

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra vodního hospodářství obcí



Studie zásobování pitnou vodou vybrané lokality

Study of the drinking water supply of selected location

Bakalářská práce

Kvapil Vít



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

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE


Příjmení: Kvapil	Jméno: Vít	Osobní číslo: 467398
Zadávací katedra: Katedra vodního hospodářství obcí		
Studijní program: Stavební inženýrství		
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie zásobování pitnou vodou vybrané lokality	
Název bakalářské práce anglicky: Study of the drinking water supply system of a selected location	
Pokyny pro vypracování: Rešerše literatury k dané tématice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Vyhodnocení a posouzení 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 75 5301, ČSN 75 5355	
Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.	
Datum zadání bakalářské práce: 17.02.2023	Termín odevzdání bakalářské práce: 22.05.2023 <small>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu následujícího ak roku</small>
 Podpis vedoucího práce	 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

<u>17.2.2023</u> Datum převzetí zadání	 Podpis studenta(ky)
---	---

Čestné prohlášení

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

V Praze dne 19.5.2023

Podpis.....

Poděkování

Rád bych vyjádřil své upřímné poděkování Ing. Filipu Horkému, Ph.D., za vedení mé bakalářské práce, odborné konzultace, ochotu a trpělivost. Děkuji také Ing. Danielovi Švecovi za poskytnutí dat a tématu mé práce. Mé poděkování patří i mé rodině, která mě podporovala během mého studia.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá řešením zásobování pitnou vodou pro oblast mezi Jesenicí a Říčany u Prahy za využití matematického modelu vypracovaným v programu EPANET2. Práce je rozdělena do teoretické a praktické části. Teoretická část poskytuje obecný přehled vodárenstvím, zahrnující vodárenské soustavy a jednotlivé prvky těchto systémů, včetně metodiky návrhu a hydrotechnických výpočtů. Praktická část se zaměřuje na analýzu specifické lokality a navržení optimálního řešení pro zásobování pitnou vodou. Navrhované řešení je vylepšením původního, který v současné době nedostačuje. Byly provedeny iterace a posouzení navrhovaného řešení z hlediska funkčnosti. Tato práce přispívá k pochopení problematiky zásobování vodou a poskytuje konkrétní návrh pro rozšíření vodovodní sítě v dané oblasti.

Klíčová slova: zásobování pitnou vodou, matematický model, EPANET2, vodárenství, vodárenské soustavy, potřeba vody, analýza lokality, optimalizace, iterace, čerpadlo, čerpací stanice.

Abstract

This bachelor's thesis deals with the solution of drinking water supply for the area between Jesenice and Říčany near Prague using a mathematical model developed in the EPANET2 software. The thesis is divided into theoretical and practical parts. The theoretical part provides a general overview of water engineering, including water supply systems and their individual components, as well as the methodology of design and hydrotechnical calculations. The practical part focuses on the analysis of a specific locality and the design of an optimal solution for drinking water supply. The proposed solution improves upon the existing one, which is currently insufficient. Iterations and assessments of the proposed solution have been conducted in terms of functionality. This thesis contributes to the understanding of water supply issues and provides a specific proposal for expanding the water distribution network in the given area.

Obsah:

A.	Úvod.....	9
1.	Cíle bakalářské práce	9
B.	Teoretická část.....	10
1.	Potřeba vody.....	10
1.1	Domácnosti.....	11
1.1.1	Potřeba vody pro bytový fond	11
1.1.2	Potřeba vody pro občanskou vybavenost	12
1.2	Průmysl a administrativa	12
1.3	Zemědělství	13
1.3.1	Potřeba vody pro zemědělskou živočišnou výrobu	13
1.3.1.1.	Potřeba vody pro pracovníky v zemědělství	13
1.4	Ztráty	13
1.5	Nerovnoměrnost potřeby vody	14
2.	Prvky vodárenské soustavy	16
2.1	Zdroje surové vody	17
2.1.1	Podzemní zdroje pitné vody	17
2.1.2	Povrchové zdroje pitné vody	17
2.2	Jímání vody.....	18
2.2.1	Jímání podzemní vody.....	18
2.2.2	Jímání povrchové vody.....	20
2.2.3	Ochranná pásma vodních zdrojů	20
2.3	Úpravna vody	21
2.4	Čerpací stanice.....	22
2.5	Příváděcí řad	23
2.6	Akumulace vody.....	23
2.6.1	Akumulační funkce vodojemu	24
2.6.2	Tlaková funkce vodojemu	24
2.6.3	Kontaktní funkce vodojemu	25

2.6.4	Typy vodojemů.....	25
2.7	Rozvodná síť.....	25
2.7.1	Materiály potrubí.....	27
2.7.1.1.	Kovové materiály.....	28
2.7.1.2.	Nekovové materiály.....	28
2.7.2	Armatury.....	29
2.7.2.1.	Uzavírací armatury.....	29
2.7.2.2.	Odběrné armatury.....	30
2.7.2.3.	Ostatní armatury.....	32
2.7.2.4.	Vodoměry.....	32
3.	Hydraulické výpočty ve vodovodní síti.....	32
3.1	Bernoulliho rovnice.....	33
3.2	Rovnice kontinuity.....	34
3.3	Tlakové ztráty.....	34
3.3.1	Ztráty třením.....	35
3.3.2	Ztráty místní.....	36
3.4	Návrh vodovodní sítě.....	37
3.4.1	Výpočet odběru z úseku.....	37
3.4.2	Výpočet uzlových odběrů.....	38
3.4.3	Výpočet návrhových průtoků.....	39
3.4.4	Dimenzování vodovodních řadů.....	39
3.4.5	Výpočet tlakových ztrát.....	40
3.5	Návrh vodojemu.....	41
3.6	Návrh čerpadla.....	43
4.	Matematické modelování.....	44
4.1	EPANET 2.....	44
C.	Praktická část.....	45
1.	Popis lokality.....	45
1.1	Osnice.....	46

1.2	Herink	47
1.3	Dobřejovice	48
1.4	Modletice	49
2.	Použité podklady	50
3.	Popis výchozí varianty	50
4.	Popis navrhované varianty	51
5.	Výpočet potřeby vody	52
5.1	Herink	53
5.2	Dobřejovice	54
5.3	Modletice	55
5.4	Osnice	56
5.5	Kuří	57
5.6	Rekapitulace potřeby vody	58
6.	Návrh vodojemů	58
7.	Vytvoření modelu	62
8.	Úprava modelu	68
9.	Výsledná verze modelu	71
10.	Shrnutí	76
10.1	Původní model	76
10.2	Upravený model	77
10.3	Výsledný model	78
11.	Závěr	79
12.	Seznam obrázků	80
13.	Seznam tabulek	81
14.	Seznam Grafů	81
15.	Zdroje	82

A. Úvod

Voda, přítomnost jí je jednou z nejzákladnějších podmínek pro život na naší planetě. Dalo by se spekulovat, že voda může být dokonce i tou nejdůležitější surovinou pro lidstvo. Vodu využíváme nejen jako součást potravy, ale také je neodlučitelnou součástí různých oblastí našeho průmyslu, zemědělství, ekosystémů, klimatu a energetiky. Bohužel, v dnešní době se voda stává stále více ohroženým a omezeným zdrojem, který je pod vlivem klimatických změn, znečištění, přemíry spotřeby a neudržitelného hospodaření.

1. Cíle bakalářské práce

Cílem této bakalářské práce v rámci teoretické části je vypracování rešerše o oboru vodárenství, zahrnující vodárenské soustavy, jednotlivé prvky těchto soustav včetně způsobu jejich návrhu a hydrotechnické výpočty. Naopak záměrem praktické části je získání zkušeností s modelováním konkrétní lokality v programu EPANET2 a návrhem konkrétního řešení. Lokalitou je myšlena oblast mezi Jesenicí a Říčany, ve které je navržen systém zásobování vodou. Tento systém je v současné době s ohledem na další nároky nedostačující. Cílem této práce je nalezení nového funkčního řešení zásobování lokality pitnou vodou a optimalizovat celý systém tak, aby bylo možné dopravovat vodu do obce Říčany. Z důvodu chybějících dat o odběrech v obci Říčany, byly stanoveny požadované odběry minimálně 50 l/s.

B. Teoretická část

1. Potřeba vody

Potřeba vody je jedním z nejzákladnějších podkladů pro návrh a posouzení vodovodních sítí, úpraven vody, vodojemů a dalších prvků vodárenské soustavy. Pro konkrétní výpočet potřeby vody má velký význam počet obyvatel připojených na vodovod a cena vody v dané oblasti. Při navrhování je potřeba také brát v potaz potenciální růst potřeby vody v souvislosti s růstem počtu obyvatel, průmyslu nebo zemědělství v konkrétní lokalitě. Proto by se velikost potřeby vody měla předpovídat minimálně na dobu následujících třiceti let. V případě, kdy je potřeba vody odhadnuta nesprávně, může dojít v dané lokalitě ke zvýšení nákladů, které budou mít jednoznačně vliv na cenu vody nebo i potřebě nových investic vedoucích k rozšíření kapacity vodovodní sítě. V opačném případě předimenzování dochází, stejně jako v předešlém případě, ke zvýšení ceny vody, ale navíc také k technickým problémům provozování vodovodu, jako jsou například malé průtokové rychlosti a zhoršení kvality vody z důvodu dlouhé doby zdržení vody ve vodovodu.

V minulosti se výpočet potřeby vody prováděl podle směrnice č. 9/1973 (Historický dokument pro výpočet potřeby vody). V současné době není v ČR závazná směrnice (ČSN) pro výpočet potřeby vody. (1)

Dále v souvislosti s výpočtem potřeby vody je potřeba uvést některé termíny dle směrnice č. 9/1973. (2)

Nerovnoměrnost potřeby vody: Kolísání odebíraného množství vody ve spotřebišti, za časovou jednotku v určitém období. (2)

Součinitel nerovnoměrnosti (k): poměr mezi maximální a průměrnou potřebou vody za časovou jednotku v určitém období. (2)

Specifická potřeba vody: množství vody za jednotku času připadající na jednoho spotřebitele (např. obyvatel, výrobní nebo nevýrobní proces). Základní jednotka je l/jednotka/den. (2)

Občanská vybavenost: Soubor objektů sloužících potřebám obyvatelstva v souvislosti s bydlením (obchody, školy, kina, divadla apod.) (2)

Technická vybavenost: Souhrn objektů nezbytných k provozu sídlišť (inženýrské sítě, zařízení pro čištění města apod.) (2)

Základní vybavenost: Občanská a technická vybavenost sloužící pouze pro potřebu obyvatel příslušného území (sídliště), o jehož zásobování vodou se jedná. (2)

Vyšší vybavenost: Občanská a technická vybavenost, využívaná kromě obyvatel vlastního obytného území (obce) též obyvateli příslušného spádového území. (2)

1.1 Domácnosti

Výpočet potřeby vody pro domácnosti se odvíjí především od vybavení bytů. Nejvyšší hodnoty potřeby vody v domácnostech spadají na vaření, pití a hygienu. Dříve byla podle směrnice č. 9/1973 specifická potřeba vody pro bytový fond 280 l/ob/d, ale dnes se pohybuje přibližně v rozmezí 80 až 120 l/ob/d. (1)

Potřebu vody pro obyvatelstvo rozdělujeme na dvě části. První částí je potřeba vody pro bytový fond a druhou částí je potřeba vody pro občanskou vybavenost.

1.1.1 Potřeba vody pro bytový fond

Specifická potřeba vody pro bytový fond (q_B) stanovená průměrná hodnota, která je rovna v současné době 96 l/os/den (3). Poté lze vypočítat konkrétní potřebu vody pro daný bytový fond (Q_B) pomocí vztahu:

$$Q_B = PO \cdot q_B$$

Kde: Q_B je potřeba vody pro bytový fond [l/den]

PO je počet zásobovaných obyvatel

q_B je specifická potřeba vody pro bytový fond [l/os/den] (2)

1.1.2 Potřeba vody pro občanskou vybavenost

Specifická potřeba vody pro občanskou vybavenost je přímo závislá na velikosti obce a uvádí se v l/os/den. Specifická potřeba vody pro základní, popřípadě vyšší vybavenost je uvedena v Tabulce 1 a je definovaná ve směrnici č. 9/1973 (4; 2; 5)

Tabulka 1: Specifická potřeba vody pro občanskou vybavenost

Oblast:	Potřeba vody v l/os/den
U venkovských obcí do 1 000 obyvatel	20
1 000 až 5 000 obyvatel	30
5 000 až 20 000 obyvatel	70
20 000 až 100 000 obyvatel	125

1.2 Průmysl a administrativa

Voda je využívána jako součást výrobního procesu a je brána i jako součást finálního produktu (např. v potravinářství). Je zde uvažována i voda pro zaměstnance, studenty, ve službách a ve zdravotnictví.

V průmyslu závisí potřeba vody pro zaměstnance na charakteru výroby. Průmysl tedy můžeme rozdělit na průmysl s čistým provozem, se špinavým a prašným provozem, horkým a čistým provozem nebo průmysl s horkým a špinavým provozem. Každá z těchto charakteristik má svoji specifickou potřebu vody spojenou s mytím a sprchováním pracovníků, které jsou uvedeny v Směrnici č. 9/1973. (5)

Specifická potřeba vody pro přímou potřebu pracovníků vyjádřená v litrech na osobu.

Tabulka 2: Specifická potřeba vody pro přímou potřebu pracovníků

Pítí	5
Závodní kuchyně	25

Specifická potřeba vody pro mytí, sprchování a podobné vyjádřená v litrech na osobu.

Tabulka 3: *Specifická potřeba vody pro mytí, sprchování a podobné*

Závody s horkými a špinavými provozy	220
Závody se špinavými a prašnými nebo horkými provozy	120
Závody s pouze čistými provozy	50

V případě, že je skutečný průběh odběru vody známý, tak se potřeba vody uvažuje podle údajů odběratele. Ale v opačném případě, kdy není znám přesný průběh odběru se uvažuje maximální hodinová potřeba vody pro pracovníky v průmyslu v hodnotě 50 % potřeby vody pro danou směnu spotřebovanou v jedné hodině na konci směny. Zbýlých 50 % se rovnoměrně rozdělí pro celou směnu. (4)

1.3 Zemědělství

Potřeba vody v zemědělství je závislá na několika faktorech. Především závisí na tom, jestli se jedná o rostlinnou nebo živočišnou výrobu, ale dále i například na typu plodin, klimatických podmínkách, typu půdy a způsobu zavlažování. (1)

1.3.1 Potřeba vody pro zemědělskou živočišnou výrobu

U živočišné výroby je potřeba posuzovat potřebu vody individuálně, podle použité technologie chovu. Směrnice č.9 udává specifické potřeby vody pro některé potřeby vody v živočišné výrobě vyjma velkochovů. Specifická potřeba vody je vyjádřena v množství vody na jeden kus za den. (4; 3)

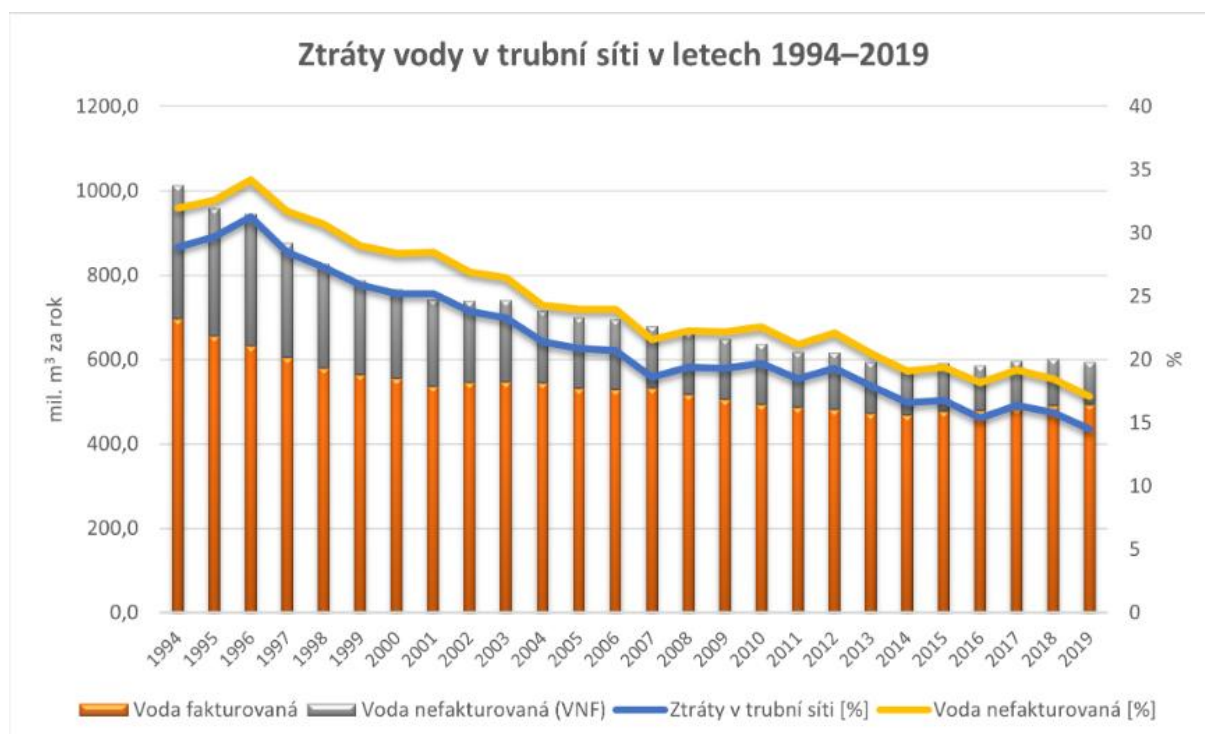
1.3.1.1. Potřeba vody pro pracovníky v zemědělství

Potřeba vody pro pracovníky v zemědělství se vypočítá obdobně jako potřeba vody pro pracovníky v průmyslu podle směrnice č.9 (Rozdělení poloviny celkové potřeby vody do jednotlivých hodin a zbytek do poslední hodiny směny – viz. kapitola 1.2)

1.4 Ztráty

Tlakové ztráty nastávají během transportu vody v distribuční síti v důsledku poruch a netěsností potrubí nebo například v místech akumulace a čerpání vody. Mezi nejčastější důvody jsou např. stáří materiálu, netěsnosti nebo vliv geologických podmínek. Dále se mezi ztráty počítá i vlastní potřeba vody na provoz vodárenských zařízení nebo voda dodaná bez úhrady

(voda dodaná hasičům při požáru nebo cvičení). Z grafu níže lze vypočítat, že se ztráty vody od roku 2017 zůstávají na cca 20 %.



Graf 1: Vývoj ztrát vody v rozmezí let 1994-2019. (6)

1.5 Nerovnoměrnost potřeby vody

Odběry vody, a tím tedy i potřeba vody se mění v průběhu času (hodin, dní, měsíců a ročních období) z důvodu například rozdílný odběr vody v zimě a v létě pro průmysl a zemědělství nebo například nižší odběr vody ve volných dnech pro obyvatelstvo z důvodu odjezdu obyvatel mimo trvalé bydliště.

Ve vodárenství se rozeznávají následující nerovnoměrnosti stanovené ve Směrnici č. 9.

- Denní nerovnoměrnost

Rozdíly v potřebě a odběru vody v jednotlivých dnech během roku.

- Hodinová nerovnoměrnost

Rozdíly v potřebě a odběru vody v jednotlivých hodinách jednoho dne.

V souvislosti s těmito nerovnoměrnostmi se u výpočtu maximální denní a hodinové potřeby vody používají koeficienty nerovnoměrnosti.

Maximální denní potřeba vody se dále vypočítá podle vztahu:

$$Q_m = Q_p \cdot k_d$$

Kde: Q_m je maximální denní potřeba vody [l/den]

Q_p je průměrná denní potřeba vody [l/den]

k_d je koeficient nerovnoměrnosti [-]

Hodnota koeficientu denní nerovnoměrnosti se stanoví podle následující tabulky ze Směrnice č.9/1973.

Tabulka 4: Hodnoty k_d podle velikosti obce

Velikost obce	Součinitel denní nerovnoměrnosti k_d
Do 1000 obyvatel	1,5
1000 až 5000 obyvatel	1,4
5000 až 20000 obyvatel	1,35
20000 až 100000 obyvatel	1,25
nad 100000 obyvatel	1,15

Maximální hodinová potřeba vody se obdobně vypočítá podle vztahu:

$$Q_h = Q_m \cdot k_h$$

Kde: Q_h je maximální hodinová potřeba vody [l/h]

Q_m je průměrná denní potřeba vody [l/h]

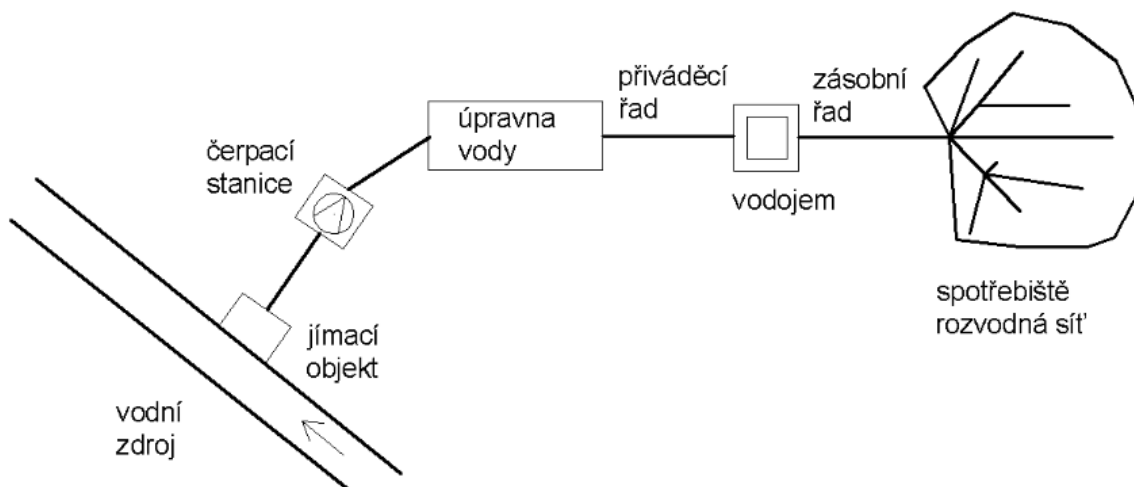
k_h je koeficient nerovnoměrnosti [-]

Hodnota koeficientu hodinové nerovnoměrnosti se může nabývat hodnot 1,8 u menších oblastí a u oblastí sídlištního typu nabývá hodnoty 2,1. Dále se potřeba vody rozdělí do jednotlivých hodin podle následující tabulky ze Směrnice č.9/1973. Součinitele v jednotlivých hodinách představují procentuální rozdělení potřeby vody pro jednotlivé hodiny. Součet těchto součinitelů se rovná 100 %.

Tabulka 5: Průběh hodinové potřeby vody pro obyvatelstvo

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

2. Prvky vodárenské soustavy



Obr. 1: Prvky vodárenského systému (7)

Vodárenská soustava nebo systém zásobování vodou je soubor objektů, prvků a zařízení sloužící k jímání, úpravě, akumulaci a dopravě vody do spotřebiště. Mezi prvky systému zásobování považujeme jímací objekt, čerpací stanice, úpravna vody, vodojem a spotřebiště.

2.1 Zdroje surové vody

Mezi možné zdroje pitné vody se řadí vody povrchové a podzemní. Povrchová voda má výhodu snadného jímání a zároveň velkého množství, ale naopak velkou nevýhodou povrchových vod je špatná kvalita a s ní spojená nákladná úprava. Podzemní vody jsou naopak nejvhodnější díky svým vlastnostem, ale nevýhodou je složitost její jímání. (4)

2.1.1 Podzemní zdroje pitné vody

Pro jímání podzemních vod je potřeba nejdříve provést hydrogeologické průzkumy, z důvodu zjištění, zda má daný zdroj vody požadované vlastnosti nebo zda je daný zdroj dostatečně vydatný. Ve většině případů však vydatnost zdroje na množství dešťové vody, která se vsákne do půdy a dále dosáhne hladiny podzemní vody. Proces proudění vody je dále ovlivněn formací a složením zvodnělé vrstvy (aquifer, aquiclude, aquitard). Jako podzemní voda se chápe veškerá voda pod povrchem země, tedy voda v nasycené a nenasycené zóně. Pro vodárenské účely využíváme pouze vodu z nasycené zóny. (1; 4)

2.1.2 Povrchové zdroje pitné vody

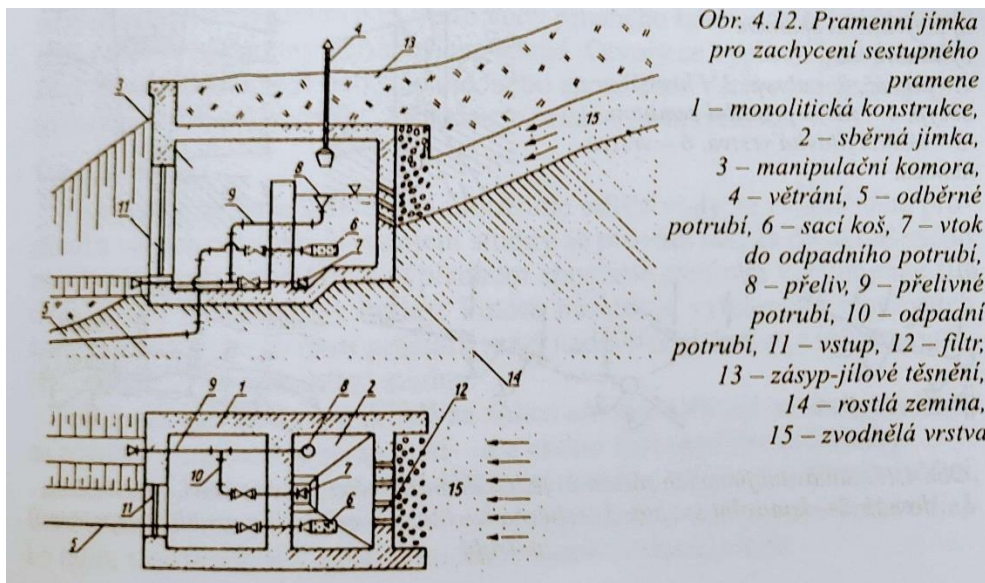
Povrchové zdroje surové vody se využívají především v případě, není-li dostupný dostatečně vydatný zdroj podzemní vod. Avšak i při odebírání vody z povrchových zdrojů, a to z toků a nádrží je potřeba zhodnotit, jestli jsou dostatečně vydatné, a tedy zdali dokáží při odběru pokrýt požadované množství vody pro spotřebiště a zároveň zachovat minimální průtok. V těchto případech je vhodné vybudování vodárenské nádrže v dané lokalitě a s dostatečnou kapacitou. Vodárenské nádrže jsou objekty, ve kterých dochází k fyzikálním, chemickým a biologickým procesům, které mají vliv na kvalitu vody v nádrži. Proto je velmi důležitá ochrana vody nejen v místě odběru, ale i celková ochrana povodí. (1; 4)

2.2 Jímání vody

2.2.1 Jímání podzemní vody

- Pramenní jímky

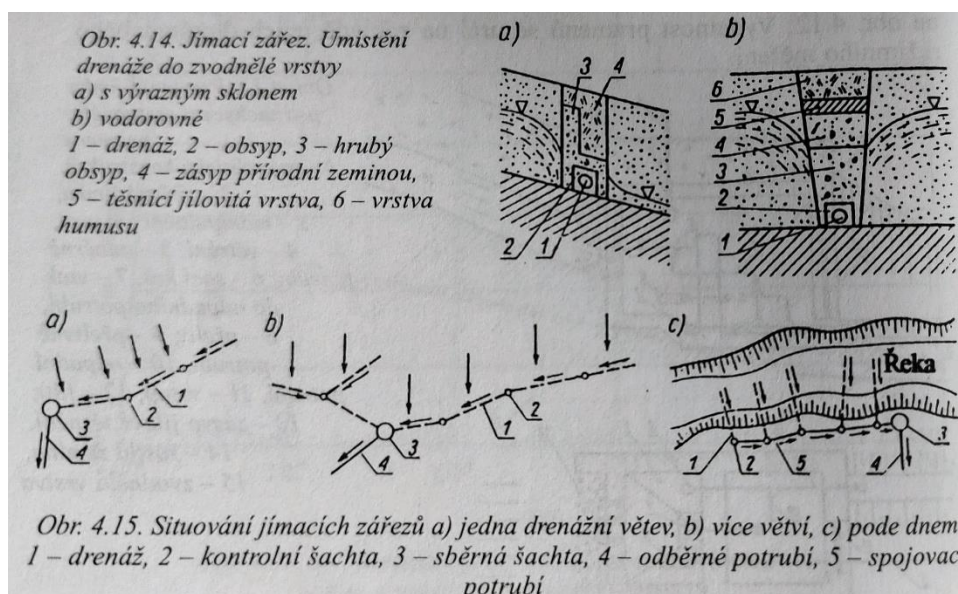
Využívá se pro jímání pramenů. U tohoto zdroje je důležitá jeho vydatnost, která se určuje na základě dlouhodobého měření.



Obr. 2: Pramenní jímka (1)

- Jímací zářezy

Využívají se pro jímání mělkých podpovrchových podzemních vod s malou kapacitou.



Obr. 3: Jímací zářez (1)

- Jímací galerie

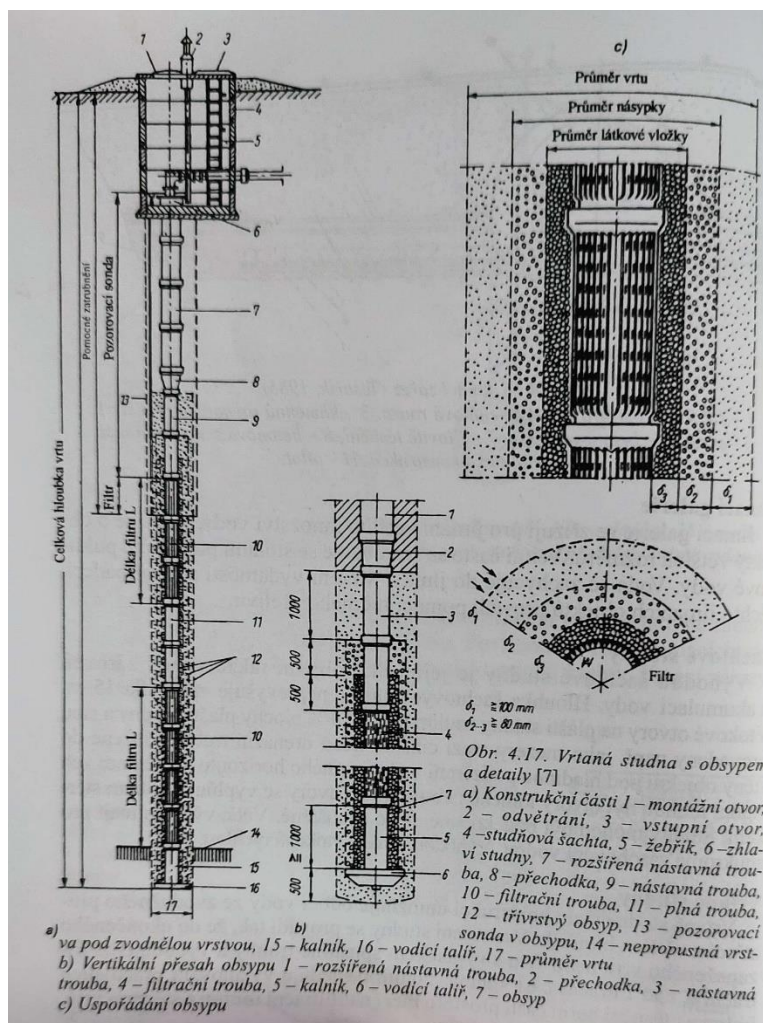
Zřizují se pro jímání většího množství vody. Jedná se o objekty větších rozměrů, kde se velmi často setkáváme se štolami pro jímání vody.

- Šachtové studny

Objekt s velkým objemem, který může sloužit v zároveň k akumulaci vody. Hloubky nepřesahují 15 metrů.

- Vrtané studny

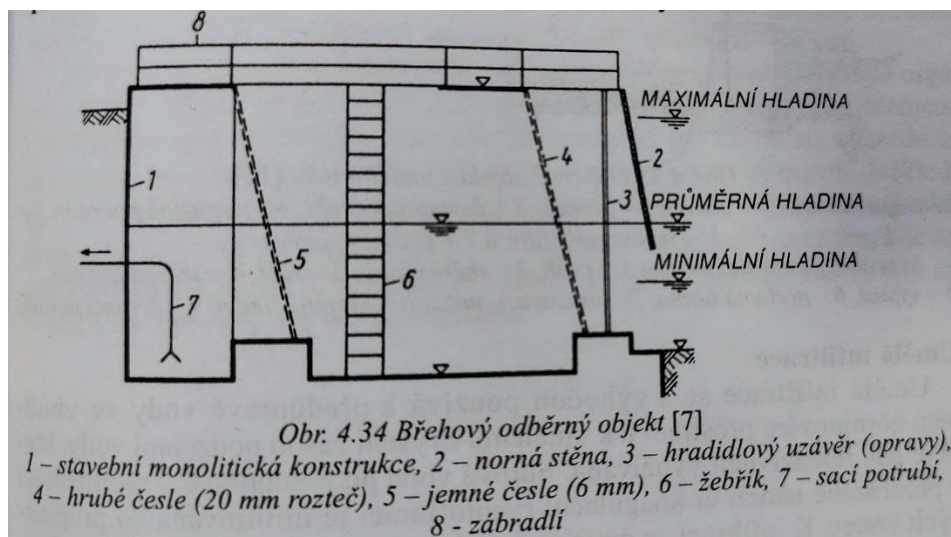
Objekt sloužící k odběrům vody z větších hloubek.



Obr. 4: Vrtaná studna s obsypem (1)

2.2.2 Jímání povrchové vody

Při odebrání vody z vodních toků je potřeba vybrat vhodné, které budou dostatečně stabilní, nebo se daný tok musí výškově a směrově upravit tak, aby byl vhodný pro odběr vody. Dále je potřeba brát v úvahu plavba na daném toku a vliv klimatu. Například je potřeba brát v potaz zimní provoz, a tedy možnost zamrznutí odběrného objektu. U velkých toků je možné umístit odběrný objekt přímo v řečišti. Avšak břehové jímací objekty jsou častější a umísťují se v tocích, které mají dostatečnou kapacitu v konkávním břehu. V těchto případech se často slučuje samotné jímání s čerpací jímkou, které jsou vybavené tak (hrubé a jemné česle), aby se zamezilo vniknutí splavenin. (4; 1)



Obr. 5: Břehový odběrný objekt. (1)

2.2.3 Ochranná pásma vodních zdrojů

Pro ochranu vodních zdrojů s průměrným odběrem větším než 10 000 m³ ročně stanovují tzv. ochranná pásma. Tato pásma mohou být buď pro povrchové nebo podzemní zdroje. Pokud jde o ochranu podzemního zdroje, bývá obvykle oplocené a přístup mají pouze povolané osoby. Pro ochranu povrchového zdroje se označuje zvláštní značkou a platí v něm příslušná omezení a zákazy definované zákonem o vodách. (8; 9)

Ochranné pásmo vodního zdroje I. stupně: má za úkol chránit vodní zdroj přímo v blízkosti jímacího nebo odběrného objektu. Je zde zakázán vstup nebo vjezd s výjimkou vlastníků vodních děl a osob s právem odběru vody z tohoto zdroje. Většinou jsou tato území oplocena. (9)

Ochranné pásmo vodního zdroje II. stupně: jsou stanovena v souladu s vodoprávními předpisy a slouží k další ochraně vodního zdroje před znečištěním. Ochranné pásmo II. stupně je obvykle vymezeno větší rozlohou než ochranné pásmo I. stupně a zahrnuje okolí vodního zdroje a jeho přítoků. V této oblasti jsou omezeny nebo zakázány různé činnosti, které by mohly mít negativní vliv na kvalitu a množství vody. Ochranné pásmo II. stupně může například zakazovat použití určitých pesticidů a hnojiv v zemědělství nebo omezovat stavební činnosti a výrobu průmyslových látek v blízkosti vodního zdroje. (9)

2.3 Úpravna vody

Úpravna vody je zařízení, které se používá ke zpracování přírodní vody z řek, jezer, podzemních zdrojů atd. s cílem odstranit nečistoty a zlepšit její kvalitu a bezpečnost pro lidskou spotřebu. Úpravna vody může obsahovat několik různých procesů, jako je koagulace, sedimentace, filtrace, dezinfekce a další, které pomáhají odstranit nežádoucí chemické a biologické látky. Úpravna vody je velmi důležitá, protože zabezpečuje, že voda, která putuje k domácnostem a průmyslovým podnikům, je bezpečná a kvalitní pro lidskou spotřebu. Bez úpravny vody by mohlo docházet k výskytu zdravotních problémů spojených s konzumací nečisté vody a zhoršení kvality života. (1; 4)

V České republice je hygienická kvalita pitné vody stanovena vyhláškou Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou vodu a na vodu užívanou při přípravě potravin. (1; 4; 10)

Tato vyhláška obsahuje stanovení limitů a kritérií pro různé chemické, fyzikální a mikrobiologické parametry vody, jako jsou například obsahy železa, manganu, dusičnanů, chloridů, pesticidů, bakterií apod. Vyhláška rovněž stanovuje požadavky na odběry vzorků vody, laboratorní analýzy, způsob oznamování výsledků a řešení situací při překročení limitů stanovených pro jednotlivé parametry. (1; 4; 10)

Tabulka 6: Přehled typických procesů úpravy povrchových a podzemních vod (1; 4)

Povrchová voda	Podzemní voda
Mechanické předčištění	Odkyselování
Čiření	Odželezování
Filtrace	Odmanganování
Dezinfekce	Dezinfekce

Tabulka 7: Další nadstandardní stupně úpravy (1; 4)

Povrchová voda	Podzemní voda
Adsorpce	Odstraňování vápníku
Fluoridace	Deionizace
Ultrafiltrace	Demineralizace
Nanofiltrace	Desorpce
Stabilizace	Membránové procesy

Tabulka 8: Přehled odpadů z úpravy vody (1; 4)

Kaly z čiření vody	Kaly z náplavné filtrace
Kaly z praní filtrů	Solanky z iontové výměny
Kaly z odstraňování vápníku a hořčíku	Solanky z membránových procesů
Kaly z odželezování a odmanganování	Desorbované plyny

2.4 Čerpací stanice

Čerpací stanice je klíčovou součástí systému zásobování pitnou vodou, která umožňuje přečerpávat vodu ze zdrojů, posilování tlaku v daném potrubí nebo jednoduše dopravovat vodu do výše položeného místa. Čerpadla jsou strojně – technologická zařízení, která tvoří nejdůležitější součást vybavení čerpacích stanic.

Hydraulický systém sestává z čerpadla a potrubí, které se dělí na dvě části: sací a výtlačnou. Sací část začíná v sací jímce a výtlačná část je propojena s nádrží umístěnou buď pod hladinou, nebo nad ní. Potrubí tedy slouží k transportu tekutin, přičemž čerpadlo pohání

tok tekutiny v systému. Při čerpání vody čerpadlo musí překonat rozdíly v hladinách mezi horní a dolní nádrží a ztráty energie. A proto je potřeba vybrat takové čerpadlo, které je dostatečné pro danou situaci. (1; 11; 12)

Dále podle normy ČSN 75 5301 se čerpací stanice dělí podle jejich důležitosti vztažené k zásobování vodou. Dělí se na čerpací stanice, u kterých nesmí dojít k přerušení dodávky vody a ty u kterých je přerušení povoleno. Další dělení čerpacích stanic je na stanice hlavní, přečerpávací a automatické.

- Hlavní čerpací stanice jsou právě ty, které se nacházejí za úpravnou vody nebo například za odběrným zařízením.
- Přečerpávací stanice mají za účel dopravit vody do vyššího tlakového pásma
- Automatická tlaková stanice se využívají k přímé dopravě vody do zásobovacího pásma bez potřeby akumulace. Čerpání je regulováno automaticky na základě tlakových podmínek v tlakové nádobě.

2.5 Priváděcí řad

Jedná se o potrubí zvané také „Priváděč“ nebo také „Přívodní vodovodní řád“, které slouží k dopravě vody z odběrného zařízení do úpravného zařízení, dále do vodojemu a zásobovacího pásma. Ve většině případů nejsou připojeni odběratelé.

2.6 Akumulace vody

Ve vodárenství se setkáváme s dvěma typy akumulace – krátkodobou a dlouhodobou.

Dlouhodobá akumulace je zajištěna především pomocí vodních toků, nádrží, podzemních vrstev s vodou a dalších podobných zdrojů.

Pro krátkodobou akumulaci vody se nejčastěji využívají vodojemy, které plní tři základní funkce. Tyto vodojemy jsou navrženy s ohledem na další využití a jsou dimenzovány dle velikosti, polohy a typu v souladu s požadavky na dané využití. Základní funkce vodojemu jsou akumuláční, tlaková a kontaktní.

2.6.1 Akumulační funkce vodojemu

Akumulační funkce slouží k vyrovnání nerovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem z vodojemu. Je zásadní, aby byl vodojem dostatečně kapacitní pro to, aby pokryl následující nároky na pokrytí:

- nerovnoměrnosti mezi přítokem a odběrem vody ve spotřebišti
- stálé požární zásoby vody pro hašení požárů
- zásobování spotřebiště po dobu odstraňování poruchy na příváděcím řadu. (1)

2.6.2 Tlaková funkce vodojemu

Pro zajištění požadovaného a stabilního přetlaku vody se vodojemy umísťují na vhodných pozicích. Pokud voda proudí gravitačně, tak poloha vodojemu určuje minimální a maximální přetlak v sítích. Je vhodné umísťovat vodojemy co nejbližší k spotřebitelům, především v místech s největší spotřebou. Pro zajištění správného fungování vodovodní sítě, do které vodojem distribuuje vodu je potřeba, aby výškový rozdíl byl maximálně 25-35 m. Výškový rozdíl je určen následujícím vztahem:

$$h = H_{max} - H_{min} - \Delta h - \Delta p$$

Kde: H_{max} je maximální tlak ve vodovodní síti. Jeho hodnota je 0,6 MPa (tomu odpovídá 60 metrů vodního sloupce). V krajních případech může tlak být až 0,7 MPa (70 m v.sl.).

H_{min} je minimální tlak ve vodovodní síti. Jeho hodnota je 0,25 MPa (25 m v.sl.).

Δh je kolísání (rozdíl) hladiny ve vodojemu (cca 5 metrů).

Δp je odhad tlakových ztrát na trase mezi vodojemem a spotřebišťem (odhad cca 5 m v.sl. tedy 0,05 MPa).

Dosazením do vztahu výše $h = 60 (70) - 25 - 5 - 5 = 25 \text{ m} (35 \text{ m})$. Z toho vyplývá, že jedním vodojemem lze gravitačně zásobovat tlakové pásmo s rozdílem výšek 25 – 35 metrů. Požadavky pro mezní tlaky na vodovodní síť určuje vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích) (1; 3; 4; 11)

2.6.3 Kontaktní funkce vodojemu

Pro hygienické zabezpečení vody je nutné stanovit objem vodojemu tak, aby doba zdržení vody byla dostatečná pro reakci s chemikáliemi. Tuto funkci nazýváme kontaktní a zajišťuje se stanovením odpovídajícího objemu vodojemu. (1; 4)

2.6.4 Typy vodojemů

Vodojem lze rozdělit podle typu konstrukce na vodojem zeminí a věžové. Vodojem se skládá ze tří hlavních částí: vstupní prostor, akumulační prostor a armaturní komora. Dále je možné ještě vodojem dělit podle tvaru na vodojem kruhové a pravoúhlé, podle počtu nádrží na jednokomorové a vícekomorové (nejčastěji dvoukomorové).

V České republice jsou nejrozšířenější zeminí vodojem. Vodojem mohou být konstrukčně řešeny jako železobetonové, monolitické nebo ocelové nádrže, avšak nejčastějším materiálem je železobeton. Dále mohou být částečně nebo celkově zapuštěny pod terénem s využitím tepelně izolačních vlastností zeminy. (1; 4)

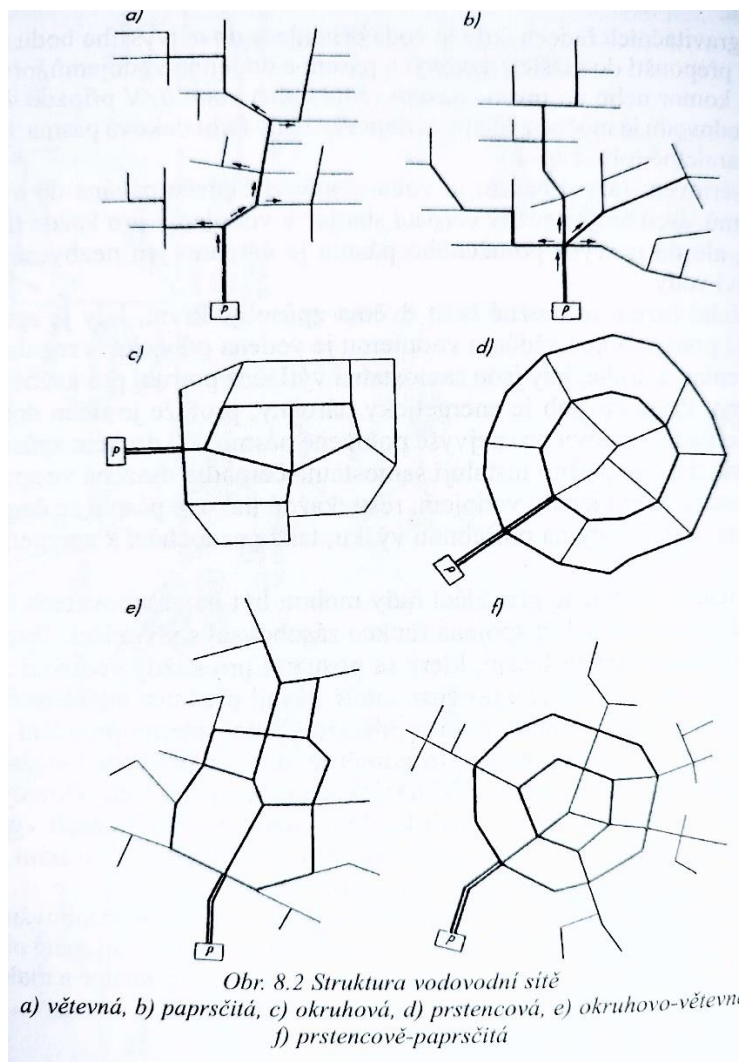
Architektonické řešení věžových vodojemů je důležité, protože se jedná o viditelné dominantní stavby, které jsou však nákladné jak z ekonomického, tak estetického hlediska, a proto je potřeba hledat jiné způsoby zásobování vodou, jako je například přímé čerpání vody do sítě. Věžové vodojem slouží k vyrovnání nerovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem, a nejsou v nich povinné akumulovat požární vodu ani vodu pro poruchy. Materiály pro tyto stavby jsou nejčastěji železobeton nebo ocel a dále musí být opatřeny izolačními materiály.

2.7 Rozvodná síť

K dopravě vody z řadu do míst odběru slouží rozvodné vodovodní sítě. Tyto sítě již přímo napojují vodovodní přípojky, jejichž majiteli jsou samotní odběratelé. Podle své plošného uspořádání se rozvodná síť dělí na větevnu, okružovou a kombinovanou síť, a je navržena na zajištění maximální hodinové potřeby vody.

Větevna síť má velkou výhodu ve své jednoduchosti, avšak značná nevýhoda nastává v případě, kdy nastane porucha v nějakém místě rozvodné sítě. V tom momentu je potřeba uzavřít přívod vody do větve s poruchou a zařídit alternativní způsob dopravy vody pro danou větev.

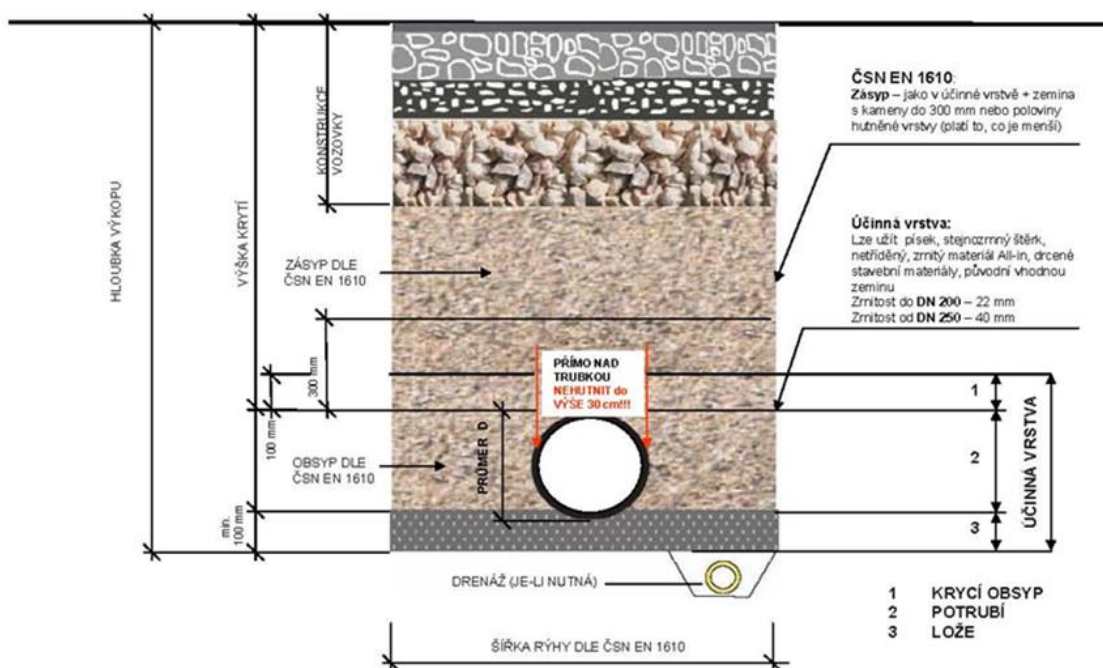
Okružová síť je naopak od větvenné sítě složitější na návrh, ale kompenzuje svou složitost větší kontrolou nad rozvodnou sítí. Například jako ve výše zmíněném případě, kdy nastane porucha lze uzavřít přívod vody v místě poruchy bez toho, aby zbytek napojených obyvatel byl ovlivněn.



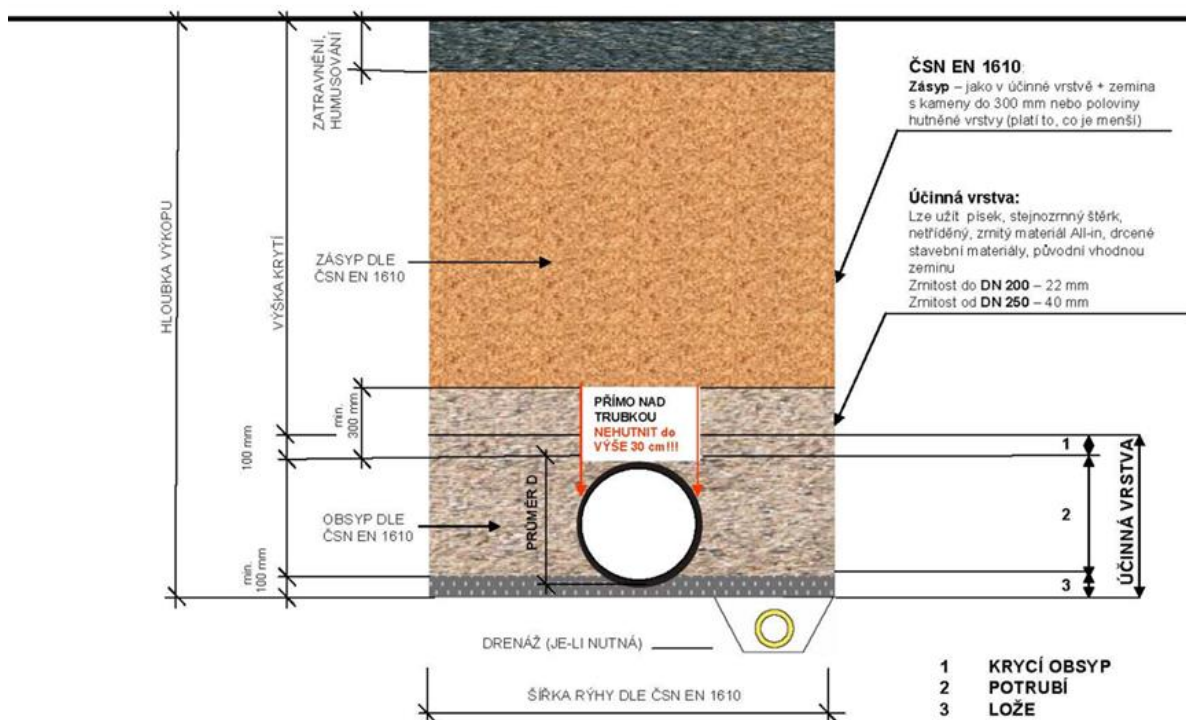
Obr. 6: Struktura vodovodní sítě. (1)

2.7.1 Materiály potrubí

Při návrhu vodovodní sítě je důležité zvolit takový materiál potrubí, který neovlivní jakost pitné vody ani její zdravotní nezávadnost. Kromě toho je třeba zohlednit různé faktory, jako jsou pracovní a zkušební přetlak, podtlak, statické a dynamické zatížení a provozní spolehlivost a životnost materiálu. V dnešní době se ve vodárenství nejčastěji používá vysoko hustotní polyetylén (HDPE) a tvárná litina, ale také polyvinylchlorid (neměkčené PVC). Potrubí se vyrábí v tlakových řadách PN 2,5 / 6 / 10 / 16 / 25 / 40 / 63 / 100. PN je označení pro jmenovitý tlak a číslo vyjadřuje zkušební přetlak v barech (desetinách MPa). Pro vodovody se používá PN10 a vyšší. Výrobci potrubí stanovují životnost, která závisí na materiálu použitém pro výrobu. Například u tvárné litiny je to 80 let, u plastového vodovodního potrubí je minimální životnost 50 let. Dále při pokládce potrubí je potřeba se řídit nejen příslušnými normami, ale také požadavky výrobce, jehož potrubí bude při stavbě použito. Dané požadavky musí být uvedeny ve vzorových schématech uložení potrubí.



Obr. 7: Vzorové uložení vodovodního potrubí v komunikaci. (13)



Obr. 8: Vzorové uložení vodovodního potrubí ve volném terénu. (13)

2.7.1.1. Kovové materiály

Šedá litina – Hlavní výhodou šedé litiny je její odolnost proti korozi, avšak značnou nevýhodou je křehkost a relativně nízká pevnost v tahu, která se projevuje nízkou odolností proti nerovnoměrnému vnějšmu zatížení.

Tvárná litina – Je zlepšením šedé litiny. Obsahuje větší množství uhlíku a křemíku a díky tomu má lepší mechanické vlastnosti než výše zmíněná šedá litina, avšak její nevýhodou je její cena.

Ocel – Velkou výhodou oproti litinovým potrubím je větší pevnost proti namáhání vnitřním přetlakem i ostatními silami působícími na potrubí, a tedy jsou vhodné pro použití ve venkovních zařízeních, kde působí nerovnoměrné zatížení. Dále jsou velmi odolné proti působení vodního rázu. U ocelového potrubí je velmi důležitá důkladná ochrana proti korozi, na kterou je ocelové potrubí náchylné. (12)

2.7.1.2. Nekovové materiály

Trubky z PVC jsou vyráběné z polyvinylchloridu a neobsahují změkčovadla (označují se jako tvrdé PVC). Důležitým fyzikálním parametrem plastů je všeobecně jejich vysoká tepelná roztažnost. Plasty se také vyznačují vysokou odolností proti abrazi a nejsou náchylné k

poškození pevnými částicemi obsaženými v přepravovaném médiu. Těsnící kroužek z elastomeru se nachází na troubách a tvarovkách s nástrčným hrdlem, a slouží ke zajištění dokonalého těsnění spoje. Pokud je montáž provedena správně, je spoj dokonale těsný. (12)

Potrubí z polyetylenu jsou vyráběna z lineárního (Vysoko hustotního) polyetylénu (dnes využíván HDPE – High density polyethylene). Trouby jsou dodávány v délkách 6 a 12 metrů, nebo také jako svitky v délce 100 až 500 metrů. Jednou z výhod polyetylenu je relativně jednoduchá montáž. Spojování jednotlivých trub probíhá pomocí elektrospojek nebo například svařováním „na tupo“, při kterém nevzniká oslabené místo a systém je plně homogenní. (12)

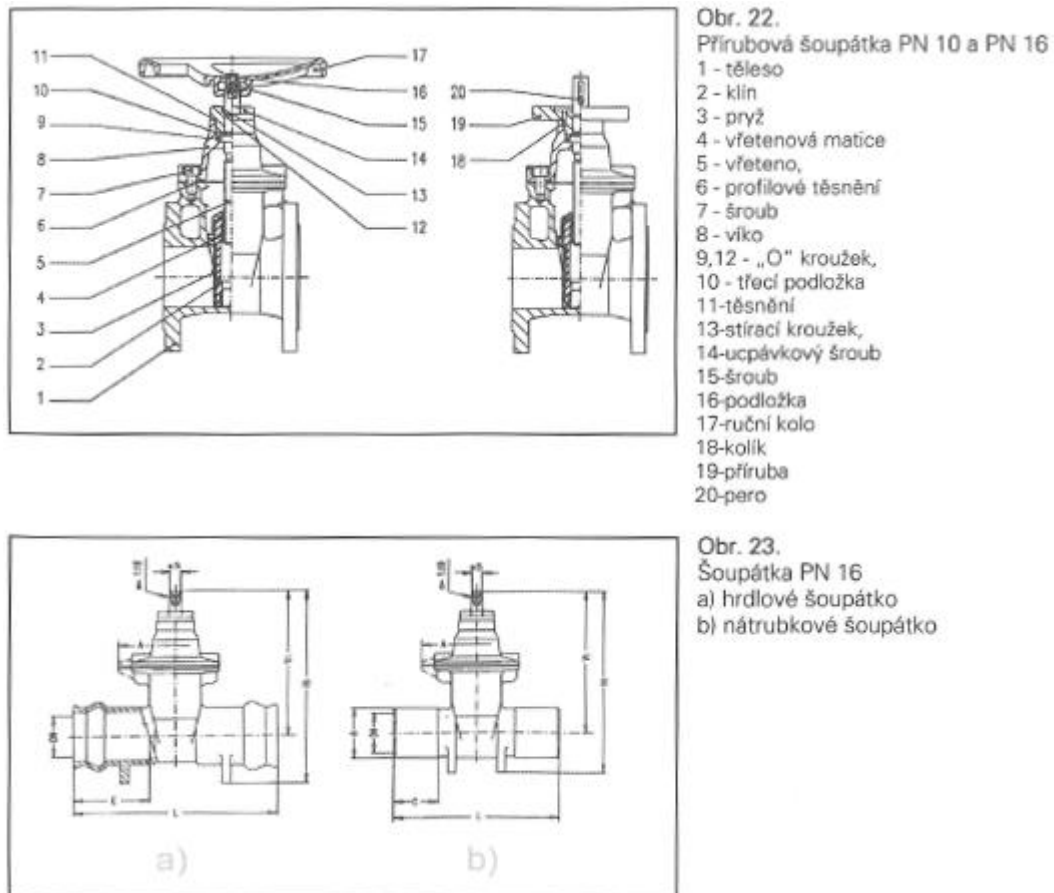
2.7.2 Armatury

Vodovodní potrubí sestává z tvarovek, trub a armatur, které umožňují řízení a ovládání provozu. Nejčastěji používané armatury jsou uzávěry jako šoupátka, klapky, ventily a kohouty, dále redukční ventily, zpětné klapky, montážní vložky, kompenzátory, hydranty, vzdušníky a kalosvody. Armatury se dělí podle své funkce a způsobu použití na uzavírací, odběrné a ostatní.

2.7.2.1. Uzavírací armatury

K uzavíracím armaturám patří hlavně šoupátka, klapky, ventily, kohouty a plovákové uzávěry. (12)

Šoupátka – se používají pro účely oprav nebo čištění jednotlivých úseků vodovodní sítě. Na dlouhých řadách se osazují v intervalu 300-500 metrů a u každé odbočky vedlejšího řadu, aby nedocházelo k přerušení dodávky vody z hlavního řadu. Na okružových sítích se osazují před i za odbočkou významných míst odběru, jako jsou například nemocnice a průmyslové podniky, kde je nezbytná nepřetržitá dodávka vody.



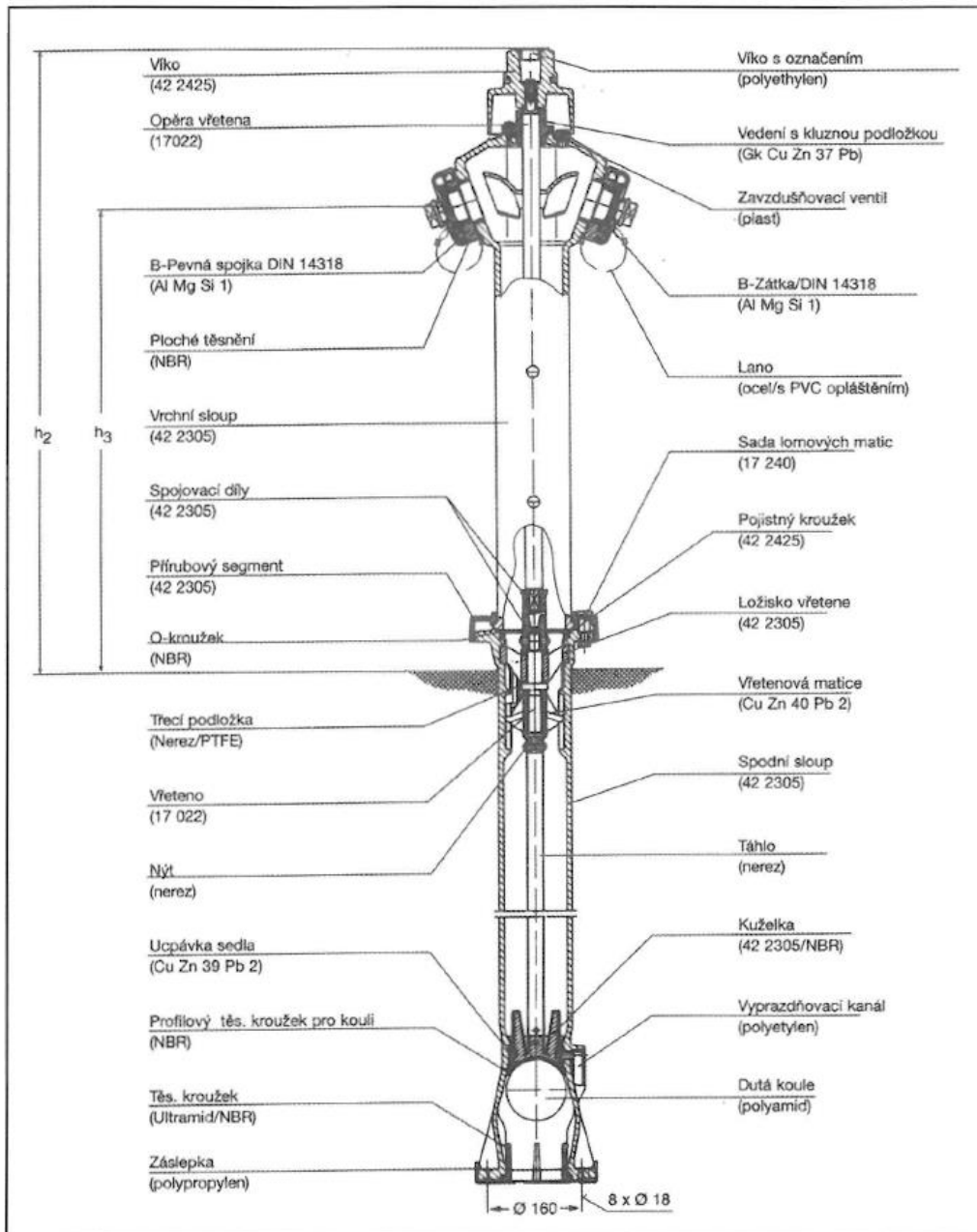
Obr. 9: Přírubová šoupátka. (12)

Uzavírací klapky – fungují na stejném principu jako šoupátka. Uzavírací klapky mají velkou výhodu, kvůli svému snadnému ovládní při manipulaci a jsou často používány u větších průměrů potrubí v rozsáhlých armaturních komorách vodojemů a úpraven vod.

Zpětná klapka – je armatura umožňující průtok vody pouze jedním směrem. (12)

2.7.2.2. Odběrné armatury

Hydranty – Rozlišujeme několik typů hydrantů, které se využívají pro různé účely. Hydranty umožňují odběr vody z vodovodní sítě pro požární účely, odzdušňování, odkalování potrubí a proplachování trubních úseků. Mezi nejčastější typy hydrantů patří podzemní, nadzemní a šachtové. Vzdálenosti, v nichž se hydranty osazují jsou uvedeny v normě ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou. (12; 14)



Obr. 26.
Nadzemní
hydrant
PN 16 DN 80

Obr. 10: Nadzemní hydrant. (12)

Vzdušníky – slouží k odstraňování přebytečného vzduchu z potrubí, který může vznikat například v úpravných, čerpacích stanicích a ve vodojemech. Umisťuje se na nejvyšší místo na trase ve vodovodním potrubí, kde se mohou tvořit vzduchové kapsy. Vzdušník může být ruční nebo automatický.

Kalospody – slouží k odvádění jemného kalu, který se naopak usazuje v nejnižších místech potrubí.

2.7.2.3. Ostatní armatury

Redukční ventily – jsou určeny k regulaci tlaku vody v potrubí. Používají se zejména u přiváděcích a zásobních řadů a úsecích rozdělující tlaková pásma.

Kompenzátory – jsou využívány v případě, kdy je potřeba vyrovnávat podélné změny z vlivu rozdílů teplot. Ve vodárenství se využívají kompenzátory vlnové a pryžové. Vlnové kompenzátory snižují hydraulické odpory. Pryžové slouží k vyrovnávání podélné tepelné roztažnosti potrubí. (12)

2.7.2.4. Vodoměry

Vodoměry se dělí na různé typy podle způsobu měření na objemové, rychlostní, typu Woltmann, jednovtoková a vícevtoková.

Objemové vodoměry – se skládají z komor známého objemu a z mechanismu poháněného proudem vody. Tyto komory jsou postupně plněny a následně vyprazdňovány. Sčítáním počtu těchto objemů, které protékají vodoměrem, lze určit celkový objem.

Rychlostní vodoměry – se skládají z pohyblivého prvku, který je uváděn do pohybu přímo rychlostí proudu vody. Pomocí indikačního zařízení můžeme zjistit celkový proteklý objem.

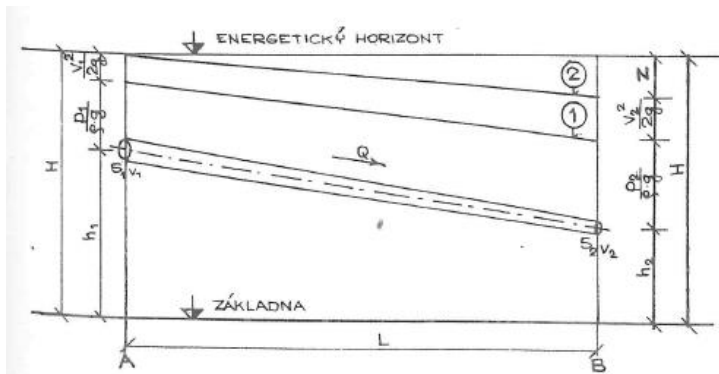
Jednovtoková a vícevtoková měřidla – jsou zařízení skládající se z rotoru rotujícího kolem osy kolmé k proudu vody v měřidle. Měřidlo je jednovtokové, pokud proud vody naráží na obvod rotoru v jediném místě. Vícevtokové, pokud proud vody naráží na obvod rotoru současně v několika bodech. (12)

3. Hydraulické výpočty ve vodovodní síti

Při návrhu nebo hydraulickém posouzení dimenzí vodovodních potrubí se uvažuje s tlakovým prouděním s ustáleným průtokovým režimem. Proudění vody v potrubí vytváří tlakové ztráty, které jsou způsobeny třením kapaliny o stěny potrubí, vnitřním třením nebo v místech tzv. místních odporů, kde dochází např. ke změně směru potrubí, změně vnitřní dimenze potrubí, výskytu armatury. Za předpokladu tlakového proudění kapaliny v úseku A-B o délce L (viz obrázek 12) se pro výpočet využijí následující rovnice:

- Bernoulliho rovnice
- Rovnice kontinuity

- Průtoková rovnice (12)



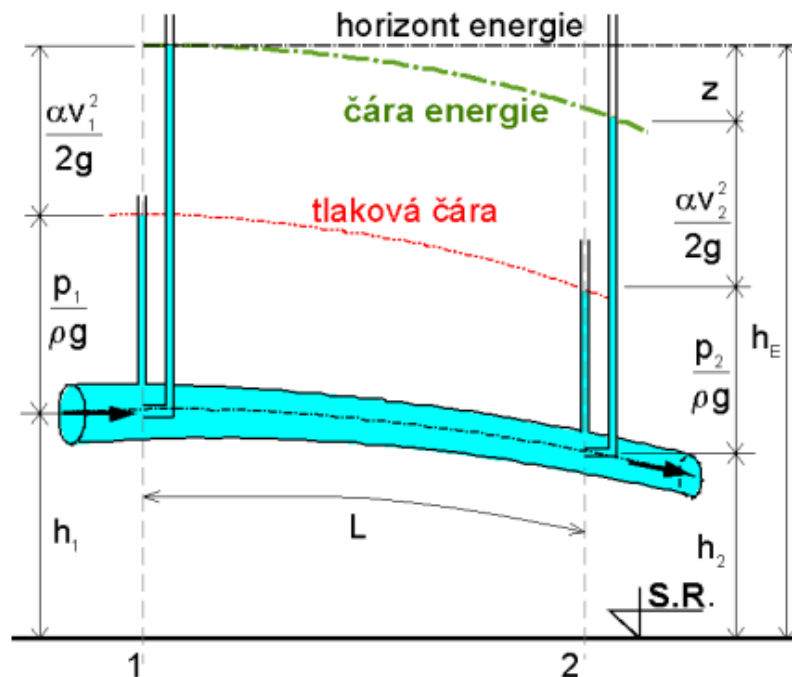
Obr. 15
Ustálené tlakové proudění
mezi profily A - B

- 1 čára hydrodynamického
přetlaku (tlaková čára)
- 2 čára tlakových ztrát
(energie)

Obr. 11: Ustálené tlakové proudění A-B. (12)

3.1 Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice je v hydraulických výpočtech na vodovodních potrubích klíčovou rovnicí. Vychází z předpokladu ustáleného, tlakového proudění a vyjadřuje zákon zachování mechanické energie v tekutině během ustáleného proudění. Rovnici lze odvodit z Eulerových pohybových rovnic. (12; 15)



Obr. 12: Znárodnění Bernoulliho rovnice. (15)

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

Kde: h_1, h_2 jsou geodetické výšky [m]

$\frac{p_1}{\rho \cdot g}, \frac{p_2}{\rho \cdot g}$ jsou tlakové výšky [m]

$\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2g}, \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2g}$ jsou rychlostní výšky [m]

Z je suma tlakových ztrát na úseku L [m]

3.2 Rovnice kontinuity

Další rovnicí ve výpočtech vodovodní sítě je rovnice kontinuity, která se také nazývá rovnice spojitosti. Rovnice kontinuity vychází z Eulerovo hydrodynamických rovnic a popisuje ustálené proudění nestlačitelné kapaliny a zákon zachování hmoty. (12; 15)

$$Q = S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 = konst.$$

Kde: Q je průtok potrubím [m^3/s]

S je plocha průtočného průřezu [m^2]

v je střední profilová rychlost [m/s]

3.3 Tlakové ztráty

Při proudění kapaliny v potrubí vznikají tlakové ztráty. Tyto ztráty jsou součtem ztrát třením (Z_t) a místních ztrát (Z_m). $Z = Z_t + Z_m$

3.3.1 Ztráty třením

Třecí ztráty jsou způsobeny třením vody o stěny potrubí, kterém protéká. Velikost ztrát třením závisí na různých faktorech. Například na druhu materiálu potrubí (drsnost materiálu), délce potrubí, průměru a průtočné rychlosti. Ztráty třením lze vypočítat podle Darcy – Weissbachovy rovnice. (12; 15)

$$Z_t = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Kde: Z_t	jsou ztráty třením [m]
λ	je součinitel ztrát třením [-]
L	je délka úseku [m]
D	je vnitřní průměr potrubí [m]
v	je střední profilová rychlost [m/s]
g	je tíhové zrychlení [m/s ²]

Součinitel tření λ je možné stanovit různými postupy a vzorci. Pro vodovody se univerzálně používá vzorec podle White – Colebrooka.

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

Kde: λ	je součinitel ztrát třením [-]
k	je absolutní drsnost potrubí [m]
d	je vnitřní průměr potrubí [m]
Re	je Reynoldsovo číslo [-]

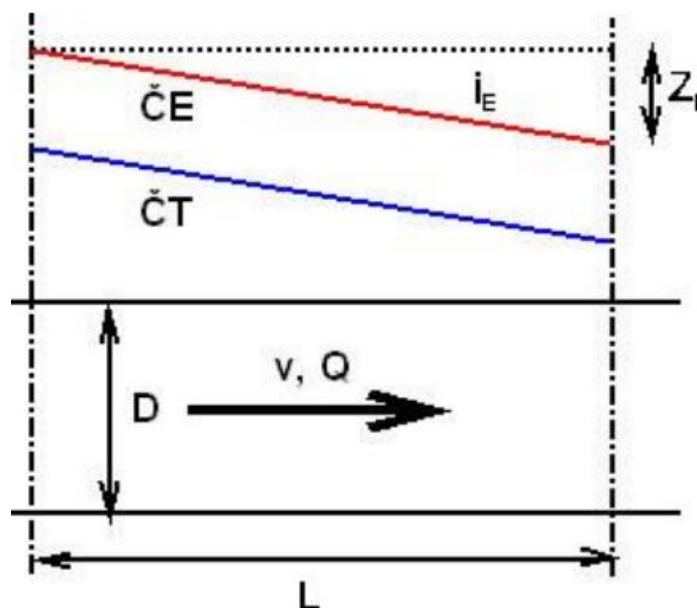
Reynoldsovo číslo se určí z následující rovnice a slouží jako ukazatel toho, zda se jedná o laminární nebo turbulentní proudění.

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$$

Kde: v	je střední profilová rychlost [m/s]
D	je vnitřní průměr potrubí [m]

ν je kinematická viskozita [m^2/s]

Další možnosti výpočtu jsou vzorce podle Manninga, Blaise, Nikuradse a Wooda. (12; 15)



Obr. 13: Znárodnění ztrát třením. (15)

3.3.2 Ztráty místní

Vznik ztrát místních je spojen s přítomností místních odporů, jako jsou náhlé lomy potrubí, zúžení, rozšíření či osazené armatury a podobně. U tzv. hydraulicky dlouhých potrubí jsou tyto ztráty zanedbatelné, avšak u hydraulicky krátkých potrubí (např. sací potrubí čerpadel, násosky atd.) hrají významnou roli. Velikost ztrát závisí na charakteru místního odporu, průměru a délce potrubí a průtoku.

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

Kde: Z_m jsou místní ztráty [m]

ξ je součinitel místní ztráty závislý na druhu a rozměru odporu (hodnotu lze nalézt v tabulkách)

v je střední profilová rychlost [m/s]

g je tíhové zrychlení [m/s^2]

3.4 Návrh vodovodní sítě

Návrh vodovodní sítě s velkým počtem odběrných míst je velmi komplikovaný, a proto se používá zjednodušení spočívající v redukci odběrných míst do uzlů, kde se sítě větví nebo se v daném místě nachází významný bodový odběr (např. nemocnice). Následně se všechny ostatní menší odběry sečtou do těchto uzlů, jejichž součet je roven potřebě vody v daném úseku vodovodní sítě. Složitost výpočtu se liší, zda se jedná o větevnu, kruhovou nebo kombinovanou síť. Avšak kroky výpočtu jsou:

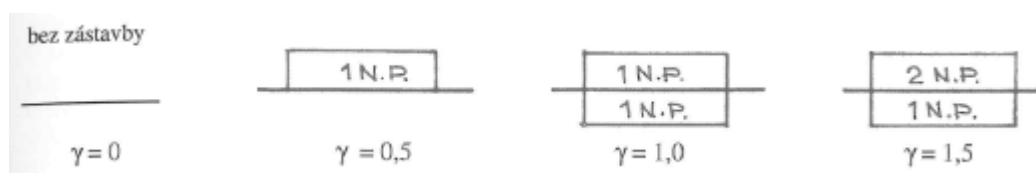
- Stanovení odběrů v jednotlivých úsecích rozvodné sítě
- Transformace úsekových odběrů do uzlových odběrů
- Výpočet návrhových průtoků v jednotlivých úsecích sítě
- Dimenzování jednotlivých úseků rozvodné sítě
- Výpočet tlakových ztrát v jednotlivých úsecích sítě a tlakových poměrů v celé síti

3.4.1 Výpočet odběru z úseku

Výpočet vychází z maximální hodinové potřeby vody, která je dána součtem hodinové potřeby pro obyvatelstvo a významných bodových odběrů. Tyto bodové odběry se umístí přímo do uzlů a potřeba pro obyvatelstvo se rovnoměrně rozdělí po celé síti. Pro stanovení metody výpočtu úsekových odběrů je potřeba znát jednu z následujících charakteristik řešené oblasti:

- Délky úseků a charakter zástavby
- Velikost ploch zásobovaných úseky a hustotu zástavby v nich
- Počet zásobovaných obyvatel a vybavenost bytů v úsecích

Metoda redukovaných délek je nejčastěji používanou metodou pro výpočet odběru z úseku. Tento postup vychází z násobení skutečné délky každého úseku součinitelem uličního zalidnění γ , který vyjadřuje charakter zástavby, tedy její hustotu a počet podlaží (viz obr.15).



Obr. 14: Metoda redukovaných délek – součinitel γ . (12)

$$l_{ri} = l_i \cdot \gamma_i$$

Kde: l_{ri} je redukovaná délka úseku [m]

l_i je délka úseku [m]

γ_i je součinitel uličního zalidnění [-]

Poté se úsekový odběr vypočítá pomocí vztahu:

$$q_i = \frac{Q_0}{\sum l_{ri}}$$

Kde: q_i je úsekový odběr [l/s]

$\sum l_{ri}$ je součet redukovaných délek všech úseků sítě [m]

Q_0 je maximální hodinová potřeba vody pro obyvatelstvo [l/s]

3.4.2 Výpočet uzlových odběrů

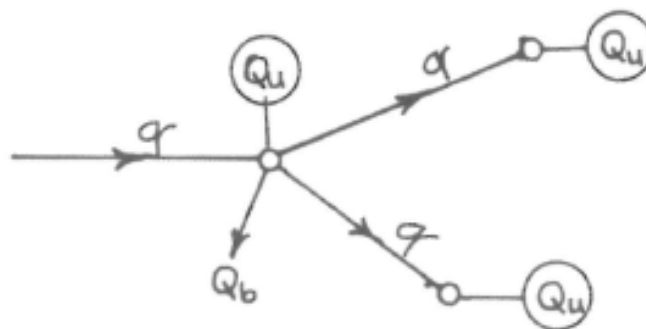
Další krokem je výpočet uzlových odběrů z dříve určených úsekových potřeb. Uzlový odběr je definován jako součet polovičních hodnot úsekových odběrů v úsecích, které přiléhají k danému uzlu.

$$Q_u = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=n} q_i + Q_b$$

Kde: q je úsekový odběr [l/s]

Q_u Uzlový odběr [l/s]

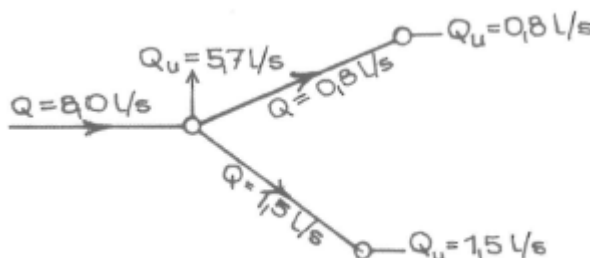
Q_b Bodový odběr [l/s]



Obr. 15: Stanovení uzlových odběrů. (12)

3.4.3 Výpočet návrhových průtoků

U větvných sítí je následující krok velmi jednoduchý. Spočívá ve sčítání jednotlivých uzlových odběrů od konce sítě proti směru proudění a z podmínky rovnováhy v každém uzlu (množství vody, která přitéká do uzlu se musí rovnat množství vody, která odtéká). (12)



Obr. 16: Výpočet návrhových průtoků. (12)

3.4.4 Dimenzování vodovodních řadů

Cílem je stanovení vhodného průřezu potrubí pro daný úsek vodovodní sítě. To se provádí na základě stanovených návrhových průtoků, zvoleného materiálu potrubí a doporučených hodnot rychlosti proudění vody v potrubí. Výpočet vychází ze základní rovnice pro průtok (12):

$$Q = S \cdot v$$

Kde: Q je průtok potrubím [m^3/s]

S je plocha průtočného průřezu [m^2]

v je střední profilová rychlost [m/s]

ze které je možné vypočítat požadovanou dimenzi potrubí pro kruhový profil pomocí následujícího vztahu (12):

$$d = \sqrt{\frac{4Q_n}{\pi \cdot v}}$$

Kde: Q_n je návrhový průtok [m^3/s]

v je střední profilová rychlost [m/s]

d je potřebná dimenze profilu [m]

Pro praktické dimenzování potrubí se často využívají tabulky a nomogramy, které zohledňují charakteristiky drsnosti různých druhů materiálů. Pro určení požadovaného průtoku a volbu vhodného materiálu potrubí se stanoví odpovídající nominální průměr (DN) a střední profilovou rychlost (12).

3.4.5 Výpočet tlakových ztrát

Výpočet tlakových ztrát v jednotlivých úsecích a stanovení tlakových poměrů v síti jsou posledním krokem při dimenzování vodovodní sítě. Důležité je také porovnat tyto tlaky s doporučenými mezními hodnotami hydrodynamického přetlaku. Minimální přetlaková výška se vypočítá z následujícího vztahu (12):

$$h_p = K_{min} - \sum Z_t - K_t$$

Kde: K_{min} je kóta minimální hladiny ve vodojemu

$\sum Z_t$ je součet tlakových ztrát třením ve všech úsecích sítě od vodojemu až po sledovaný uzel

K_t je kóta terénu ve sledovaném uzlu. (12)

3.5 Návrh vodojemu

Celkový objem vodojemu je součtem dílčích objemů jako je provozní objem, požární objem a objem v případě poruchy. Podle dvou základních způsobů plnění vodojemu se určuje akumulací objem. (12).

- Gravitační přítok do vodojemu 24 hodin za den a nerovnoměrný odtok do spotřebiště.
- Čerpání do vodojemu přibližně 17 hodin za den a nerovnoměrný odtok do spotřebiště.

Celkový objem zemního vodojemu podle ČSN 75 5355 Vodojemy, má dosahovat hodnoty 60 až 100 % z maximální denní potřeby vody. (16)

Jak bylo výše zmíněno, celkový objem je součtem dílčích objemů:

$$V = V_{prov} + V_{pož} + V_{por}$$

Kde: V_{prov} je provozní objem [m^3]

$V_{pož}$ je požární objem [m^3]

V_{por} je objem pro případ poruchy [m^3]

Provozní objem

Pro výpočet objemu provozní zásoby se používá časová bilance mezi přítokem do vodojemu a odběrem z něj do spotřebiště. Pro každou hodinu se stanoví přebytek nebo nedostatek mezi přítokem a odběrem a součet těchto hodnot se použije ke stanovení maximálního a minimálního objemu vodojemu. Obecně platí vztah (12):

$$V_{prov} = V_{max} + |V_{min}|$$

Kde: V_{Max} je maximální kladná hodnota objemu ze součtové čáry

V_{Min} je minimální záporná hodnota objemu ze součtové čáry

Požární zásoba

Norma ČSN 73 0873 určuje výpočet akumulčního prostoru pro požární vodu pomocí vztahu (14):

$$A_{Pož} = 3,6 \cdot Q_{pož} \cdot n \cdot t$$

Kde: $Q_{pož}$ je potřeba požární vody dle ČSN 73 0873 [l/s]

n je počet odběrných míst [ks]

t je potřebná doba na hašení [hod]

Poruchová zásoba

Pro zajištění spolehlivého zásobování spotřebišť v případě poruchy na přiváděcím řadu do vodojemu je nutné zohlednit rezervní zásobu. Ta umožní pokrýt potřebné objemy vody během doby, kdy dochází k odstraňování poruchy, aby spotřebišť zůstala spolehlivě zásobena. (12)

$$V_r = \left(\frac{T}{24}\right) \cdot Q_{maxd}$$

Kde: T je doba trvání poruchy [hod]

Q_{maxd} je maximální denní potřeba vody [m^3/s] (16)

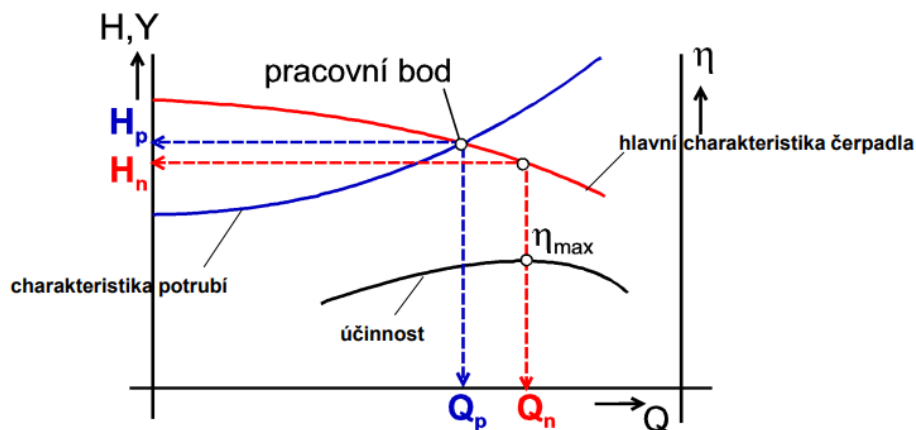
3.6 Návrh čerpadla

Průtok Q , které je čerpadlo schopno dopravit do dané lokality s konkrétní dopravní výškou H . Požadovaný průtok nebo dopravní výšku lze vyčíst z Q - H grafu, na kterém se protínají dvě křivky. První je charakteristika čerpadla a druhá je charakteristika potrubí. V místě průsečíku se nachází pracovní bod čerpadla určující souřadnice příslušného průtoku Q a dopravní výšky H .

Dopravní výška je součet rozdílu geodetických výšek a ztrátové výšky v potrubí, ve kterém proudí požadovaný průtok Q . Snahou je navrhnout čerpadlo takovým způsobem, aby byla účinnost η_{\max} čerpadla co nejvyšší.

Účinnost čerpadla je míra, jak efektivně čerpadlo přeměňuje mechanickou energii na energii tlaku vody. Při návrhu čerpadla je žádoucí zvolit čerpadlo s co nejvyšší účinností, aby se minimalizovaly provozní náklady.

Čistá pozitivní sací výška (NPSH - Net Positive Suction Head) udává dostupnou energii na sací straně čerpadla a zajišťuje, že čerpadlo dostane dostatečné množství kapaliny pro správné fungování.



Obr. 17: Znárodnění pracovního bodu čerpadla. (17)

4. Matematické modelování

Matematické modelování spočívá ve využívání softwaru k simulaci chování vodovodních systémů. Vytvoření modelu umožňuje provedení potřebných analýz, které usnadní optimalizaci tlaků, průtoků, rychlostí a různých dalších parametrů, a tedy výšení spolehlivosti navrhovaného vodovodního systému.

4.1 EPANET 2

Jedná se o jeden z nejpoužívanějších softwarů pro modelování vodovodních sítí. Jedná se o open-source software (Nevyžaduje licenci) a byl vyvinut Agenturou pro ochranu životního prostředí Spojených států (EPA).

Mezi základní funkce EPANETU náleží:

- Modelování sítě

Definování geometrie a charakteristik jednotlivých prvků (např. Potrubí, čerpadla, vodojemy, odběrných míst a zdrojů vody) vodovodní sítě.

- Simulace hydrauliky

EPANET provádí simulaci proudění vody vodovodní sítí, a tedy analyzovat tlaky, průtoky, rychlosti a další parametry v různých místech modelu.

- Simulace kvality vody

Je možné zadat do jednotlivých částí modelu kvalitu vody se kterou bude software dále počítat.

C. Praktická část

Praktická část této bakalářské práce se zabývá způsobem zásobování vodou lokality západně od Říčany. Do této lokality spadají obce Herink, Dobřejovice, Osnice a Modletice. Systém, který zásobuje tuto oblast pitnou vodou již není dostačující pro celkový rozvoj dané lokality, a tedy je nutné navrhnout jeho rozšíření. Na toto téma již byla vypracována diplomová práce pana Vladimíra Pokorného v roce 2019, která vychází ze studie společnosti VRV a.s. (18), a mým úkolem je nyní validace a aktualizace dat a řešení, jež byla použita v dané práci a následně vypracování řešení výtlačného systému pro navržený systém zásobování pitnou vodou jednotlivých obcí.

1. Popis lokality

Lokalita se nachází v okrese Praha-západ a zahrnuje obce Herink, Dobřejovice, Osnice a Modletice. Všechny zmíněné obce spadají pod správu obce s rozšířenou působností města Říčany.

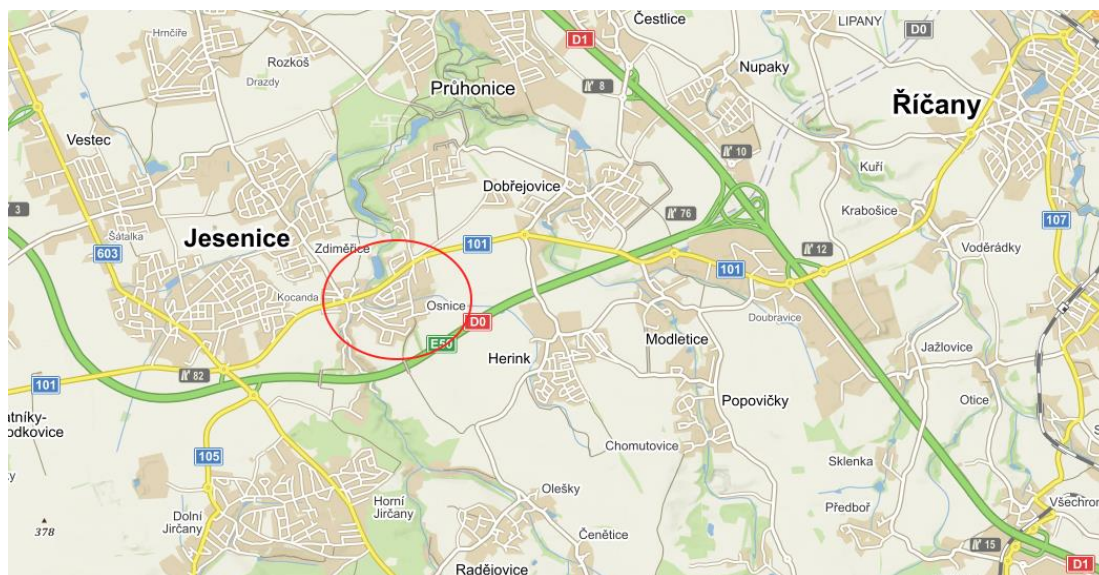
V současné době je lokalita zásobena pitnou vodou z vodovodu Jesenice – Osnice, na který je připojen zásobní řad DN 1200 vedoucí z vodojemu Jesenice II do Prahy. Na tomto řadu, v místě odbočky z výše zmíněného vodovodu, se pro zajištění tlakových poměrů nachází automatická tlaková stanice (ATS).



Obr. 18: Řešená oblast.

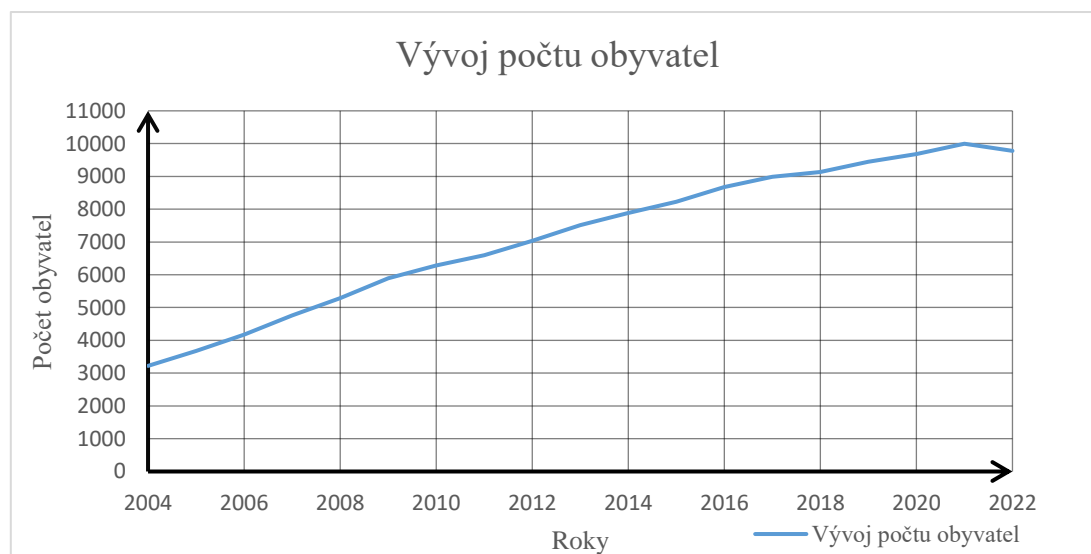
1.1 Osnice

Obec Osnice je součástí města Jesenice v okrese Praha-západ a nachází se 2 kilometry východně od samotné Jesenice. V Osnici v roce 2001 žilo 453 obyvatel a díky nové výstavbě vzrostl počet obyvatel na 1920 (data z roku 2021). Avšak z dat vývoje počtu obyvatel Jesenice, jejíž součástí je obec Osnice, je patrný začínající klesající trend (viz graf 1 – Vývoj počtu obyvatel obce Jesenice). Osnice se nachází v nadmořské výšce 334-350 m n. m.



Obr. 19: Poloha Osnice.

Graf 2: Vývoj počtu obyvatel Jesenice.



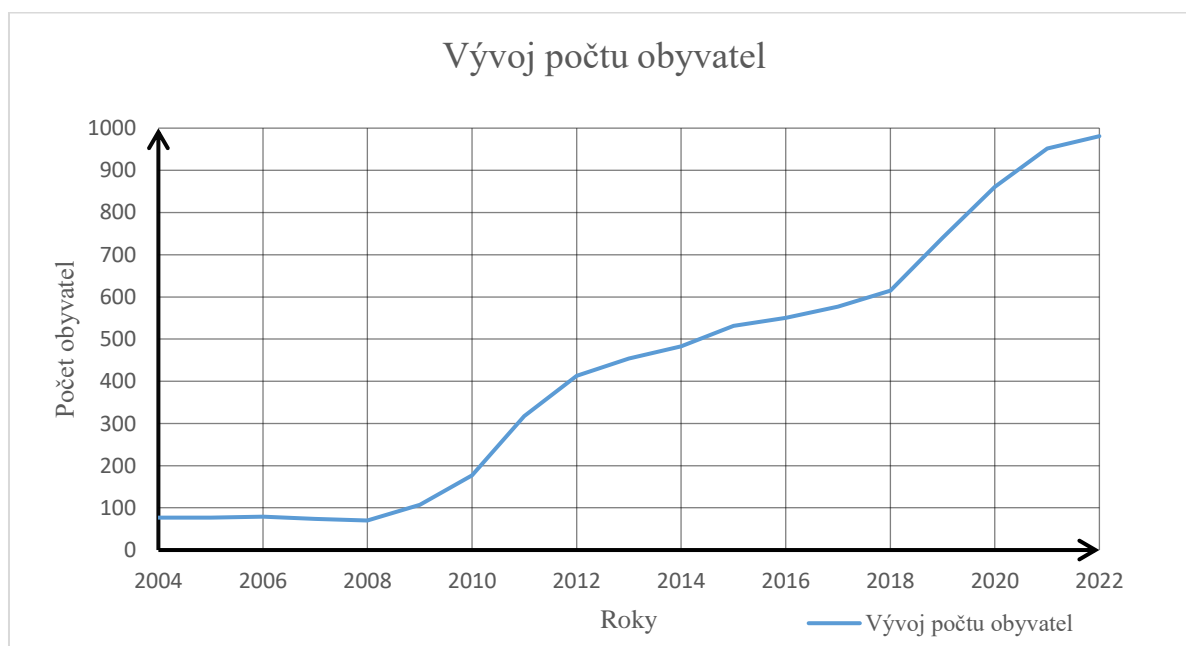
1.2 Herink

Obec Herink se nachází 6 kilometrů jihozápadně od Říčan. Rozloha je 2,74 km² s 981 obyvateli. U této obce lze pozorovat prudký nárůst počtu obyvatel související s růstem zástavby. Herink se nachází v nadmořské výšce 354-380 m n. m.



Obr. 20: Poloha Herinku.

Graf 3: Vývoj počtu obyvatel obce Herink.



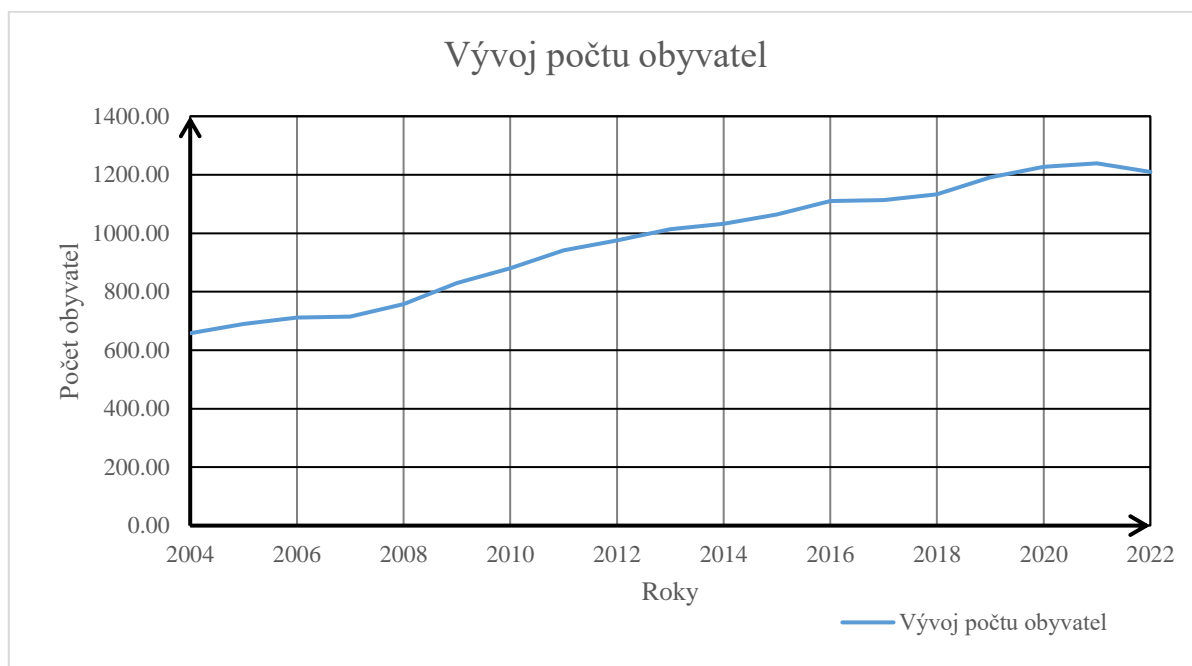
1.3 Dobřejevovice

Obec Dobřejevovice se nachází 7 kilometrů jihozápadně od Říčan. Rozloha je 3,83 km² s 1210 obyvateli. U této obce není nárůst obyvatel tak výrazný, ale i přesto se počet obyvatel od roku 2004 téměř zdvojnásobil (viz graf 3). Dobřejevovice se nachází v nadmořské výšce 322–353 m n. m.



Obr. 21: Poloha Dobřejevic.

Graf 4: Vývoj počtu obyvatel Dobřejevic.



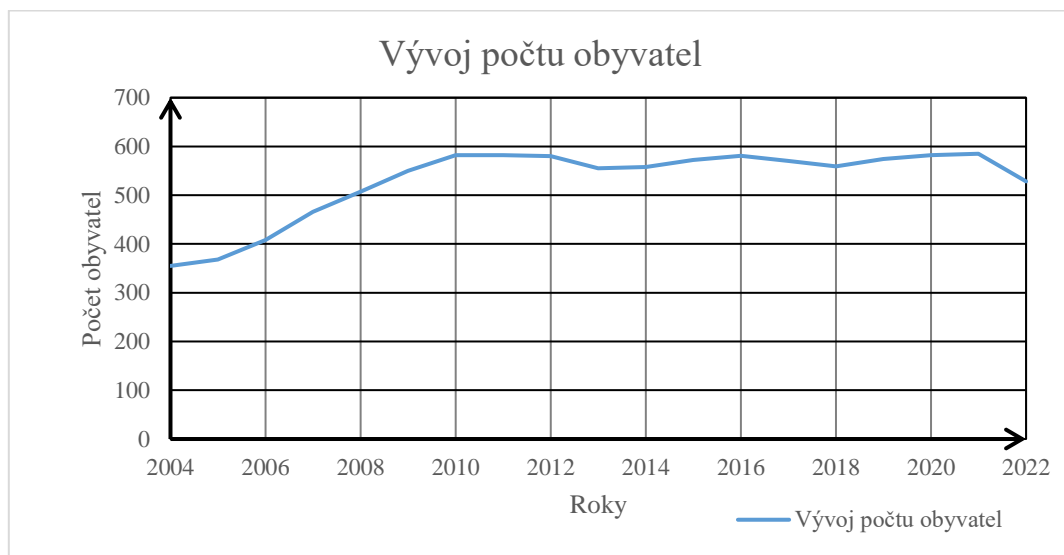
1.4 Modletice

Obec Modletice se nachází 6 kilometrů jihozápadně od Říčan. Rozloha je 3,44 km² s 528 obyvateli. Zástavba je převážně dvoupodlažní. Dobřejojvice se nachází v nadmořské výšce 351-373 m n. m.



Obr. 22: Poloha Modletic

Graf 5: Vývoj počtu obyvatel Modletice.

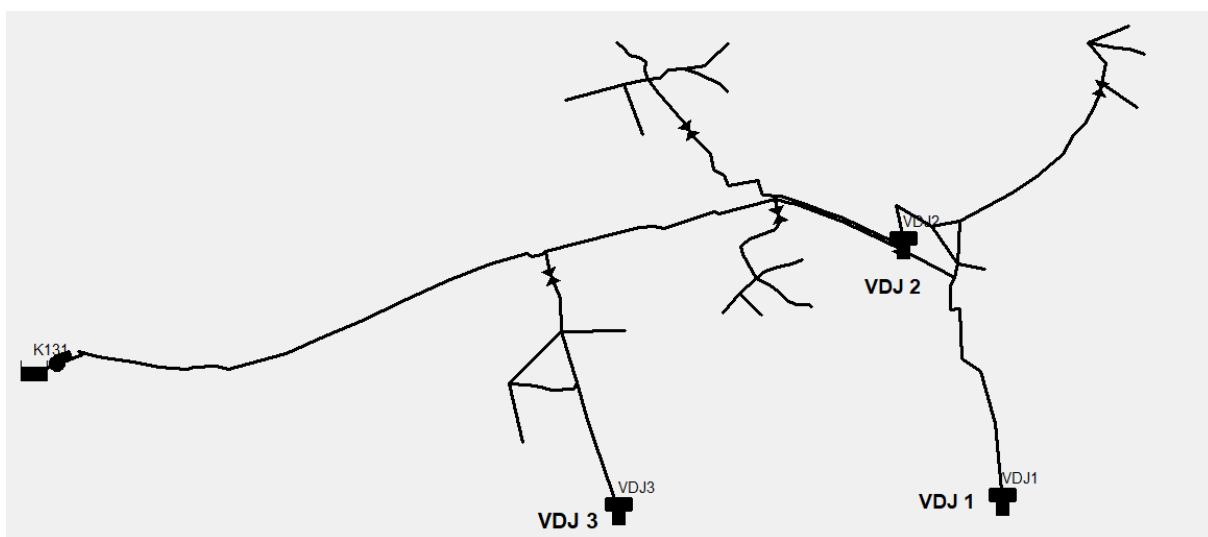


2. Použité podklady

Pro vypracování praktické části bakalářské práce jsem použil studii proveditelnosti vypracovanou firmou Vodohospodářský rozvoj a výstavba a.s. (VRV a.s.), která se zabývá využitím objektu K13 Jesenice na štolovém přivaděči ze Želivky. Studie řeší problematiku zásobování pitnou vodou okolní oblast a komerční zónu Modletice. (18) Jako dalším důležitým zdrojem byla diplomová práce pana Ing. Vladimíra Pokorného (19) zabývající se tímto tématem. Hlavním tématem této práce bylo namodelování dané oblasti a variantní řešení zásobování lokality pitnou vodou. V neposlední řadě byl pro vytvoření vlastního modelu použit mapový portál Mapy.cz (20). A jako poslední dvojice zdrojů, které byly využity pro aktualizaci a implementaci dat do mého modelu, byly webové stránky Českého statistického úřadu (21) a s ní spojené grafické zpracování na webové stránce Obyvatelé Česka (22).

3. Popis výchozí varianty

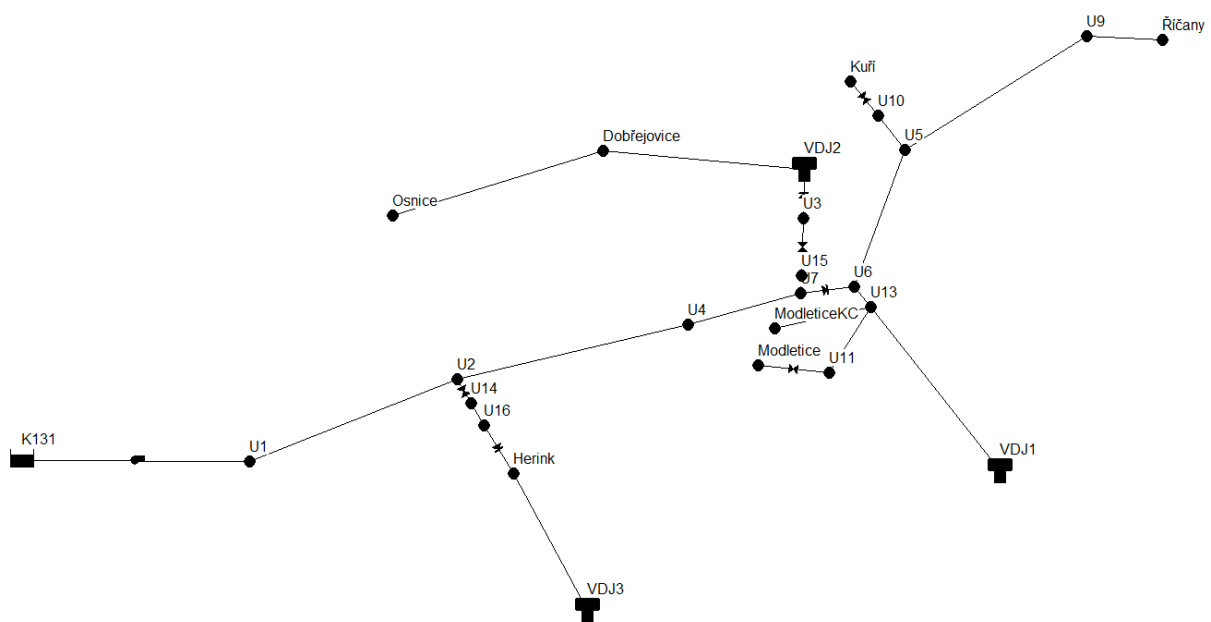
Jako výchozí varianta, která byla dle požadavků doplněna a následně optimalizována byla použita nejvhodnější varianta řešení z diplomové práce Ing. Vladimíra Pokorného. V této variantě je uvažováno s vybudováním čerpací stanice na objektu K13 s minimální provozní hladinou 348 m n. m. (18). Hlavním vodojemem je vodojem 1 (VDJ1), který je umístěn jižně nad obcí Modletice a zásobuje Modletice, Modletickou komerční zónu a obec Kuří. Dále byl využit vodojem 2 (VDJ2), jenž leží v komerční oblasti Modletic a zásobuje kromě komerční části i obec Dobřejovice. A jako poslední byl navržen vodojem 3 (VDJ3) pro účely zásobování vodou obec Herink. Schéma výchozí varianty je patrné na obrázku č. 23.



Obr. 23: Model varianty 3B z diplomové práce V. Pokorného – Epanet2 (19)

4. Popis navrhované varianty

Bakalářská práce se zaměřuje na výše zmíněnou variantu řešení zásobování vodou dané oblasti s několika změnami. První zásadní změnou je rozšíření původní lokality o zásobování pitnou vodou obce Osnice a prodloužení dopravy vody z obce Kuří do obce Říčany. Úkolem této práce je návrh způsobu provozování (doplňování) jednotlivých vodojemů s ohledem na jejich bilanci vody v průběhu času. S tím souvisí i samotný návrh čerpadla v objektu K13 a způsobu jeho řízení spolu s regulací a řízením nátoků do jednotlivých vodojemů. (19) Schéma navrhované varianty je patrné na obrázku č. 24.



Obr. 24: Rozšířený model – Epanet2

5. Výpočet potřeby vody

Počet obyvatel byl získán z dat poskytnutých ČSÚ a z webových stránek jednotlivých obcí a jejich územních plánů. Informace o občanské vybavenosti a průmyslových aktivitách byly získány z mapových podkladů a internetových stránek příslušných podniků působících v dané lokalitě. Pro výpočet občanské vybavenosti a bytového fondu byla použita příloha č. 12 k vyhlášce č. 428/2001 Sb. (8). K určení základní potřeby vody pro občanskou vybavenost a koeficientů nerovnoměrnosti byla využita směrnice č. 9.

Postup výpočtu:

1. Výpočet specifické potřeby vody pro občanskou vybavenost dle směrnice č. 9.
2. Potřeba vody pro bytový fond.
3. Vyšší vybavenost obcí dle přílohy č. 12 k vyhlášce 428/2001 Sb.
4. Výpočet průměrné denní potřeby a připočítání ztrát vody (20 %).
5. Výpočet maximální denní potřeby vody.
6. Výpočet maximální hodinové potřeby vody.

5.1 Herink

Specifická potřeba vody pro bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
981	7.3	20	19620	817.5	0.227

1) Bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
981	35	95.89	94068.49	3919.52	1.089

2) Veřejné budovy a školy					
Mateřská školka					
Počet učitelů a žáků	l/dítě/den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
75	60	4.50	0.1875	4500.00	0.0521

3) Hotely, Ubytovny a Internáty					
Ubytování					
Počet lůžek	m ³ /lůžko/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
36	45	4.44	0.18	4438.36	0.051

4) Kulturní a osvětové podniky, sportovní z.					
Wellness					
Počet návštěvníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
15	20	0.82	0.03	821.92	0.01

5) Restaurace, Vinárny					
Stodola Herink					
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
12	450	5.40	0.23	5400.00	0.06

6) Prodejny					
Prodejny výrobní					
Počet pracovníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
20	26	1.42	0.06	1424.66	0.02
Prodejny s čistým provozem		Pozn: uvažována jedna směna za den			
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
95	50	4.75	0.20	4750.00	0.055
Služby a obchody					
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
40	60	2.40	0.10	2400.00	0.03

Průměrná denní spotřeba vody					
$Q_d = (Q_{sp} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6) * 120 \% =$				1.91	l/s

Maximální denní potřeba					
$Q_{maxd} = Q_d * k_d = 1.91 * 1.5 =$	2.863	l/s	=	247.36	m ³ /den

Maximální hodinová potřeba					
$Q_{maxh} = Q_d * k_h = 1.91 * 1.8 =$	3.436	l/s	=	12.37	m ³ /hod

5.2 Dobřejovice

Specifická potřeba vody pro bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
1210	10.95	30	36300	1512.50	0.420

1) Bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
1210	35	95.89	116027.40	4834.47	1.343

2) Veřejné budovy a školy					
Úřad					
Počet zaměstnanců	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	14	0.19	0.0080	191.78	0.0022
Mateřská školka					
Počet učitelů a žáků	l/dítě/den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
70	60	4.20	0.1750	4200.00	0.0486

3) Hotely, Ubytovny a Internáty					
Ubytování					
Počet lůžek	m ³ /lůžko/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	15	0.21	0.01	205.48	0.002

4) Kulturní a osvětové podniky, sportovní z.					
Spolkový dům					
Počet návštěvníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	14	0.19	0.01	191.78	0.00
FK Dobřejovice					
Počet návštěvníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
20	20	1.10	0.05	1095.89	0.01

5) Restaurace, Vinárny					
Hospoda na hřišti					
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
2	450	0.90	0.04	900.00	0.01

6) Prodejny					
Prodejny výrobní			Staročeská pekárna, s.r.o.		
Počet pracovníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
15	26	1.07	0.04	1068.49	0.01
Prodejny výrobní			Alimpex-Maso, s.r.o.		
Počet pracovníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
70	26	4.99	0.21	4986.30	0.06
Prodejny s čistým provozem			Smíšené zboží		
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	60	0.30	0.01	300.00	0.003
Služby a obchody					
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
40	60	2.40	0.10	2400.00	0.03

Průměrná denní spotřeba vody					
$Q_d = (Q_{sp} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6) * 120 \% =$				1.94	l/s

Maximální denní potřeba					
$Q_{maxd} = Q_d * k_d = 1.91 * 1.4 =$	2.720	l/s	=	235.01	m ³ /den

Maximální hodinová potřeba					
$Q_{maxh} = Q_d * k_h = 1.91 * 1.8 =$	3.497	l/s	=	12.59	m ³ /hod

5.3 Modletice

Specifická potřeba vody pro bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
528	7.3	20	10560	440.00	0.122

1) Bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
528	35	95.89	50630.14	2109.59	0.586

2) Veřejné budovy a školy					
Úřad					
Počet zaměstnanců	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	14	0.19	0.0080	191.78	0.0022
Mateřská školka					
Počet učitelů a žáků	l/dítě/den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
31	60	1.86	0.0775	1860.00	0.0215

3) Hotely, Ubytovny a Internáty					
Ubytování					
Počet lůžek	m ³ /lůžko/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	15	0.21	0.01	205.48	0.002

4) Kulturní a osvětové podniky, sportovní z.					
Zámek modletice					
Počet návštěvníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	14	0.19	0.01	191.78	0.00

5) Restaurace, Vinárny					
Hospoda na hřišti					
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
2	450	0.90	0.04	900.00	0.01

6) Prodejny					
Prodejny výrobní			Zámecká výrobná uzenin		
Počet pracovníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
30	26	2.14	0.09	2136.99	0.02
Prodejny s čistým provozem			Smišené zboží		
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	60	0.30	0.01	300.00	0.003

Potřeba vody pro komerční zónu Modletic nebyla zjištěna. Ve výpočtu uvažují hodnotu 25 l/s

25

Služby a obchody					
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
40	60	2.40	0.10	2400.00	0.03

Průměrná denní spotřeba vody					
$Q_d = (Q_{sp} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{KOM}) * 120 \% =$				25.80	l/s

Maximální denní potřeba						
$Q_{maxd} = Q_d * k_d = 1.91 * 1.5 =$		38.704	l/s	=	3121.13	m ³ /den

Maximální hodinová potřeba						
$Q_{maxh} = Q_d * k_h = 1.91 * 1.8 =$		46.445	l/s	=	167.20	m ³ /hod

5.4 Osnice

Specifická potřeba vody pro bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
1920	10.95	30	57600	2400.00	0.667

1) Bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
1920	35	95.89	184109.59	7671.23	2.131

2) Veřejné budovy a školy					
Mateřská školka					
Počet učitelů a žáků	l/dítě/den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
38	60	2.28	0.0950	2280.00	0.0264

6) Prodejny					
Provozovny místního významu		VulkaNo.1 – Sádrokartonová světla			
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
1	180	0.18	0.01	180.00	0.002

Služby a obchody		Make-up Artist studio			
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
1	200	0.20	0.01	200.00	0.00

Průměrná denní spotřeba vody					
$Q_d = (Q_{sp} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6) * 120 \% =$				2.83	l/s

Maximální denní potřeba					
$Q_{maxd} = Q_d * k_d = 1.91 * 1.4 =$	3.960	l/s	=	342.12	m ³ /den

Maximální hodinová potřeba					
$Q_{maxh} = Q_d * k_h = 1.91 * 1.8 =$	5.091	l/s	=	18.33	m ³ /hod

5.5 Kuří

Specifická potřeba vody pro bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
446	7.3	20	8920	371.67	0.103

1) Bytový fond					
Výhledový počet obyvatel	m ³ /os/rok	l/os/den	l/den	l/hod	l/s
446	35	95.89	42767.12	1781.96	0.495

3) Hotely, Ubytovny a Internáty					
Ubytování Pozimoss					
Počet lůžek	m ³ /lůžko/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
55	15	2.26	0.09	2260.27	0.026

4) Kulturní a osvětové podniky, sportovní z.					
Zámek modletice					
Počet návštěvníků	m ³ /os/rok	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
5	14	0.19	0.01	191.78	0.00

6) Prodejny					
Prodejny s čistým provozem			Smišené zboží		
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
2	60	0.12	0.01	120.00	0.001

Služby a obchody					
Počet pracovníků	l/zam./den	m ³ /den	m ³ /hod	l/den	l/s
40	60	2.40	0.10	2400.00	0.03

Průměrná denní spotřeba vody					
$Q_d = (Q_{sp} + Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_{KOM}) * 120 \% =$				0.66	l/s

Maximální denní potřeba						
$Q_{maxd} = Q_d * k_d = 1.91 * 1.5 =$		0.984	l/s	=	79.32	m ³ /den

Maximální hodinová potřeba						
$Q_{maxd} = Q_d * k_h = 1.91 * 1.8 =$		1.180	l/s	=	4.25	m ³ /hod

5.6 Rekapitulace potřeby vody

Na schématu v kapitole C.3 jsou vidět jednotlivé uzly představující obce, pro které byly vypočítány potřeby vody. Do těchto uzlů jsou umístěny příslušné odběry vody ($Q_{\max,d}$ v litrech za sekundu). Hodnoty maximálních hodinových odběrů byly vypočteny vynásobením maximálních denních odběrů koeficientem hodinové nerovnoměrnosti K_h 1.8.

Obec	$Q_{\max,d}$ [l/s]	$Q_{\max,h}$ [m ³ /hod]
Herink	3.44	12.37
Dobřejovice	3.50	12.59
Modletice	46.45	167.20
Kuří	1.18	4.25
Osnice	5.09	18.33
Celkem	59.65	214.74
$Q_{\max,d}$ [m ³ /den]	5153.72	-

6. Návrh vodojemů

Dalším krokem ke kompletaci vstupních dat modelu jsou potřebné objemy jednotlivých vodojemů. Každý vodojem byl navržen na maximální denní potřebu vody pro oblast, kterou bude zásobovat.

Vodojem 1:

- Je navržen na $Q_{\max,d} = 47,63$ l/s.
- Provozní objem $V_p = 1314,93$ m³
- Požární objem $V_{\text{pož}} = 345,6$ m³
- Poruchová zásoba $V_r = 1714,53$ m³
- Součet objemů činí 3375,05 m³

Vodojem 1						
hod	Kh 1.8	Hodinová potřeba	Přítok	Odběr	Přebytek P-O	Bilance odběrů
	%	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³
0-1	1	41.149	228.604	41.149	187.45	187.45
1-2	0.7	28.804	228.604	28.804	199.80	387.25
2-3	0.7	28.804	228.604	28.804	199.80	587.05
3-4	0.7	28.804	228.604	28.804	199.80	786.85
4-5	2	82.297	228.604	82.297	146.31	933.16
5-6	3	123.446	228.604	123.446	105.16	1038.32
6-7	5	205.743	228.604	205.743	22.86	1061.18
7-8	6.4	263.351	228.604	263.351	-34.75	1026.43
8-9	4.5	185.169	0.000	185.169	-185.17	841.26
9-10	5.5	226.317	0.000	226.317	-226.32	614.94
10-11	5.5	226.317	0.000	226.317	-226.32	388.63
11-12	5.5	226.317	228.604	226.317	2.29	390.91
12-13	5	205.743	228.604	205.743	22.86	413.77
13-14	5	205.743	228.604	205.743	22.86	436.63
14-15	4	164.595	228.604	164.595	64.01	500.64
15-16	5	205.743	228.604	205.743	22.86	523.50
16-17	5	205.743	228.604	205.743	22.86	546.36
17-18	6	246.892	228.604	246.892	-18.29	528.07
18-19	6.5	267.466	0.000	267.466	-267.47	260.61
19-20	7.5	308.615	0.000	308.615	-308.61	-48.01
20-21	5	205.743	0.000	205.743	-205.74	-253.75
21-22	5	205.743	228.604	205.743	22.86	-230.89
22-23	4	164.595	228.604	164.595	64.01	-166.88
23-24	1.5	61.723	228.604	61.723	166.88	0.00
SUMA	100	4114.864	4114.864	4114.864	0.00	

Provozní objem	
Bilance	m ³
Max	1061.18
Min	-253.75
V_p	1314.928

Požární objem	
n [ks]	4
t [hod]	2
Q _{pož} [l/s]	12
V_{pož}	345.6

Poruchová zásoba	
T [hod]	10
Q _{max,d} [m ³ /den]	4114.86
V_r	1714.53

V_{celk}	3375.05
-------------------------	----------------

Pro požadovaný objem vody byl navržen dvoukomorový vodojem 2x 1800 m³.

Vodojem 2:

- Je navržen na $Q_{\max,d} = 8,59$ l/s.
- Provozní objem $V_p = 237,119$ m³
- Požární objem $V_{\text{pož}} = 172,8$ m³
- Poruchová zásoba $V_r = 309,18$ m³
- Součet objemů činí 719,10 m³

Vodojem 2						
hod	Kh 1.8	Hodinová potřeba	Přítok	Odběr	Přebytek P-O	Bilance odběrů
	%	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³
0-1	1	7.420	41.224	7.420	33.80	33.80
1-2	0.7	5.194	41.224	5.194	36.03	69.83
2-3	0.7	5.194	41.224	5.194	36.03	105.86
3-4	0.7	5.194	41.224	5.194	36.03	141.89
4-5	2	14.841	41.224	14.841	26.38	168.28
5-6	3	22.261	41.224	22.261	18.96	187.24
6-7	5	37.101	41.224	37.101	4.12	191.36
7-8	6.4	47.490	41.224	47.490	-6.27	185.09
8-9	4.5	33.391	0.000	33.391	-33.39	151.70
9-10	5.5	40.811	0.000	40.811	-40.81	110.89
10-11	5.5	40.811	0.000	40.811	-40.81	70.08
11-12	5.5	40.811	41.224	40.811	0.41	70.49
12-13	5	37.101	41.224	37.101	4.12	74.61
13-14	5	37.101	41.224	37.101	4.12	78.74
14-15	4	29.681	41.224	29.681	11.54	90.28
15-16	5	37.101	41.224	37.101	4.12	94.40
16-17	5	37.101	41.224	37.101	4.12	98.52
17-18	6	44.522	41.224	44.522	-3.30	95.23
18-19	6.5	48.232	0.000	48.232	-48.23	46.99
19-20	7.5	55.652	0.000	55.652	-55.65	-8.66
20-21	5	37.101	0.000	37.101	-37.10	-45.76
21-22	5	37.101	41.224	37.101	4.12	-41.64
22-23	4	29.681	41.224	29.681	11.54	-30.09
23-24	1.5	11.130	41.224	11.130	30.09	0.00
SUMA	100	742.0261	742.026	742.026	0.00	1939.16

Provozní objem	
Bilance	m ³
Max	191.36
Min	-45.76
V_p	237.119

Požární objem	
n [ks]	2
t [hod]	2
Q _{pož} [l/s]	12
V_{pož}	172.8

Poruchová zásoba	
T [hod]	10
Q _{max,d} [m ³ /den]	742.03
V_r	309.18

V_{celk}	719.10
-------------------------	---------------

Pro požadovaný objem vody byl navržen dvoukomorový vodojem 2x 400 m³.

Vodojem 2:

- Je navržen na $Q_{\max,d} = 3,44$ l/s.
- Provozní objem $V_p = 94,855$ m³
- Požární objem $V_{\text{pož}} = 172,8$ m³
- Poruchová zásoba $V_r = 123,68$ m³
- Součet objemů činí 391,34 m³

Vodojem 3						
hod	Kh 1.8	Hodinová potřeba	Přítok	Odběr	Přebytek P-O	Bilance odběrů
	%	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³ /h	m ³
0-1	1	2.968	16.491	2.968	13.52	13.52
1-2	0.7	2.078	16.491	2.078	14.41	27.94
2-3	0.7	2.078	16.491	2.078	14.41	42.35
3-4	0.7	2.078	16.491	2.078	14.41	56.76
4-5	2	5.937	16.491	5.937	10.55	67.32
5-6	3	8.905	16.491	8.905	7.59	74.90
6-7	5	14.842	16.491	14.842	1.65	76.55
7-8	6.4	18.997	16.491	18.997	-2.51	74.04
8-9	4.5	13.358	0.000	13.358	-13.36	60.69
9-10	5.5	16.326	0.000	16.326	-16.33	44.36
10-11	5.5	16.326	0.000	16.326	-16.33	28.03
11-12	5.5	16.326	16.491	16.326	0.16	28.20
12-13	5	14.842	16.491	14.842	1.65	29.85
13-14	5	14.842	16.491	14.842	1.65	31.50
14-15	4	11.873	16.491	11.873	4.62	36.11
15-16	5	14.842	16.491	14.842	1.65	37.76
16-17	5	14.842	16.491	14.842	1.65	39.41
17-18	6	17.810	16.491	17.810	-1.32	38.09
18-19	6.5	19.294	0.000	19.294	-19.29	18.80
19-20	7.5	22.263	0.000	22.263	-22.26	-3.46
20-21	5	14.842	0.000	14.842	-14.84	-18.30
21-22	5	14.842	16.491	14.842	1.65	-16.66
22-23	4	11.873	16.491	11.873	4.62	-12.04
23-24	1.5	4.453	16.491	4.453	12.04	0.00
SUMA	100	296.8346	296.835	296.835	0.00	775.73

Provozní objem	
Bilance	m ³
Max	76.55
Min	-18.30
V_p	94.855

Požární objem	
n [ks]	2
t [hod]	2
Q _{pož} [l/s]	12
V_{pož}	172.8

Poruchová zásoba	
T [hod]	10
Q _{max,d} [m ³ /den]	296.83
V_r	123.68

V_{celk}	391.34
-------------------------	---------------

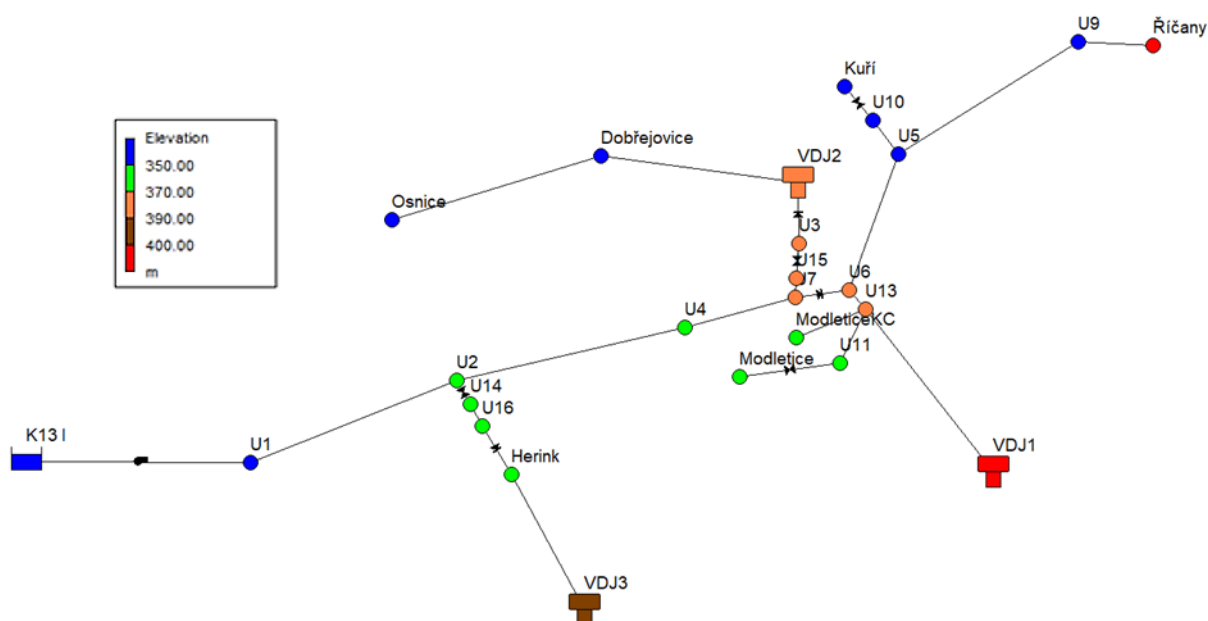
Pro požadovaný objem vody byl navržen dvoukomorový vodojem 2x 200 m³.

7. Vytvoření modelu

Model byl vytvořen v programu EPANET 2, do něhož byla dosazena vypočtená data (velikosti vodojemů, potřeby vody jednotlivých obcí) a rozšíření o výhledový požadavek čerpání vody do obce Říčany. Jednotlivé potřeby vody byly rozděleny do hodinových potřeb podle koeficientu K_h 1,8 kromě Řičan, kde se uvažuje s konstantní hodinovým odběrem. Dimenze potrubí zůstaly zachovány z výchozí varianty z důvodu počáteční simulace funkčnosti navrženého systému.

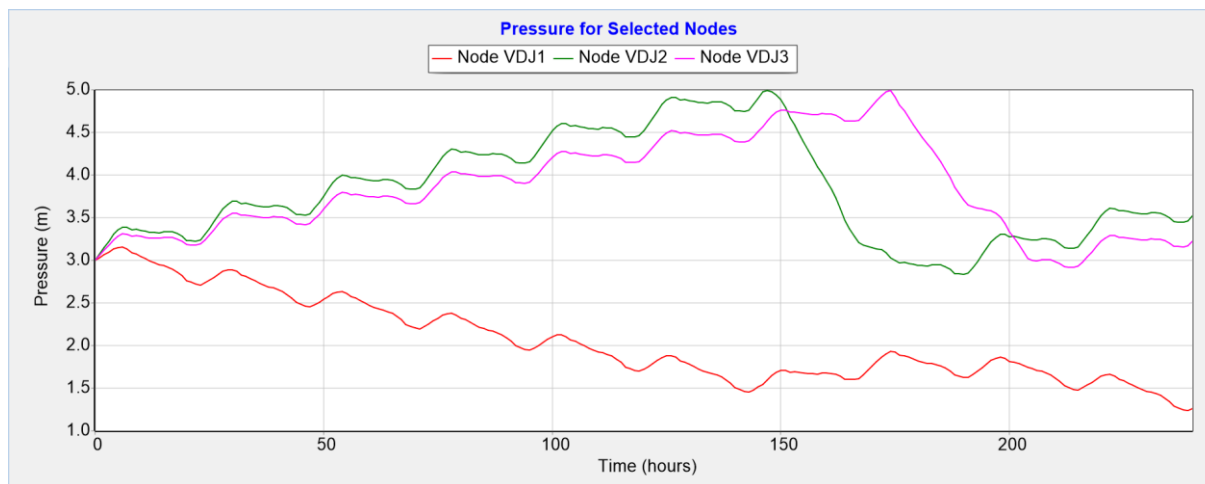
Parametry modelu:

- Délka simulace je nastavena na 240 hodin.
- Délka kroku výpočtu je nastavena na jednu hodinu.
- Vodojem 1 (VDJ1) s kótou dna 410 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 2 (VDJ2) s kótou dna 375 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 3 (VDJ3) s kótou dna 394 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Parametry původního čerpadla $Q = 35 \text{ l/s}$ a $H = 87 \text{ m}$.



Obr. 25: Rozšířený výchozí model – Epanet2

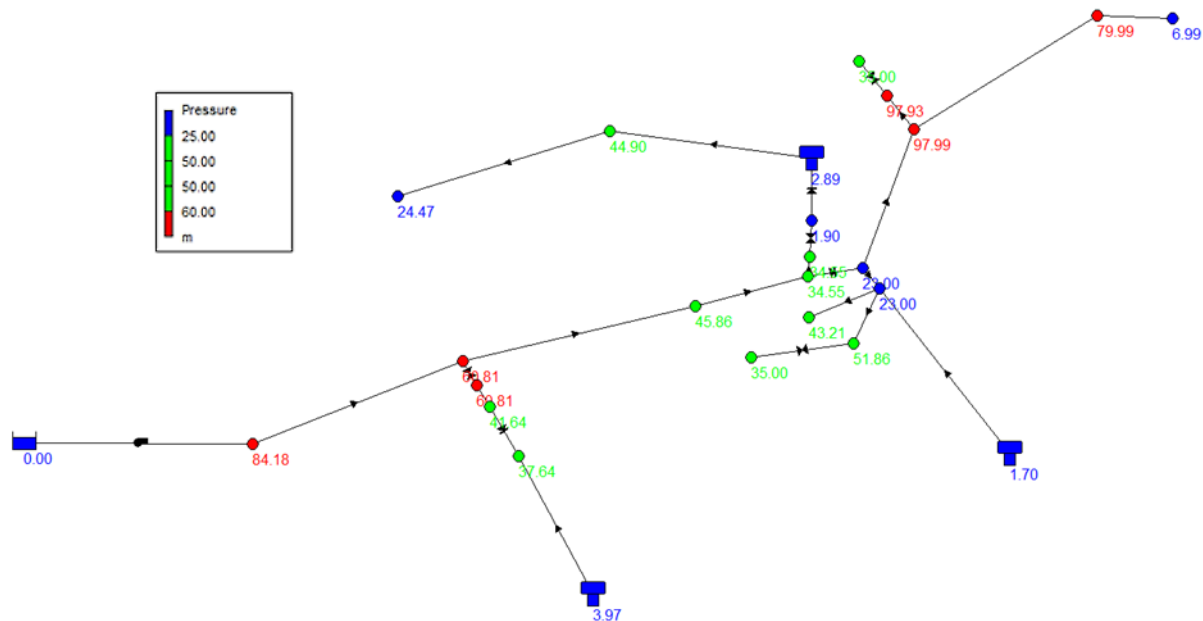
Celkově lze říct, že navržený model není dostačující pro aktualizované podmínky (zahrnující nárůst počtu obyvatel), především z důvodu nedostatku dodávané vody do systému. V první iteraci jsem uvažoval s nulovým odběrem vody do obce Říčany, ale i přesto dochází k postupnému prázdnění vodojemu 1 (lze vidět klesající trend) a v budoucnosti by došlo k dosažení nulové hladiny vody (viz obrázek č. 29).



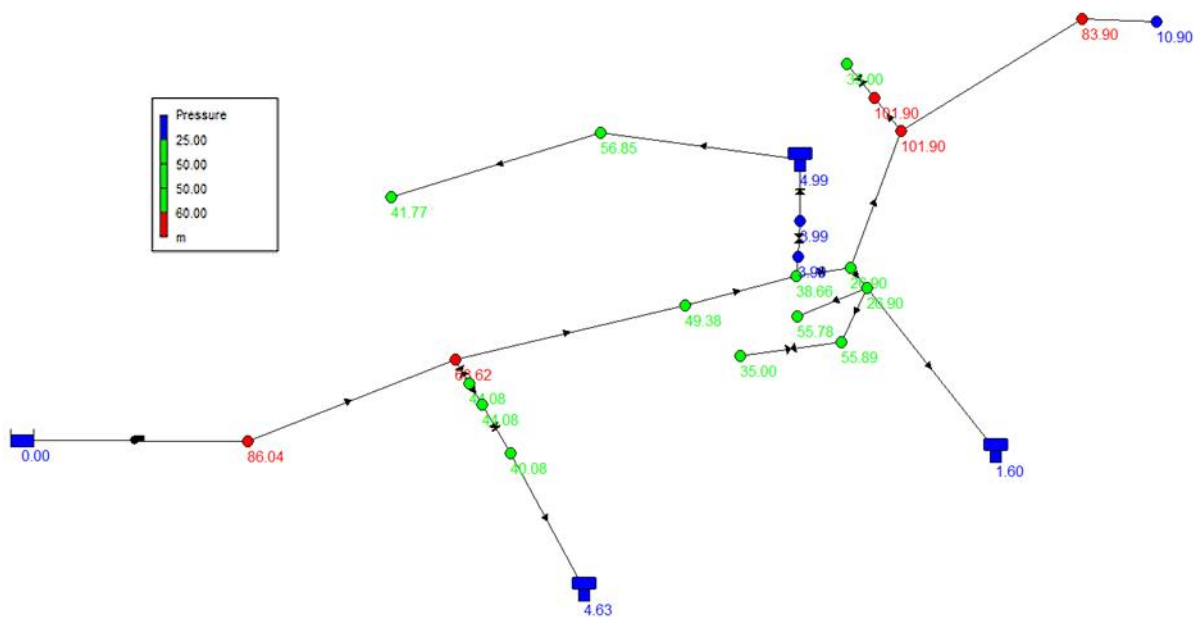
Obr. 29: Plnění a prázdnění vodojemů – Epanet2

Obecně je z modelu patrné, že tlakové podmínky jsou vyhovující (dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. (3)). Nejnižších tlaků ve spotřebištích je dosaženo v Osnici v 187. hodině výpočtu (19:00-20:00) a dosahují hodnoty 24.47 m v. sl. Naopak nejvyšších hodnot tlaků je dosaženo v bodech na výtlačném potrubí a na odbočce na obec Kuří v místě redukčního ventilu. Nejvyšší tlak, kterého je dosaženo ve spotřebištích je v obci Dobřejovice v 147. hodině výpočtu (3:00-4:00) a jeho hodnota je 56.85 m v. sl.

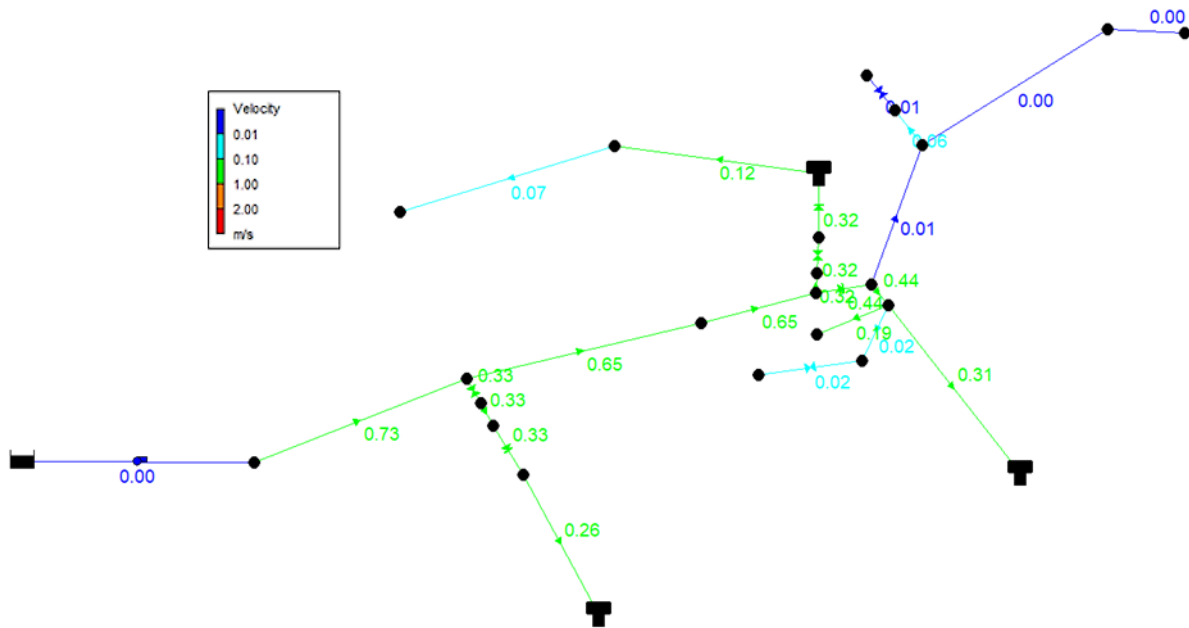
Rychlosti nepřekračují maximální hodnoty, avšak minimálních doporučených hodnot je dosaženo u několika výtlačných potrubí téměř v celém průběhu výpočtu.



Obr. 31: Nejnižší tlak v čase 187. hodiny (19:00-20:00) – Epanet2

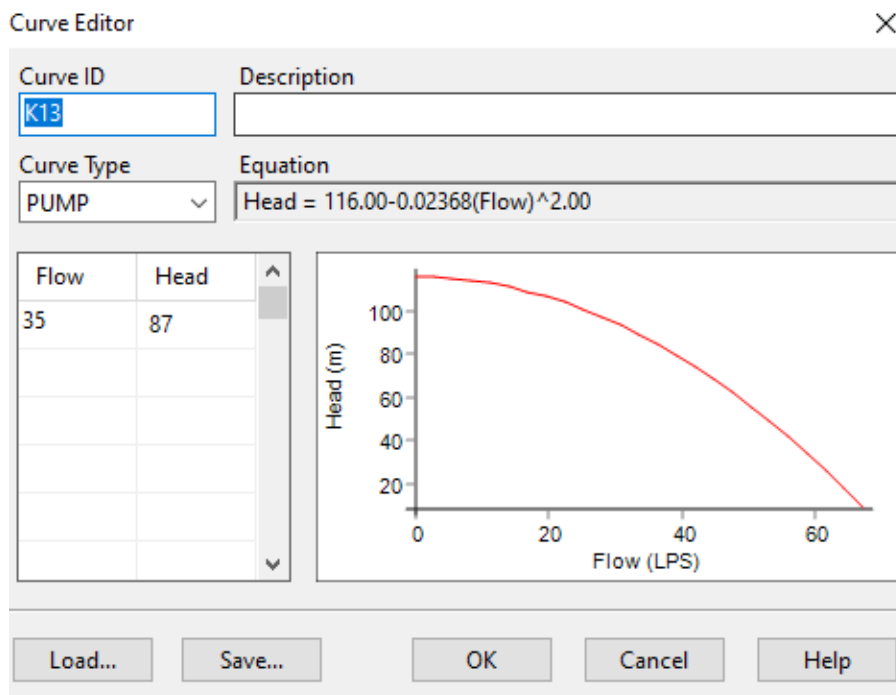


Obr. 32: Nejvyšší tlak v čase 147. hodiny (3:00-4:00) – Epanet2



Obr. 33: Rychlosti v čase 1. hodiny (1:00) – Epanet2

Nízké rychlosti a nedostatečné průtoky mohou být způsobeny návrhem nedostatečně silného čerpadla, které není schopné dodávat do sítě množství vody, jenž by pokrylo potřeby vody celé lokality a zároveň, aby docházelo k postupnému doplňování vodojemů.



Obr. 34: Původní návrh čerpadla – Epanet2

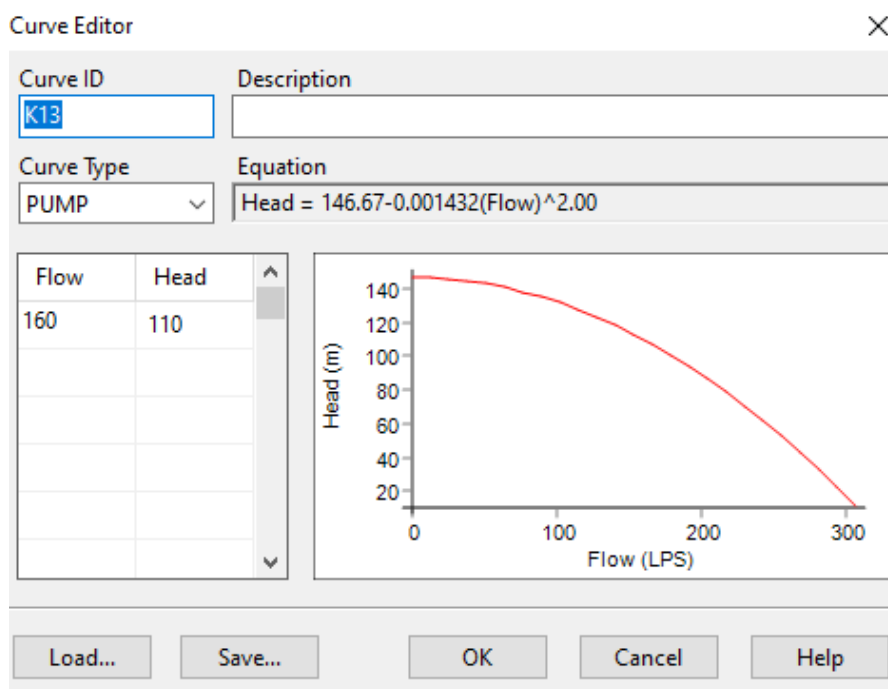
8. Úprava modelu

Cílem úpravy modelu je nalézt maximální možný průtok, jenž je možné dopravit do obce Říčany bez ohrožení nedostatkem vody zbytku sítě a za předpokladu zachování všech původních parametrů sítě, kromě čerpadla. Postupem bylo posilování čerpadla do té doby, dokud nebylo dosaženo limitních hodnot rychlostí v potrubí, mezních tlaků v uzlových bodech nebo neudržitelnosti bilance vody v systému.

Parametry modelu:

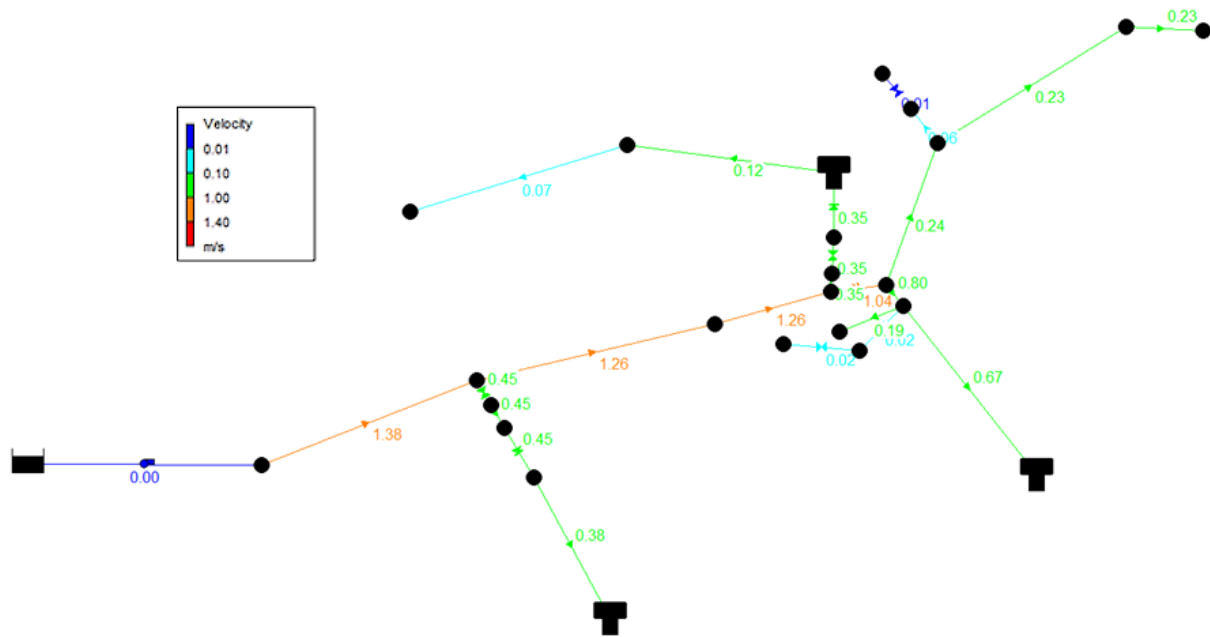
- Délka simulace je nastavena na 240 hodin.
- Délka kroku výpočtu je nastavena na jednu hodinu.
- Vodojem 1 (VDJ1) s kótou dna 410 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 2 (VDJ2) s kótou dna 375 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 3 (VDJ3) s kótou dna 394 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Parametry původního čerpadla $Q = 160 \text{ l/s}$ a $H = 110 \text{ m}$.

Nový návrh čerpadla:

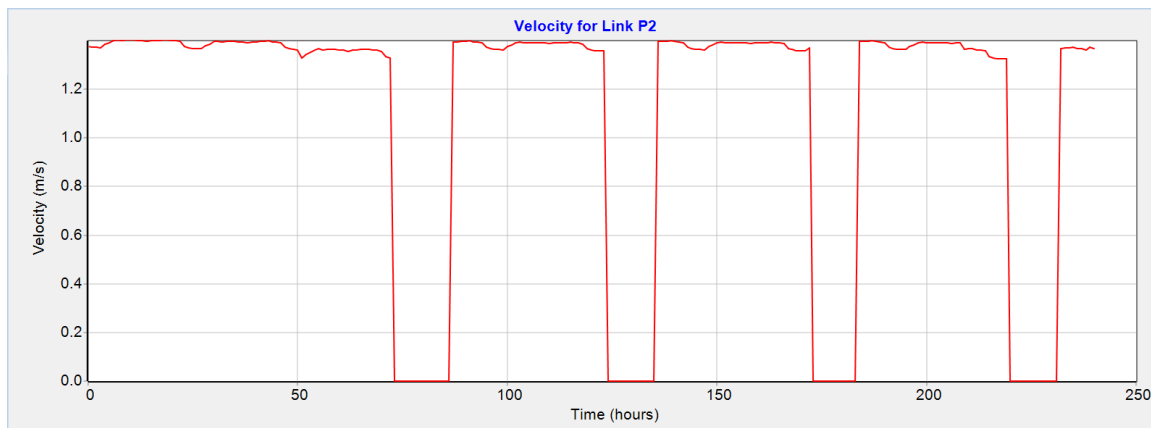


Obr. 35: Nový návrh čerpadla – Epanet2

V novém návrhu čerpadla uvažují s průtokem 140 l/s a dopravní výškou 110 metrů. Při vyšších průtocích dochází ke zvýšení ztrátové výšky. Při uvažování nového čerpadla jsou dosaženy téměř limitní hodnoty rychlosti na výtlačném potrubí za zachování dostatečných tlaků v odběrných místech a udržitelnosti bilance vody v systému. Tlakové poměry ve spotřebištích odpovídají vyhlášce č. 428/2001 Sb. (3)

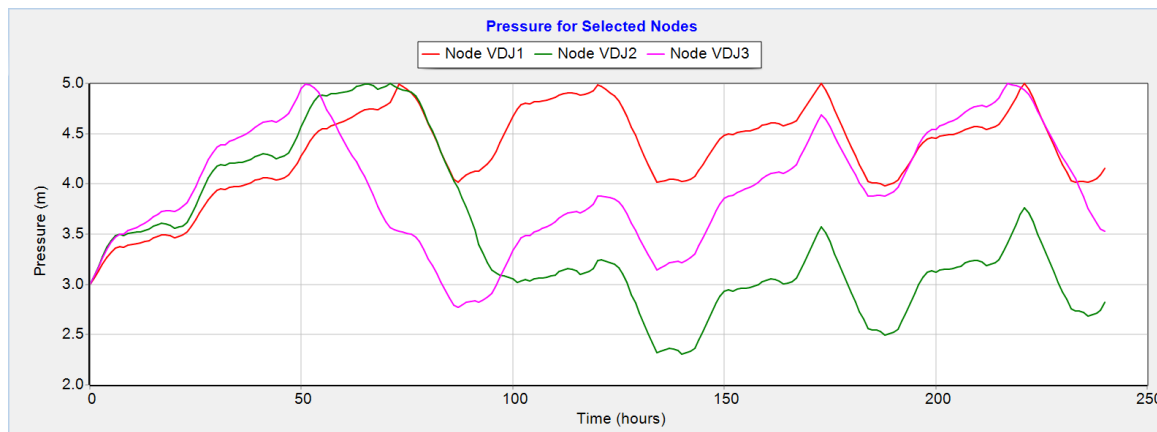


Obr. 36: Rychlosti v čase 1. hodiny (1:00) – Epanet2



Obr. 37: Vývoj rychlostí v čase v potrubí P2 – Epanet2

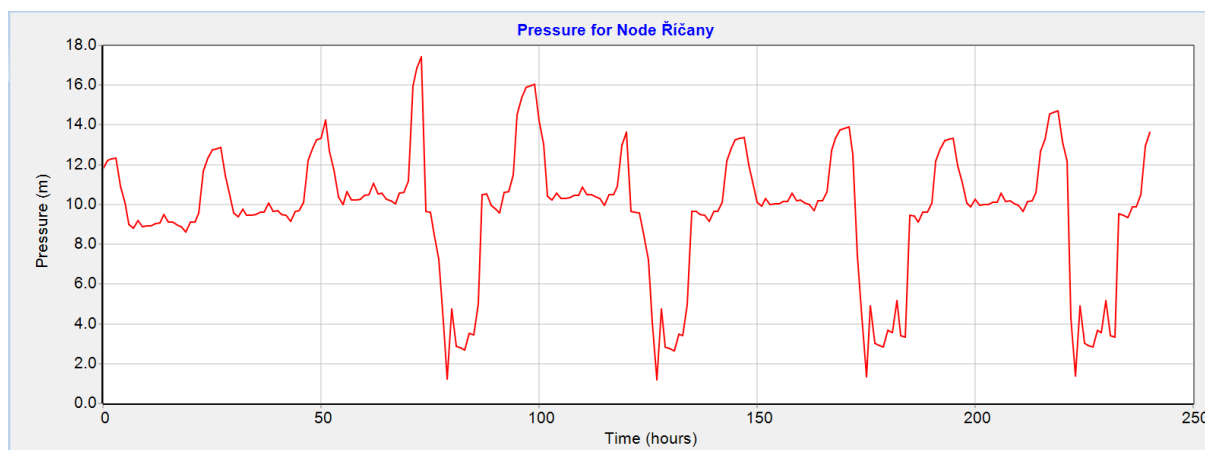
Posouzení vodojemů:



Obr. 38: Vývoj hladiny v čase ve vodojemech – Epanet2

Z grafu (Obrázek č. 37) vývoje tlaků ve vodojemech lze vypočítat oscilaci tlaku s rostoucím trendem. Tento trend ukazuje udržitelnost samotného systému, kdy je možné dodávat dostatečné množství vody do odběrných míst a zároveň doplňovat vodojemy.

Nakonec byly posouzeny tlakové poměry v uzlu představující Říčany, ve kterém je pomocí konstantního odběru simulován nejvyšší možný odtok do Říčanského vodojemu. Zde bylo důležité posoudit, zda zde nedochází v čase k záporným tlakům.



Obr. 39: Vývoj tlaku v čase v uzlu Říčany – Epanet2

Z grafu (Obrázek č. 38) lze vypočítat, že v uzlu nedochází k záporným tlakům s relativně malou rezervou v časech, kdy dochází k naplnění vodojemu 1, a tedy vypnutí čerpadla. Ale i přesto lze bezpečně dodávat do Říčan průtok 11,5 l/s.

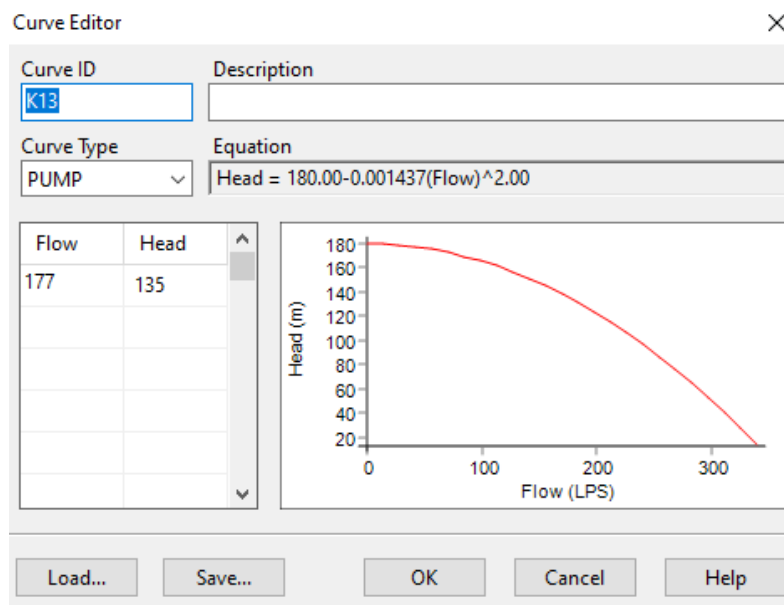
9. Výsledná verze modelu

Pro výslednou optimalizaci bylo upraveno čerpadlo i průřezy výtlačného potrubí z DN250 na DN400 pro zvýšení kapacity průtoku. V důsledku zvýšení průtoku ale docházelo k rychlejšímu doplňování vodojemu 1, a tedy nebyl dostatečný přítok do vodojemů 2 a 3. Redukční ventily, které snižovaly maximální průtok, který přitékal do vodojemů 2 a 3 bylo nutné zvýšit na dostatečnou hodnotu, při které se vodojemy dopouštěly. U vodojemu 2 je tato hodnota 17,5 l/s a u vodojemu 3 je tato hodnota 7,2 l/s.

Parametry modelu:

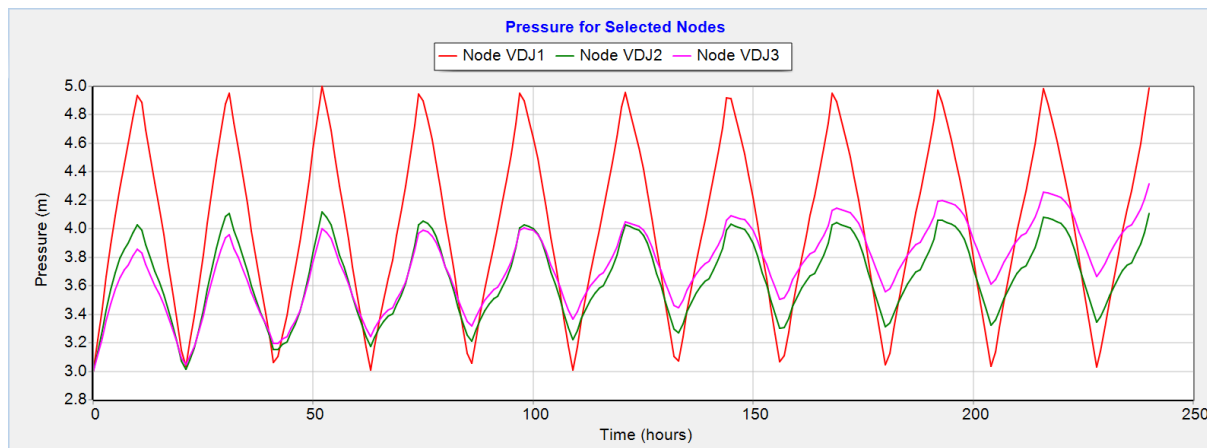
- Délka simulace je nastavena na 240 hodin.
- Délka kroku výpočtu je nastavena na jednu hodinu.
- Vodojem 1 (VDJ1) s kótou dna 410 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 2 (VDJ2) s kótou dna 375 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 3 (VDJ3) s kótou dna 394 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Parametry původního čerpadla $Q = 177$ l/s a $H = 135$ m.

Upravené čerpadlo:



Obr. 40: Finální návrh čerpadla – Epanet2

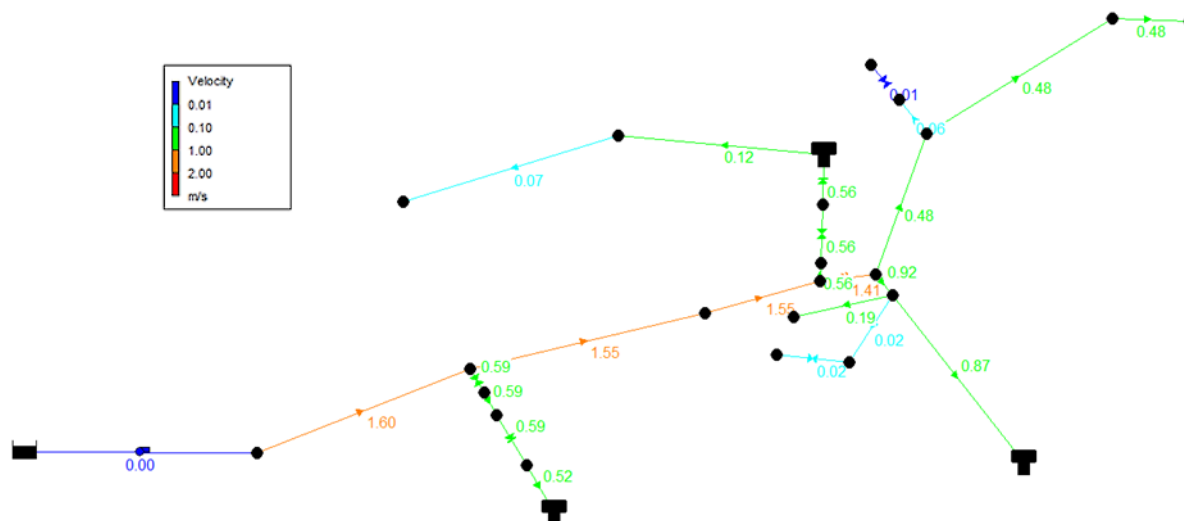
Ověření hladin ve vodojemech:



Obr. 41: Vývoj hladiny v čase ve vodojemech – Epanet2

Z Grafu (Obrázek č. 39) je patrné, že hladina ve vodojemu 1 osciluje a úrovně hladin ve vodojemech 2 a 3 mají rostoucí tendenci, značící jejich postupné doplňování. Avšak k úplnému doplnění ve zkoumaném úseku nedojde.

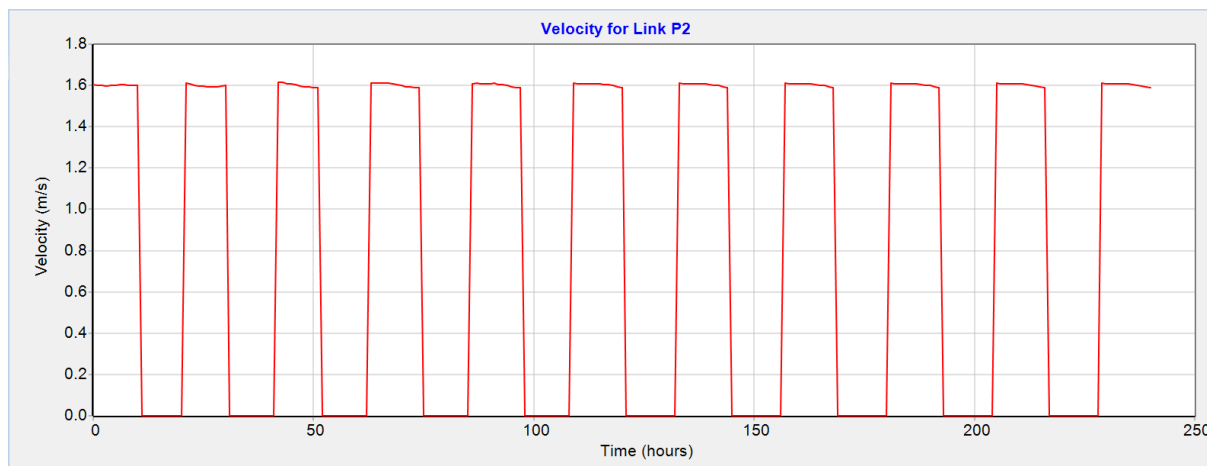
Ověření rychlostí:



Obr. 42: Rychlosti v čase 1. hodiny (1:00) – Epanet2

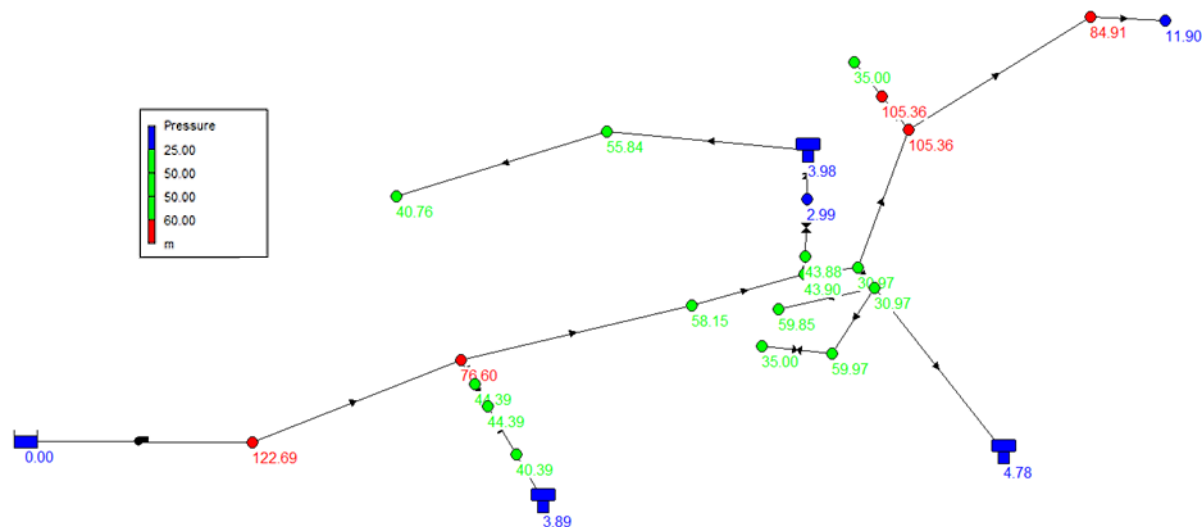
Maximální průtoky ve výtlačném potrubí byly stanoveny s ohledem na doporučené maximální rychlosti proudění vody v potrubí dle ČSN 75 5301. Nejvytěžovanějším úsekem je potrubí P2 mezi uzlovými body U1 a U2, kdy rychlost dosahuje hodnot 1.6 m/s. Postupně

rychlosti klesají až do bodu U6, kde rychlost proudící vody skokově klesne z příčiny rozdělení průtoku.

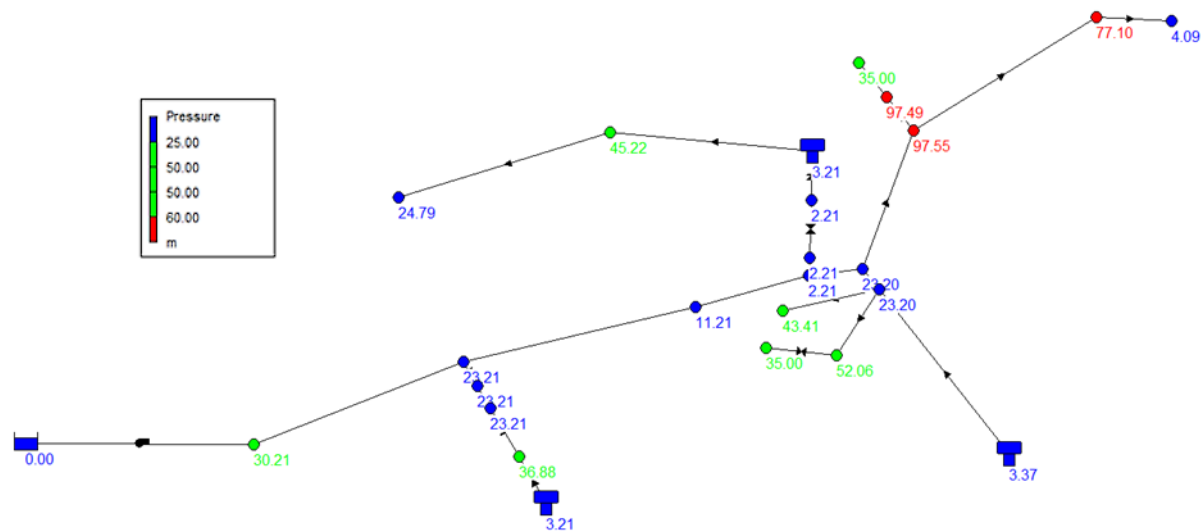


Obr. 43: Vývoj rychlosti v čase v potrubí P2 – Epanet2

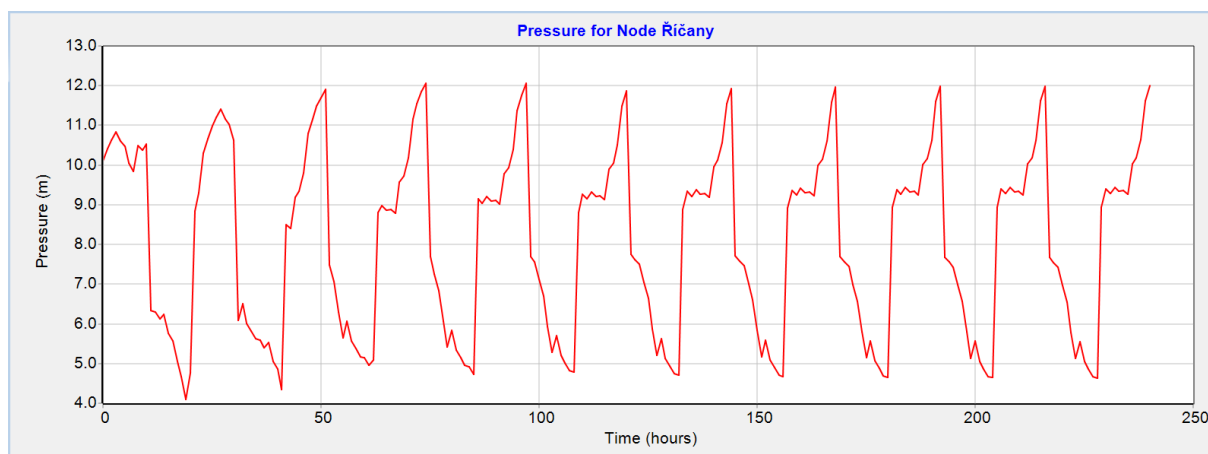
Tlakové poměry v odběrných bodech jsou podle vyhlášky č. 428/2001 Sb. v pořádku (3). Nadlimitní tlaky jsou redukovány pomocí redukčních ventilů. Nejvyšších tlaků dosahuje Modletická komerční zóna, kde tlak dosahuje hodnot téměř 60 m v. sl. Naopak nejnižších tlaků dosahuje obec Osnice o hodnotě 24.79 m v. sl.



Obr. 44: Nejvyšší tlak pravidelně v časech (3:00-4:00) – Epanet2

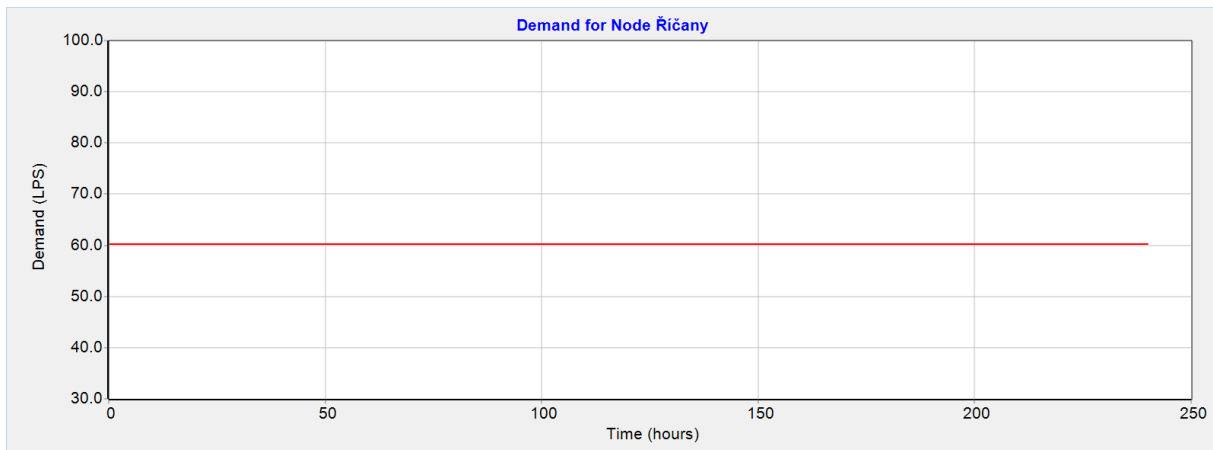


Obr. 45: Nejnižší tlak pravidelně v časech (19:00-20:00) – Epanet2



Obr. 46: Vývoj tlaku v čase v uzlu Říčany – Epanet2

I s poměrně dobrou tlakovou rezervou lze po optimalizaci tohoto řešení přivádět do Říčan až 60,2 l/s. Z grafu (Obrázku č. 45) lze pozorovat, že tlaky kolísají mezi 5 až 12 m v. sl. Až na začátek simulace, kdy tlak nejprve klesne z 10 m v. sl. na necelé 4 m v. sl.



Obr. 47: Ověření potřeby vody v čase v uzlu Říčany – Epanet2

Tímto ověřením byl splněn poslední požadavek na řešení, a to zapojení Říčan do předešlého modelu s cílem dodávat co nejvíce vody, a to alespoň 50 l/s.

10. Shrnutí

Ve výsledku byly vytvořeny 3 modely, které jsou identické dispozicí. Jedná se o návrh přivaděče od zdroje vody (objekt K13) do vodojemu 1 a následně až do Říčan. Na trase jsou dvě odbočky na vedlejší vodojemy, které zásobují okolní obce. Jednotlivé modely se odlišují návrhem pracovního bodu čerpadla a v případě třetího finálního modelu byly upraveny i rozměry výtlačného potrubí.

10.1 Původní model

Jedná se o model, jenž ověřuje funkčnost navrženého systému z diplomové práce pana Vladimíra Pokorného. Pro současnou potřebu vody zásobované lokality však není navržené čerpadlo dostatečné. I za předpokladu nulového odvodu vody do Říčan je vodojem 1 postupně prázdněn a po určité době, již mimo simulaci, by došlo k dosažení nulové hladiny. Po dosažení nulové hladiny ve vodojemu 1 by byly Modletice, Modletická komerční zóna a obec Kuří bez dodávky vody.

Parametry původního modelu:

- Délka simulace je nastavena na 240 hodin.
- Délka kroku výpočtu je nastavena na jednu hodinu.
- Vodojem 1 (VDJ1) s kótou dna 410 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 2 (VDJ2) s kótou dna 375 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 3 (VDJ3) s kótou dna 394 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Parametry původního čerpadla $Q = 35 \text{ l/s}$ a $H = 87 \text{ m}$.
- Přivaděč je o velikosti DN250
- Tlakové redukční ventily: 1. před obcí Modletice (omezení na 35 m v. sl.), 2. před obcí Kuří (omezení na 35 m v. sl.)
- Průtokové redukční ventily: 1. před obcí Herink (omezení na 4 l/s), 2. před vodojemem 2 (omezení na 10 l/s)

10.2 Upravený model

Upravený model počítá s variantou, ve které se ponechá přivaděč, tlakové redukční ventily a ostatní prvky systému o stejných rozměrech a nastaveních, ale změní se čerpadlo a průtokové redukční ventily tak, aby bylo dosaženo limitních rychlostí proudění vody na přivaděči. Tímto bylo zjištěno, jaké množství vody je možné dodávat do Říčan. V takovém případě bylo potřeba upravit průtokové redukční ventily, protože díky vyšším průtokům se doplňoval vodojem 1 rychleji, a tedy docházelo k vypínání čerpadla, vedoucí k nedostatečně rychlému doplňování vodojemů 2 a 3. Po optimalizaci by bylo možné dodávat do Říčan pouze 11,5 l/s.

Parametry původního modelu:

- Délka simulace je nastavena na 240 hodin.
- Délka kroku výpočtu je nastavena na jednu hodinu.
- Vodojem 1 (VDJ1) s kótou dna 410 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 2 (VDJ2) s kótou dna 375 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 3 (VDJ3) s kótou dna 394 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Parametry původního čerpadla $Q = 160$ l/s a $H = 110$ m.
- Přivaděč je o velikosti DN250
- Tlakové redukční ventily: 1. před obcí Modletice (omezení na 35 m v. sl.), 2. před obcí Kuří (omezení na 35 m v. sl.)
- Průtokové redukční ventily: 1. před obcí Herink (omezení na 5,5 l/s), 2. před vodojemem 2 (omezení na 11,8 l/s)

10.3 Výsledný model

Výsledný model nakonec pracuje se zvětšeným profilem přivaděče (z DN250 na DN400), novým pracovním bodem čerpadla a upravenými průtokovými redukčními ventily. Jediné, co zůstává stejné jako v přechozích modelech je nastavení tlakových redukčních ventilů, které redukují tlak v konkrétních místech na požadovaných 35 m v. sl. Jako u upraveného modelu bylo potřeba iterovat průtoky na redukčních ventilech, které budou dostatečné nejen pro zásobování své oblasti, ale také pro plnění vodojemů 2 a 3. Optimalizace stanovila, že bude možné dodávat do Říčan průtok 60,2 l/s. Tento model splnil požadavky na zásobování lokality pitnou vodou a zároveň dokáže přivádět poměrně velké množství vody do Říčan.

Parametry původního modelu:

- Délka simulace je nastavena na 240 hodin.
- Délka kroku výpočtu je nastavena na jednu hodinu.
- Vodojem 1 (VDJ1) s kótou dna 410 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 2 (VDJ2) s kótou dna 375 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Vodojem 3 (VDJ3) s kótou dna 394 m n. m. je uvažován s počáteční hladinou ve 3 metrech (maximální hladina je 5 metrů).
- Parametry původního čerpadla $Q = 177$ l/s a $H = 135$ m.
- Přivaděč je o velikosti DN400
- Tlakové redukční ventily: 1. před obcí Modletice (omezení na 35 m v. sl.), 2. před obcí Kuří (omezení na 35 m v. sl.)
- Průtokové redukční ventily: 1. před obcí Herink (omezení na 7,2 l/s), 2. před vodojemem 2 (omezení na 17,5 l/s)

11. Závěr

Bakalářská práce se skládá ze dvou celků. První částí je teoretická rešerše na téma vodárenství a v druhé části je provedeno posouzení a optimalizace plánovaného vodárenského systému v dané lokalitě. V diplomové práci pana Vladimíra Pokorného byl navržen systém, jenž byl pro budoucí plán nedostačující a mým úkolem bylo posoudit jeho funkčnost a navrhnout způsob, jak dopravit dostatečné množství pitné vody až do Říčán.

Teoretická část je obecným průřezem vodárenského tématu, zahrnující vodárenské soustavy, jednotlivé prvky těchto soustav včetně způsobu jejich návrhu, hydrotechnické výpočty, a nakonec i matematické modelování.

Praktická část se zaměřuje na oblast západně od Říčán u Prahy, na kterou bylo navrženo řešení, které je v současné době a s ohledem na další požadavky nedostačující a vzhledem ke skutečnosti, že na současný systém má zájem se napojit obec Říčany, které budou zásadně zvyšovat nároky na navržený systém. Požadavkem tedy na navrženou síť není jen zásobování současné oblasti vodou, ale také dodávání co nejvyššího množství vody do Říčán. Řešení bylo vypracováno formou iterací, měnění parametrů prvků systému, jež vedly ke zvyšování průtoku a množství dopravené vody.

Jako prvním krokem bylo potřeba vyhodnotit, zda současný systém je schopný dodávat dostatečné množství vody (viz kapitola 10.1 původní model). Bylo tedy potřeba vypracovat model, který byl aktualizován o současná data (především potřeby vody jednotlivých obcí). Celkově byly vypracovány 3 verze modelu, které byly individuálně posouzeny se snahou nalézt optimální nastavení parametrů sítě. Nejvhodnější je třetí iterace modelu, která umožňuje doplňování každého vodojemu, zásobování původní lokality pitnou vodou a dodávání 60,2 l/s do Říčán. Pro řešení nebyly vypočteny investiční náklady na výstavbu, které mohou hrát roli v rozhodovacím procesu, zda se napojení na tento systém ze strany Říčán vyplatí, nebo naopak z pohledu investora, zda je výhodné stávající systém rozšířit.

12. Seznam obrázků

Obrázek 1: Prvky vodárenského systému.....	16
Obrázek 2: Pramenní jímka	18
Obrázek 3: Jímací zářez.....	18
Obrázek 4: Vrtaná studna s obsypem	19
Obrázek 5: Břehový odběrný objekt.....	20
Obrázek 6: Struktura vodovodní sítě.....	26
Obrázek 7: Vzorové uložení vodovodního potrubí v komunikaci	27
Obrázek 8: Vzorové uložení vodovodního potrubí ve volném terénu	28
Obrázek 9: Přírubová šoupátka	30
Obrázek 10: Nadzemní hydrant.....	31
Obrázek 11: Ustálené tlakové proudění A-B.....	33
Obrázek 12: Znázornění Bernoulliho rovnice	33
Obrázek 13: Znázornění ztrát třením.....	36
Obrázek 14: Metoda redukovaných délek – součinitel γ	37
Obrázek 15: Stanovení uzlových odběrů.....	39
Obrázek 16: Výpočet návrhových průtoků.....	39
Obrázek 17: Výpočet návrhových průtoků.....	43
Obrázek 18: Řešená oblast	45
Obrázek 19: Poloha Osnice	46
Obrázek 20: Poloha Herinku	47
Obrázek 21: Poloha Dobřejovic	48
Obrázek 22: Poloha Modletic	49
Obrázek 23: Model varianty 3B z diplomové práce V. Pokorného – Epanet2	50
Obrázek 24: Rozšířený model – Epanet2	51
Obrázek 25: Rozšířený výchozí model – Epanet2	62
Obrázek 26: Rozšířený výchozí model – Nadmořské výšky – Epanet2	63
Obrázek 27: Rozšířený výchozí model – Potrubí – Epanet2.....	64
Obrázek 28: Simple controls – Podmínky ovládní systému – Epanet2.....	64
Obrázek 29: Plnění a prázdnění vodojemů – Epanet2.....	65
Obrázek 31: Nejnižší tlak v čase 187. hodiny (19:00-20:00) – Epanet2.....	66

Obrázek 32: Nejvyšší tlak v čase 147. hodiny (3:00-4:00) – Epanet2	66
Obrázek 33: Rychlosti v čase 1. hodiny (1:00) – Epanet2	67
Obrázek 34: Původní návrh čerpadla – Epanet2	67
Obrázek 35: Nový návrh čerpadla – Epanet2	68
Obrázek 36: Rychlosti v čase 1. hodiny (1:00) – Epanet2	69
Obrázek 37: Vývoj rychlostí v čase v potrubí P2 – Epanet2.....	69
Obrázek 38: Vývoj hladiny v čase ve vodojemech – Epanet2	70
Obrázek 39: Vývoj tlaku v čase v uzlu Říčany – Epanet2	70
Obrázek 40: Finální návrh čerpadla – Epanet2	71
Obrázek 41: Vývoj hladiny v čase ve vodojemech – Epanet2	72
Obrázek 42: Rychlosti v čase 1. hodiny (1:00) – Epanet2	72
Obrázek 43: Vývoj rychlosti v čase v potrubí P2 – Epanet2.....	73
Obrázek 44: Nejvyšší tlak pravidelně v časech (3:00-4:00) – Epanet2.....	73
Obrázek 45: Nejnižší tlak pravidelně v časech (19:00-20:00) – Epanet2	74
Obrázek 46: Vývoj tlaku v čase v uzlu Říčany – Epanet2	74
Obrázek 47: Ověření potřeby vody v čase v uzlu Říčany – Epanet2	75

13. Seznam tabulek

Tabulka 1: Specifická potřeba vody pro občanskou vybavenost	12
Tabulka 2: Specifická potřeba vody pro přímou potřebu pracovníků	12
Tabulka 3: Specifická potřeba vody pro mytí, sprchování a podobné	13
Tabulka 4: Hodnoty kd podle velikosti obce.....	15
Tabulka 5: Průběh hodinové potřeby vody pro obyvatelstvo.....	16
Tabulka 6: Přehled typických procesů úpravy povrchových a podzemních vod	22
Tabulka 7: Další nadstandardní stupně úpravy	22
Tabulka 8: Přehled odpadů z úpravy vody	22

14. Seznam Grafů

Graf 1: Vývoj ztrát vody v rozmezí let 1994-2019	14
Graf 2: Vývoj počtu obyvatel Jesenice	46
Graf 3: Vývoj počtu obyvatel obce Herink	47
Graf 4: Vývoj počtu obyvatel Dobřejovice	48
Graf 5: Vývoj počtu obyvatel Modletice.....	49

15. Zdroje

1. GRÜNWARD, Alexander. Vodárenství. Praha: Technická knihovnice autorizovaného inženýra a technika, 1998. ISBN 80-902460-7-9.
2. Potřeba vody. Zásobování vodou [online]. VŠB-Ostrava: Učební texty VŠB-TU Ostrava, 2022 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <http://zasobovanivodou.vsb.cz/index.php/osnova-prednasek/4-potreba-vody>
3. 428/2001 Sb. Vyhláška, kterou se provádí zákon o vodovodech a kanalizacích. Zákony pro lidi – Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-428#prilohy>
4. TESAŘÍK, I. a kol. Vodárenství. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1987.
5. Směrnice ze dne 20.7.1973 pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů. epravo.cz [online]. Praha: Copyright © EPRAVO.CZ, a.s. 1999 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=32306&Section=1&IdPara=1&ParaC=2>
6. Ztráty vody v České republice. SOVAK ČR [online]. Copyright © 2020 [cit. 2023-04-15]. Dostupné z: <https://www.sovak.cz/cs/clanek/ztraty-vody-v-ceske-republice>
7. Horký, Filip. *Distribuce vody*. [Přednáška] Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2022 [cit. 2023-04-18]
8. 254/2001 Sb. Vodní zákon. Zákony pro lidi – Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254#cast1>
9. Ochranná pásma vodních zdrojů. Voda pitná [online]. Brno: vodovod.info, 2014 [cit. 2023-04-21]. Dostupné z: <http://www.vodapitna.cz/index.php/studny/160-ochranna-pasma-vodnich-zdroju>
10. 252/2004 Sb. Hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu. Zákony pro lidi – Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 2023-04-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>

11. Horký, Filip. *Doprava vody - čerpadla a čerpací stanice*. [Přednáška] Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2022 [cit. 2023-04-21]
12. NOVÁK, Josef. Příručka provozovatele vodovodní sítě. Líbeznice u Prahy: Medim, c2003. ISBN 80-238-9946-5.
13. Pipelife. Pipelife.cz. *PŘÍČNÉ ŘEZY - SCHEMATA ULOŽENÍ POTRUBÍ*. [Online] Pipelife Czech s.r.o. https://www.pipelife.cz/Ke_stazeni/Pro_projektanty.html.
14. ČSN 73 0873. Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou. Praha: Český normalizační institut, 2003, 32 s. Třídící znak 73 0873.
15. Doc. Ing. Aleš Havlík, CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD. *Hydraulika potrubí*. [Přednáška] Praha : České vysoké učení technické v Praze, 2022 [cit. 2023-04-21]
16. ČSN 75 5355. Vodojemy. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2021, 24 s. Třídící znak 75 5355
17. Doc. Ing. Aleš Havlík, , CSc., Ing. Tomáš Pícek PhD. *Hydraulika potrubí*. [Prezentace] Praha : K141 FSv ČVUT.
18. KASAL, Rostislav, PORŠ, Evžen 2018; Studie Proveditelnosti; Posouzení využití „K13 JESENICE“ pro zásobování regionu pitnou vodou
19. POKORNÝ, Vladimír. Řešení zásobování vymezené oblasti pitnou vodou [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z:<https://dspace.cvut.cz/handle/10467/80872>. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Vedoucí práce Ing. Filip Horký, Ph.D.
20. Mapy.cz. Mapy.cz [online]. Copyright © Seznam.cz, a.s. 2022 [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <<https://mapy.cz/zakladni>>
21. Malý lexikon obcí 2021 - obce podle správních obvodů obcí s rozšířenou působností. Český statistický úřad [online]. Copyright © 2021, 15.14.2021, [cit. 2023-05-10]. Dostupné z: <<https://www.czso.cz/csu/czso/maly-lexikon-obci-ceske-republiky-2021>>
22. Obyvatelé česka [online]. Praha: Český statistický úřad, b.r. [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <<https://obyvateleceska.cz>>