. *Hydraulika*. Praha : SNTL/AIFA, 1983.
52. Havlík, Vladimír a Marešová, Ivana. *Hydraulika II Příklady*. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2001. ISBN 80-01-01586-6.

53. ČSN 11 0000. *Rozdělení a terminologie čerpadel*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, prosinec 1994.
54. Horký, Filip. *2_UDPV_Čerpadla - čerpací stanice*. [pdf přednáška] ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra vodního hospodářství obcí, 2023.
55. Mizera, Ladislav. *Konstrukční provedení čerpadel*. [Online]. Brno 2009. [Citace: 2024. 4 4.] Bakalářská práce. Vysoké technické učení v Brně, Fakulta strojního inženýrství. <https://dspace.vut.cz/items/bc38d02e-db3b-4ac6-9d8b-6dcdc14778fa>.
56. Nowak, Petr. *Využití vodní energie - III*. [pdf přednáška] ČVUT Praha, Fakulta stavební, Katedra hydrotechniky, 2024.
57. VODÁRNA PLZEŇ a.s. *Výroční zpráva 2022*. Vodárna Plzeň. [Online] [Citace: 2024. 4 4.] <https://www.vodarna.cz/vyrocní-zpravy/>.
58. VODÁRNA PLZEŇ a.s. *Úprava pitné vody*. Vodárna Plzeň. [Online] [Citace: 2024. 4 4.] <https://www.vodarna.cz/uprava-pitne-vody/>.
59. Autorský kolektiv: Ptáčková, Jaroslava a další. *Strategický plán města Plzně Tematická analýza, Technická infrastruktura. Útvar rozvoje a koncepce Plzně*. [Online] 2016. [Citace: 7. 4 2024.] chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfefindmkaj/https://ukr.plzen.eu/files/ukr/pdf/technicka_infrastruktura.pdf.
60. Česká informační agentura životního prostředí. *Doplnění vodohospodářské infrastruktury města Plzně*. Informační systém EIA. [Online] srpen 2002. [Citace: 7. 4 2024.] <https://portal.cenia.cz/eiasea>.
61. Lewis A. Rossman, a další. *EPANET 2 USERS MANUAL*. EPA United States Environmental Protection Agency. [Online] září 2000. [Citace: 2. 5 2024.] <https://www.epa.gov/water-research/epanet>.
62. Zelinka, Zdeněk. *Studny*. Praha 7 : Grada Publishing, a.s. 2013. 978-80-247-4482-7.
63. Pvodí Ohře, státní podnik. *Vodní dílo Chřibsk*. Pvodí Ohře. [Online] 6. 2 2019. [Citace: 24. 3 2024.] <https://www.poh.cz/vodni-dilo-stanovice/d-2603>.

64. Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního . *ISVS - VODA -Mapa*. Vodohospodářský informační systém VODA. [Online] 24. 2 2022. [Citace: 5. 4 2024.] <https://voda.gov.cz/?page=zdroje-pitne-vody-mapa>.
65. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, veřejná výzkumná instituce, *Charakteristiky toků a povodí ČR*. VÚV TGM. [Online] [Citace: 4. 5 2024.] <https://www.dibavod.cz/24/charakteristiky-toku-a-povodi-cr.html>.
66. Sdružení oboru vodovů a kanalizací ČR. *Exkurze ve VODÁRNĚ PLZEŇ a.s.* Exkurze_konference_2019_0. [Online] https://www.sovak.cz/sites/default/files/2019-09/Exkurze_konference_2019_0.pdf.
67. Český úřad zeměměřický a katastrální. *Analýza výškopisu*. Geoportál ČÚZK. [Online] [Citace: 6. 4 2024.] <https://ags.cuzk.cz>.
68. Krajský úřad Plzeňského kraje. *Digitální technická mapa PK*. Geoportál Plzeňského kraje. [Online] [Citace: 8. 4 2024.] <https://mapy.plzensky-kraj.cz/gis/dtm/>.
69. K141 FSv, ČVUT. *Výpočtové tabulky k HYA*. Katedra hydrauliky a hydrologie, Fakulta stavební ČVUT v Praze [Online] <https://hydraulika.fsv.cvut.cz/cs>.
70. Amiblu Czech Republic spol. s r.o. *Zuverlässige GFK-Rohrsysteme für die Trinkwasserversorgung*. Amiblu. [Online] 7 2023. [Citace: 26. 4 2024.] <https://www.amiblu.com/wp-content/uploads/Amiblu-Trinkwasserrohrsysteme.pdf>.
71. Technoma a.s. *Montážní návod*. TRM. [Online] 4 2019. [Citace: 26. 4 2024.] <https://www.trm.cz/navody-a-pokyny/>.
72. Mannesmann Line Pipe GmbH. *Zementmörtel-Auskleidung*. MANNESMANN LINE PIPE Ein Unternehmen der Saltzgitter Gruppe. [Online] [Citace: 27. 4 2024.] <https://www.mannesmann-linepipe.com/de/lieferprogramm/leitungsrohre-wasser/beschichtungen-auskleidungen/zementmoertel-auskleidung.html>.
73. Mannesmann Line Pipe GmbH. *Zementmörtel-Auskleidung*. MANNESMANN LINE PIPE Ein Unternehmen der Saltzgitter Gruppe. [Online] [Citace: 27. 4 2024.] <https://www.mannesmann-linepipe.com/de/verfahren/zm-auskleidung.html>.

74. Saint-Gobain PAM CZ s.r.o. *NATURAL trubky a tvarovky z tvárné litiny DN 60 až DN 1000*. PAM SAINT-GOBAIN a safe parth for water [Online] 2018. [Citace: 2. 5 2024.] https://www.pamlinecz.cz/kestazeni?combine=&field_document_type_tid%5B%5D=1200&field_markets_tid%5B%5D=1095.
75. Technoma a.s. *TYTON*. TRM. [Online] 2019. [Citace: 27. 4 2024.] <https://www.trm.cz/tyton/>.
76. ČSN 75 5409. *Vnitřní vodovody*. Praha : Česká agentura pro standardizaci, únor 2013.
77. HAWLE ARMATURY spol. s r. o. *Katalog voda*. hawle. [Online] 2023. [Citace: 29. 4 2024.] <https://www.hawle.cz/clanek/108/soubory-ke-stazeni>.
78. RCH Čerpadla s.r.o. *Automatická tlaková stanice ATS PUMPA 3 EH 9/8 TE 400V, provedení s frekvenčními měniči PUMPA DRIVE*. Obchod čepadel. [Online] 29. 4 2024. https://www.obchodcerpadel.cz/automaticka-tlakova-stance-ats-pumpa-3-eh-9-8-te-400v-provedeni-s-frekvencnimi-menici-pumpa-drive?gad_source=1&gclid=Cj0KCQjwir2xBhC_ARIsAMTXk86UOE9Awv33nfxQIe4Tcb-mxxmM54zFeI5vXiJ5pAFudxw2nLoacZQaAkASEALw_wcB.
79. KAPKA spol. s r.o. *SIEMENS MAG 5100 W. pitná voda (EPDM)*. Kapka spol. s.r.o. Opravy, ovření a prodej vodoměrů. [Online] [Citace: 1. 5 2024.] <https://www.kapka-vodomery.cz/e-shop/vodomery/indukcni-prutokomery/siemens-mag-5100-w-pitna-voda-epdm>.
80. Hasičský záchranný sbor Pardubického kraje. *Zdroje vody k hašení požárů na území Pardubického kraje*. Pardubický kraj, Hasičský záchranný sbor České republiky. [Online] [Citace: 1. 5 2024.] <https://www.hzscr.cz/hzs-pardubickeho-kraje.aspx>.