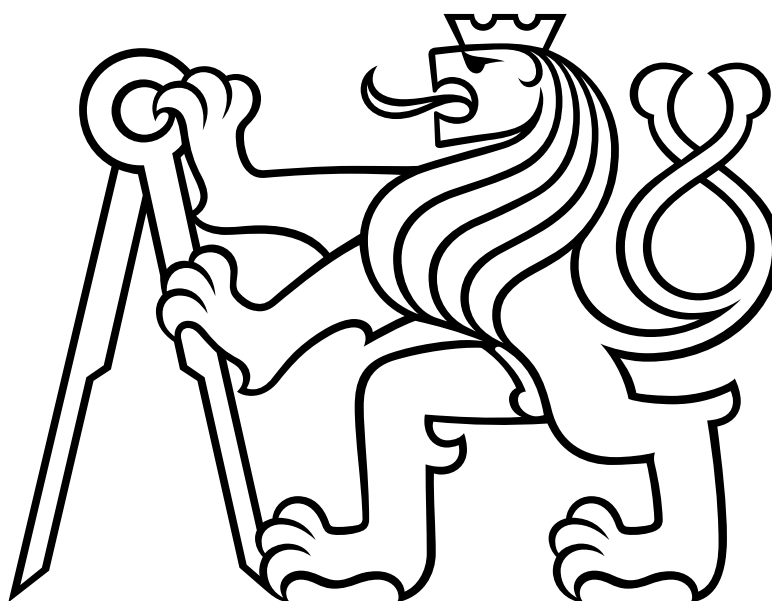


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra zdravotního a ekologického inženýrství



Matematické modelování vybrané části
vodárenského systému

Diplomová práce

Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby
Vedoucí práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.

Bc. Košlerová Marie

Praha 2022

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Košlerová Jméno: Marie Osobní číslo: 477100
 Zadávající katedra: Katedra zdravotního a ekologického inženýrství
 Studijní program: Stavební inženýrství
 Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Matematické modelování vybrané části vodárenského systému
 Název diplomové práce anglicky: Mathematical modeling of a selected part of the drinking water supply system

Pokyny pro vypracování:


Rešerše literatury k dané tématice. Analýza dané lokality. Příprava a zpracování podkladů. Vytvoření matematického modelu. Vyhodnocení a posouzení provozních parametrů (tlakové a průtokové podmínky,...). Návrh případných opatření. Shrnutí výsledků, závěry a doporučení.


Seznam doporučené literatury:

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

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Filip Horký, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 23.09.2022 Termín odevzdání diplomové práce: 09.01.2023
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


 Podpis vedoucího práce


 Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové 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“.

23.9.2022
 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 8.1.2023

.....
Bc. Marie Košlerová

Poděkování

Ráda bych poděkovala svému vedoucímu práce Ing. Filipovi Horkému, Ph.D. za vstřícné vedení práce, odborný dohled a ochotu. Dále bych chtěla poděkovat Vodárnám Kladno – Mělník, a.s. a Středočeským vodárnám, a.s. za vstřícnou spolupráci a dodání všech potřebných materiálů. V neposlední řadě moje poděkování patří mé rodině, která mě za celou dobu studia podporuje.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá posouzením vodohospodářského systému zemního vodojemu Kačice a věžového vodojemu Smečno pomocí matematického modelu. V teoretické části diplomové práce nalezneme literární rešerši k tématům vodovodních sítí, vodárenských prvků soustavy, materiálu vodovodního potrubí a matematickému modelování ve vodním hospodářství. Je zde kapitola zabývající se základními hydraulickými veličinami a fyzikálními zákony nezbytnými pro výpočet kapacity vodovodního potrubí. Důležitá kapitola je potřeba vody. V té je popsán výpočet potřeby vody pro obyvatelstvo, zemědělství a průmysl a následné použití pro návrh objemu vodojemu. Další kapitola v práci je věnovaná také akumulaci vody, druhům vodojemů a výpočtu celkového objemu vodojemu.

V praktické části je proveden popis řešené lokality, včetně občanské vybavenosti a územních plánů potřebných ke zjištění výhledového počtu obyvatel. Dále je zde popsáno také zásobování vodou dané lokality a rozbor dílčích prvků na síti. Následně je sestaven matematický model soustavy v programu EPANET 2.2. Model je zkalibrován, zvalidován a následně použit pro posouzení stávajícího a výhledového stavu vybrané vodohospodářské soustavy. Na závěr je shrnuto zjištění o kapacitě vodojemu a přivaděče, a navržena možná opatření pro výhledové odběry.

Klíčová slova:

Vodovodní systém, vodojem, přivaděcí řad, matematické modelování

Abstract

The diploma thesis deals with the assessment of the water management system of the ground reservoir Kačice and the tower reservoir Smečno using a mathematical model. In the theoretical part of the diploma thesis, we can find a literature search on the topics of water supply networks, water supply system elements, water pipeline material and mathematical modeling in water management. There is a chapter dealing with the basic hydraulic quantities and physical laws necessary to calculate the capacity of water pipes. An important chapter is the need of water. It how to calculate the amount of water needed for population, agriculture and industry and subsequent use for the design of the reservoir volume.

In the practical part, a description of the addressed locality is provided, including civic amenities and spatial plans needed to determine the prospective number of inhabitants. Furthermore, the water supply of the given locality and analysis of sub-elements on the network are also described here. Lately, a mathematical model of the system is compiled in the EPANET 2.2 program. The model is calibrated, validated and then used to assess the current and future state of the selected water management system. At the end, findings on the capacity of the water reservoir and supply line are summarized, and possible measures for prospective withdrawals are proposed.

Keywords:

Water reservoir, water supply system, water supply lines, mathematical modeling

0. ÚVOD.....	3
1. STANOVENÍ CÍLŮ PRÁCE.....	4
2. TEORETICKÁ ČÁST	5
2.1 Systém zásobování vodou.....	5
2.1.1 Rozdělení vodovodů dle územní působnosti	5
2.1.2 Tvar vodovodní sítě.....	7
2.1.3 Rozdělení vodovodů dle výškového uspořádání.....	9
2.2 Prvky vodárenského systému	9
2.2.1 Jímání vody a vodní zdroje.....	9
2.2.2 Doprava a rozvod vody.....	11
Kategorizace vodovodních řadů.....	11
2.2.3 Akumulace vody.....	12
Rozdělení vodojemů dle funkce.....	12
Rozdělení vodojemů dle umístění.....	13
Rozdělení vodojemů dle konstrukce, tvaru a umístění.....	15
Výpočet objemu vodojemu	16
2.3 Výpočet potřeby vody	17
2.4 Materiál potrubí	21
2.4.1 Ocelové trouby	22
2.4.2 Litinové trouby	22
2.4.3 Plastové trouby	23
2.5 Hydraulika vodovodních sítí	25
2.5.1 Rovnice spojitosti	25
2.5.2 Bernoulliho rovnice	25
2.6 Hydraulické modelování ve vodním hospodářství.....	31
2.6.1 Stavba matematického modelu.....	31
2.6.2 Kalibrace a verifikace hydraulického modelu	32
2.6.3 Přehled modelů.....	33
3. PRAKTICKÁ ČÁST	35
3.1 Lokalita	35
3.1.1 Obec Kačice.....	36
3.1.2 Obec Čelechovice	39
3.1.3 Obec Hradečno	41
3.1.4 Obec Drnek.....	43
3.1.5 Obec Malíkovice.....	45
3.1.6 Obec Ledce	47
3.1.7 Město Smečno	49
3.2 Zásobování vodou.....	52
3.2.1 Řešená oblast	53
Dotazníky.....	55

Prvky vodárenské infrastruktury.....	58
3.3 Potřeba vody pro obyvatelstvo.....	64
3.3.1 Údaje o spotřebách pitné vody.....	64
3.3.2 Spotřeba vody.....	69
3.4 Tvorba a posouzení modelu	71
3.4.1 Vstupní data pro model	71
3.4.2 Tvorba modelu	73
3.4.3 Kalibrace	81
Porovnání reálných a modelovaných dat.....	83
3.4.4 Verifikace.....	86
Porovnání reálných a modelovaných dat.....	87
3.1 Posouzení přivaděče a VV Smečno.....	90
3.1.1 Posouzení stávajícího stavu.....	90
Shrnutí.....	97
3.1.2 Posouzení stávajícího stavu pro maximální odběr Q_{max}	97
Shrnutí.....	102
Opatření pro stávající stav	102
3.1.1 Posouzení výhledového stavu	106
Shrnutí.....	111
Opatření pro výhledový stav.....	111
3.1.2 Shrnutí.....	116
4. ZÁVĚR.....	118
4.1 Seznam použité literatury	120
4.2 Seznam tabulek	123
4.3 Seznam obrázků.....	123

0. Úvod

První vodní zdroje tvořily zejména studny a jímky na dešťovou vodu. Běžné bylo její roznášení či rozvážení. Při nedostatku vody na určitém místě bylo nutné vodu přivést odjinud. Tím se položil základ přivaděčů a vodárenských prvků. V době renesance se zvyšují nároky na hygienu a spotřebu vody, tím nastává potřeba rozvoje celého vodárenského odvětví. Začínají vznikat kašny v soukromých domech, vodní věže a nádrže. Moderní způsob zásobování měst přichází až v 19. století, ale hlavně se realizuje ve 20. století.

Od tohoto okamžiku lidstvo ušlo dlouhou cestu a učinilo pokroky v technologiích jak na úpravu vody, tak její rozvod do spotřebišť. V současné době je hlavní cíl vlastníků vodovodní infrastruktury její obnova a modernizace. Současná vodovodní síť a prvky na ní byly navrženy na určitý počet obyvatel, obce se ale mění a rozrůstají se. Vyrůstá požadavek na zkapacitnění sítě, aby se mohly připojit nové rodinné domy, služby či průmysl. V některých případech může nastat i opačný požadavek, kdy síť byla navržena na větší odběry vody, které se dnes neuskuteční. Je proto důležité sledovat rozvoj obcí a trend vývoje počtu obyvatel a spotřeby vody v posledních 5-ti až 10-ti letech. Je důležité průběžně posuzovat kapacitu vodovodního systému a pravidelně vyhodnocovat technický stav sítě a prvků na ní.

K těmto úkonům nám dnes slouží matematické modely a výpočetní programy, ve kterých můžeme simulovat chování aktuálního stavu systému. Tedy zjistit, jak systém reaguje na změny. Zároveň můžeme dělat prognózy vývoje vodovodní sítě do budoucna. Hlídat její technický stav a stáří a díky tomu efektivně plánovat její obnovu. Dále jsme schopni zjistit schopnost systému zvládnout připojení většího počtu spotřebitelů nebo významného odběru jako je průmysl nebo zemědělství.

1. Stanovení cílů práce

Tato práce má za pomoci matematického modelu posoudit vodárenský systém. Vybrala jsem si skupinový vodovod ZV Kačice – VV Smečno ve středočeském kraji na Kladensku. Mezi těmito vodojemy se nachází přivaděč, který zásobuje vodou přilehlé obce a vede vodu do VV Smečno. Vodojem zásobuje spotřebiště Ledce a Smečno, voda dále pokračuje na město Slaný a ZV Libušín.

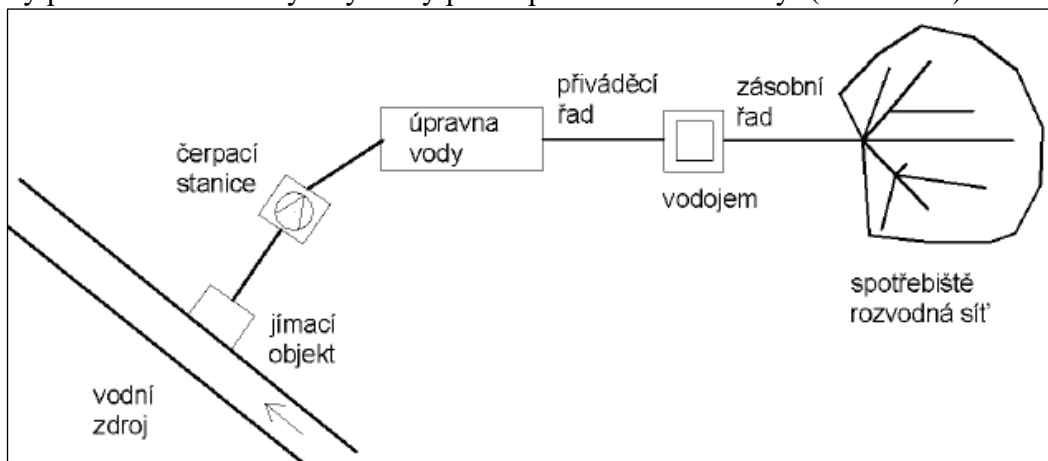
VV Smečno je typizovaný aquaglobus o celkovém objemu 200 m³. V přilehlých obcích, které jsou zásobeny vodou z této vodárenské soustavy je stavební uzávěra z hlediska připojení na vodovodní řad. V důsledku malého objemu vodojemu může docházet v přivaděči k nízkému tlaku v některých částech a ve spotřebištích je problém rovněž s tlakovými poměry.

Hlavní cíl práce je sestavení matematického modelu v EPANETU, díky kterému budeme schopni posouzení současného stavu systému. Nasimulovat co možná nejlépe aktuální situaci a následně lokalitu posoudit pro výhledový počet obyvatel. Další krok je navrhnout opatření nebo řešení. Může jít o změnu dimenze potrubí přivaděče, zvětšení objemu vodojemu či postavení vodojemu nového. Cílem práce je navrhnout varianty a kombinace opatření a pomoci matematického modelu posoudit vhodnost jejich použití. Cílem modelu je vytvořit tyto varianty řešení a vybrání té, která je z hlediska technického nejlepší.

2. TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Systém zásobování vodou

Prvky vodárenské infrastruktury jsou zařízení pro zásobování obyvatelstva, průmyslu a zemědělství vodou. Mezi prvky jsou určité vazby. Systémy zásobování vodou nebo také vodárenskou soustavou se dělí na subsystémy jako jsou systémy pro jímání a úpravu vody, systémy pro akumulaci vody a systémy pro dopravu a rozvod vody. (Obrázek 1)

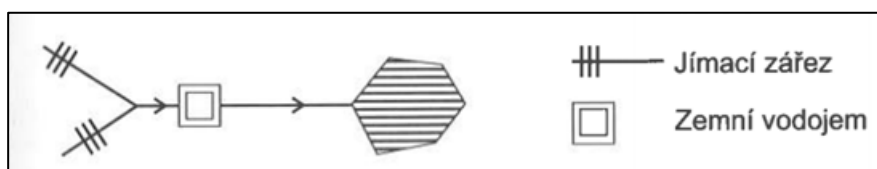


Obrázek 1. Schéma vodárenské soustavy

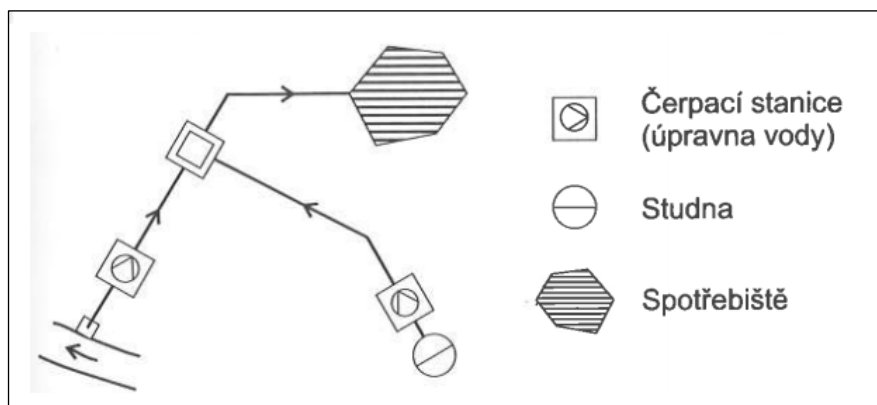
2.1.1 Rozdělení vodovodů dle územní působnosti

Vodovody místní

Jedná se o nejstarší typ vodovodů, které byly součástí rozvoje starověkých měst. Jsou to provozně a technicky jednoduchá zařízení, která zajišťují zásobování vodou jedné obce z jednoho (Obrázek 2) případně více zdrojů (Obrázek 3). [5]



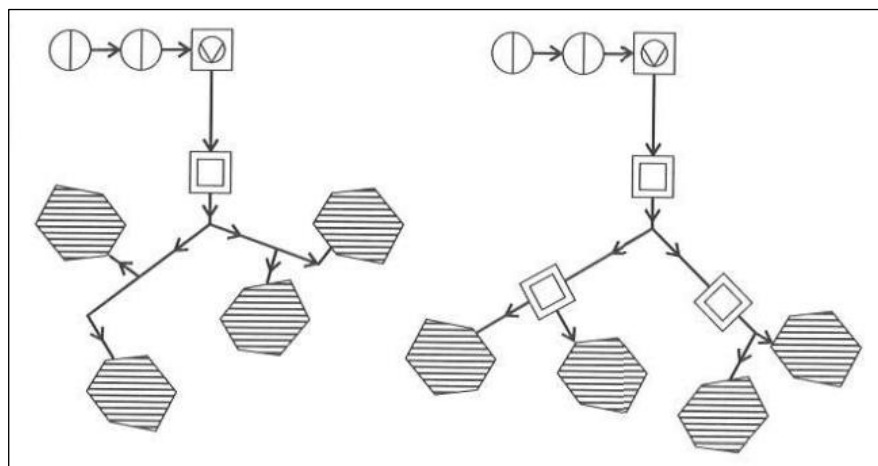
Obrázek 2. Místní vodovod s jedním zdrojem [5]



Obrázek 3. Místní vodovod se dvěma zdroji [5]

Vodovody skupinové

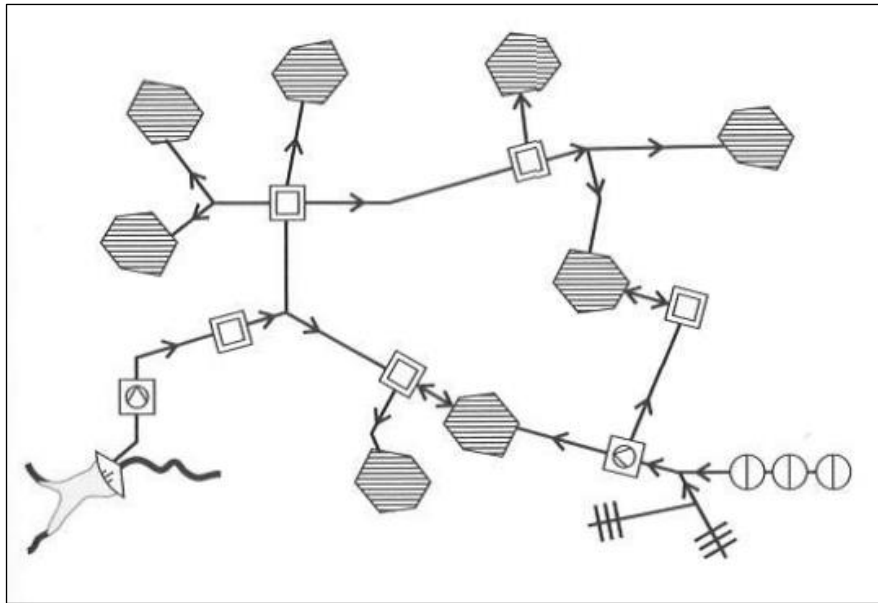
S jejich výstavbou se začalo převážně ve 20. letech minulého století v důsledku zvyšování potřeby vody s rozvojem spotřebišť. Charakteristický znak skupinového vodovodu je, že zásobuje vodou větší množství obcí z jednoho nebo více vodních zdrojů. Je možné kombinovat zdroje povrchové a podzemní vody. Navrhují se s jedním společným vodojemem nebo s vícero místními vodojemi u jednotlivých spotřebišť (Obrázek 4). U vodovodu se společným vodojemem je upravená voda dopravována do jediného hlavního vodojemu, který zásobuje všechna spotřebišť. Tento způsob zásobování je výhodný v úspoře investičních nákladů na akumulaci a jednoduchost provozu. Nevýhodami jsou vyšší investiční náklady na dlouhé zásobní řady o velkých dimenzích navrhovaných na maximální hodinovou potřebu, rozkolísanost tlaků a možný problém s plynulostí zásobování v koncových úsecích vodovodní sítě. Varianta s místními zásobními vodojemi situovanými v co nejkratší vzdálenosti od spotřebišť je výhodná v úspoře investičních nákladů na přívaděcí řady menších světlostí, které se navrhují na maximální denní potřebu, rovnoměrné rozdělení vody všem spotřebišťům. Nevýhodami jsou vysoké investiční náklady na výstavbu většího počtu vodojemů a následné rekonstrukce přívaděcích řadů a vodojemů při vzrůstu potřeby vody. Výhodou je zabezpečení dodávky pitné vody v případě poruchy.



Obrázek 4. Skupinový vodovod s jedním a více vodojemi [5]

Vodovody oblastní

Pro tento druh vodovodní sítě je typické zásobování rozsáhlého území zahrnující velké množství spotřebišť v různých okresech či krajích jedním vodním zdrojem, zpravidla vodárenskou nádrží (Obrázek 5). V České republice došlo k rozvoji těchto sítí po 2. světové válce, hlavní přednost tohoto typu vodovodu je vyšší zabezpečení dodávky vody, možnost převodů vody, spolupráce vodních zdrojů a centrální řízení celého systému s využitím dálkových přenosů. Tento typ vodovodní sítě umožňuje dodávku vody i do míst, kde se nenachází vhodný vodní zdroj. Nevýhodou jsou investiční náklady na budování rozsáhlých vodovodů na dopravu vody na velké vzdálenosti, dopad poruch na velké území, větší ztráty vody a dlouhodobá realizace výstavby těchto investic. [5]



Obrázek 5. Oblastní vodovod s několika zdroji [5]

2.1.2 Tvar vodovodní sítě

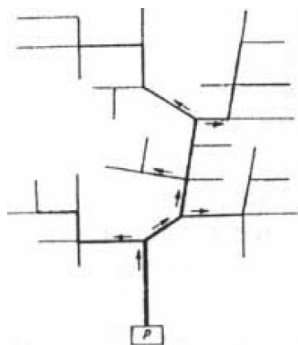
Při návrhu tvaru rozvodné vodovodní sítě zohledňujeme to, že se vodu snažíme dopravit ke všem potencionálním odběratelům. Vést vodovodní potrubí do vzdálených ojedinělých objektů není příliš vhodné v důsledku kazení vody.

Rozvodnými vodovodními sítěmi se myslí soustavy vodovodních řadů 2. a 3. kategorie viz. odstavec 0. Tyto řady mají přímou vazbu na odběratele. Rozvodné řady mohou být dle uspořádání děleny následovně:

Větvená síť

U malých spotřebišť je možné, aby vodovodní síť byla větvená, tedy bez záložního řadu v případě poruchy. Její uspořádání má tvar rozvětveného stromu (Obrázek 6). Síť je bez zokruhování. Tato síť se používá u menších spotřebišť, kde si můžeme dovolit případné odstávky vody v případě poruchy vodovodního řadu.

Výhody tohoto typu sítě jsou minimální investiční náklady. Jednoduše se navrhuje a provozuje. Nevýhodou je, že síť není dostatečně zabezpečená z hlediska dopravy vody. Voda se na místo spotřeby dostává jen z jedné strany, proto v případě poruchy dochází k odstávce. Dále je zde i problém nárazových odběrů, voda zůstává v koncových úsecích a může se kazit. [3, 5]

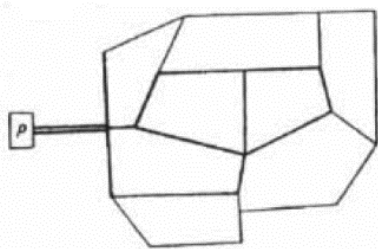


Obrázek 6. Větvená síť [3]

Okruhová síť

Tato vodovodní síť má uspořádání řadů do uzavřených okruhů (Obrázek 7). Tyto okruhy se vzájemně dotýkají ve styčných úsecích. Síť se používá u větších plošných spotřebišť, kde je technologicky a provozně vhodné zokruhování rozvodných řadů.

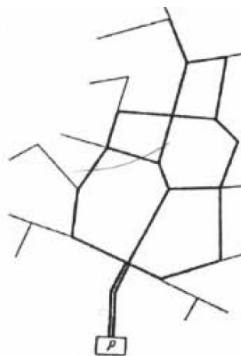
Hlavní výhodou tohoto systému je provozní výhodnost. Voda se ke každému odběrnému místu má možnost dostat ze dvou stran. Voda cirkuluje a tlaky v síti jsou vyrovnanější. Nevýhodou je vyšší pořizovací náklady než u sítě větvené. Také návrh a výpočet sítě je komplikovanější. [3, 5]



Obrázek 7. Okruhová síť [3]

Kombinovaná síť

Pokud je to možné snažíme se navrhovat kombinované vodovodní sítě (Obrázek 8), kde hlavní řady jsou zokruhované a z nich vychází vedlejší zásobovací řady. Na křižovatkách a odbočkách by měla být osazena šoupata, aby se daly jednotlivé úseky sítě uzavírat, s tím souvisí spolehlivost vodovodní sítě. V nejlepším případě by šoupátka měla být osazena na každém odbočujícím potrubí. [3, 5]



Obrázek 8. Kombinovaná síť [3]

2.1.3 Rozdělení vodovodů dle výškového uspořádání

Gravitační vodovod

Je to varianta vodovodní sítě, která se používá tehdy když se vodní zdroj nachází v dostatečném převýšení nad vodojemem. Výškový rozdíl musí být tak velký, aby zajistil dostatečný minimální hydrodynamický přetlak pro dopravu vody do vodojemu. V síti tedy není nutné čerpání. Pro gravitační vodovod je typický celodenní přítok vody do vodojemu, což je z hlediska provozních nákladů příznivé. [5]

Výtlačný vodovod

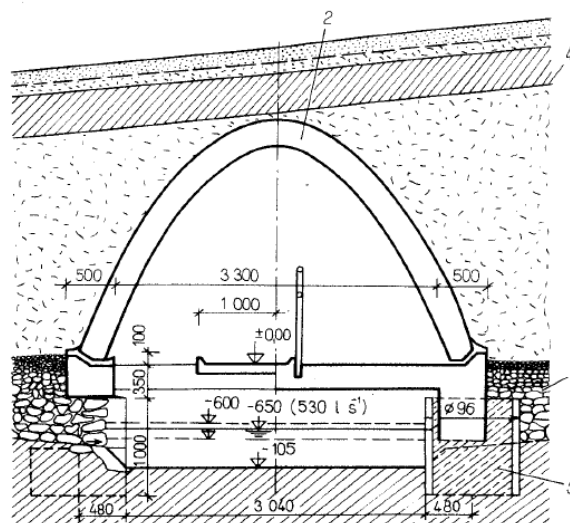
Výtlačný vodovod je používán tehdy když se vodní zdroj nachází níže vůči spotřebišti, nebo nejsme ve vodovodu schopni zajistit minimální tlakové hodnoty. Vodovod se vyznačuje tím, že vodu musíme do vodojemu čerpat. Přes to, že je tento typ provozně méně výhodnou variantou, je stále nejčastěji používaný. Je-li spotřebišť zásobováno z vícero zdrojů, je často nutné výtlačný i gravitační způsob dopravy kombinovat. [5]

2.2 Prvky vodárenského systému

2.2.1 Jímání vody a vodní zdroje

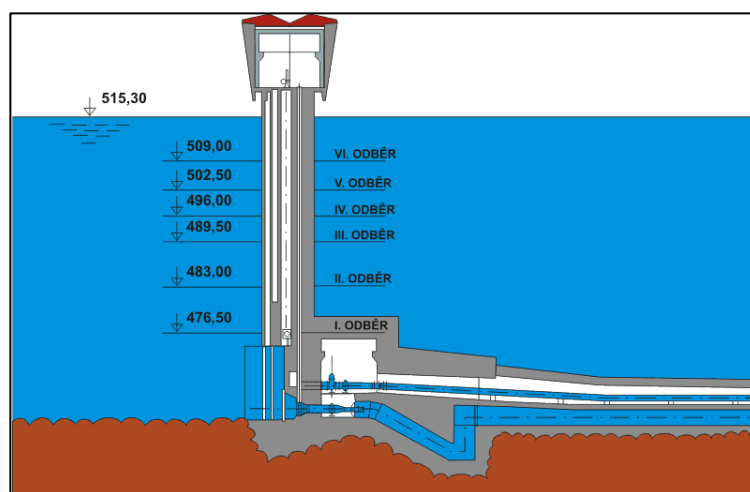
Vodní zdroje, které můžeme využít pro zásobování jsou voda podzemní a voda povrchová. Z vod povrchových přednostně vody z vodárenských toků a vody akumulované ve vodárenských nádržích. Při výběru zdroje se vychází z dostupné vydatnosti zdroje, z fyzikálně chemických a mikrobiologických vlastností vody. Volíme zdroje vody, které pokud možno se svým složením a vlastnostmi nejvíce blíží požadavkům na pitnou vodu dle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví 252/2004 Sb. v aktuálním znění, kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody.

Jímání podzemních vod je možné díky jímacím objektům děleným na objekty vertikální (studny), horizontální (jímací zářezy, štoly, galerie (Obrázek 9)), plošné (pramenní jímky), kombinované (šachtová studna s horizontálními vrty). [2]



Obrázek 9. Galerie [1]

Jímání povrchových vod je možné z vodárenských nádrží, kde můžeme použít objekty věžové (Obrázek 10) sdružené, nade dnem, břehové, plovoucí. Pro jímání z vodních toků můžeme použít objekty jezové, břehové, dnové.[2]



Obrázek 10. Odběrné zařízení věžové na vodním díle Stanovice [11]

Ochranná pásma vodních zdrojů

Zabývá se jimi zákon č.254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů § 30. slouží k ochraně vydatnosti, jakosti a zdravotní nezávadnosti zdrojů podzemních nebo povrchových vod využívaných nebo využitelných pro zásobování pitnou vodou. Stanoví je vodoprávní úřad opatřením obecné povahy. Vodoprávní úřad může ze závažných důvodů ochranné pásmo změnit, či úplně zrušit.[9]

Ochranná pásma se dělí na Ochranné pásmo I. stupně, která slouží k ochraně vodního zdroje v bezprostředním okolí jímacího nebo odběrného zařízení, a Ochranná pásma II. stupně, která slouží k ochraně vodního zdroje v územích stanovených vodoprávním úřadem tak, aby nedocházelo k ohrožení jeho vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti.[9]

Velikost ochranného pásma, omezení a zákazy činností se v jednotlivých ochranných pásmech liší podle druhu vodního zdroje (podzemní vody, vodní toky, vodárenské nádrže). [9,10]

Ochranné pásmo (OP) I. stupně se stanoví kolem místa odběru pro přímé zabezpečení a ochranu zdroje před znečištěním vody a poškozením jímacího zařízení. V OP I. stupně se nesmějí provádět zemní práce používat a skladovat toxické a ropné látky, je zakázán přístup nepovolaných osob a pastvy, nemají tudy vést komunikace a dráhy. [9,10]

Ochranné pásmo (OP) II. stupně slouží k ochraně vodního zdroje v územích stanovených vodoprávním úřadem tak, aby nedocházelo k ohrožení jeho vydatnosti, jakosti nebo zdravotní nezávadnosti. Může být tvořeno jedním souvislým nebo více od sebe oddělenými územími v rámci hydrologického povodí nebo hydrogeologického rajonu. V OP II. stupně se obvykle asanují hnojště, skládky odpadů, není povolena aplikace chemických prostředků, je zakázáno táboření, koupání, parkování. Dále zde

nesmějí být skládky městských a průmyslových odpadů, kalů a odpadních vod s toxickými a radioaktivními látkami a zařízení se soustředěnou infekcí. [9,10]

Úpravna vody

Důvodem úpravy vody je zlepšení její kvality s ohledem na další využití k pitným, provozním, výrobním či jiným účelům. Za pitnou vodu se považuje ta, která ani při dlouhodobém užívání nevyvolá onemocnění nebo zdravotní potíže. Musí vyhovovat smyslovým požadavkům člověka, má obsahovat dostatek biogenních prvků. Hygienické požadavky na pitnou a teplou a četnost a rozsah kontroly pitné vody stanoví Vyhláška č.252/2004 Sb. Požadavky na jakost surové podzemní vody stanovuje vyhláška Ministerstva zemědělství příloha č.13 k vyhlášce č.428/2001 Sb. Jakost povrchových vod se rozlišuje podle ČSN 75 7221 „Klasifikace kvality povrchových vod“ z hlediska čistoty toků do pěti tříd jakosti. Další ukazatele jsou upraveny nařízením vlády č. 401/2015 Sb. „Ukazatele přístupného stupně znečištění vod“. [2]

Čerpací stanice

Zařízení, které dopravuje vodu z níže položených zdrojů do úpraven vody, zásobovacích vodojemů a sítí.

2.2.2 Doprava a rozvod vody

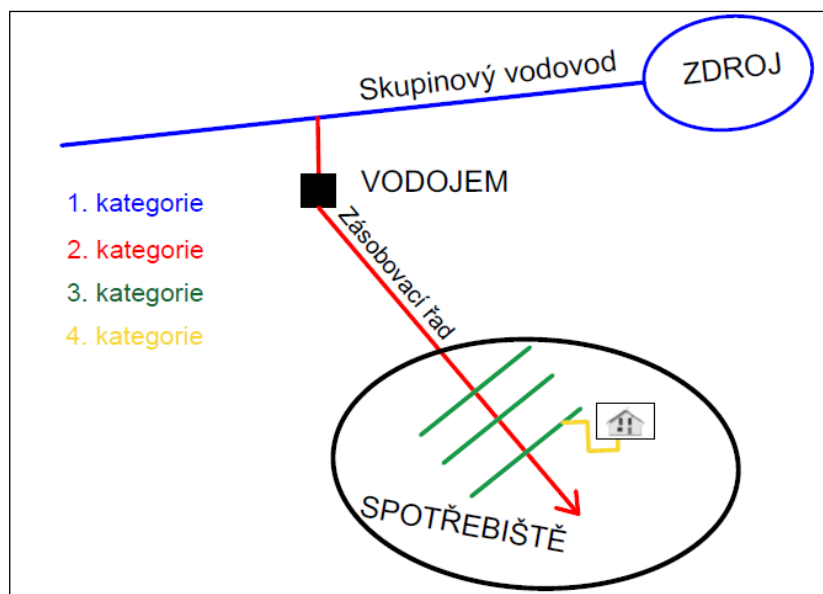
Prvkem subsystému pro dopravu a rozvod vody jsou potrubí a dají se dělit následovně:

- Příváděcí potrubí pro dopravu vody ze zdrojů do vodojemů, popř. ke spotřebišti
- Zásobovací potrubí pro dopravu vody z vodojemů ke spotřebišti
- Zásobovací síť pro rozvod vody uvnitř spotřebišť [1]

Kategorizace vodovodních řadů

Podle územní působnosti, funkčního a kapacitního významu se vedení inženýrských sítí dělí na

- a) Vedení dálková (dálkovody)
 1. kategorie, do které patří příváděcí, výtlačné a zásobní řady. Jejich trasy se obvykle umísťují do nezastavěné oblasti.
- b) Vedení místní
 2. kategorie, do níž patří hlavní rozvodné řady dopravující vodu do spotřebišť
 3. kategorie, do ní patří vedlejší (uliční) rozvodné řady s přímou vazbou na zásobované objekty
 4. kategorie, vedení přípojková, nejsou brána dle legislativy jako vodovodní řady. (Obrázek 11)[5, 12]



Obrázek 11. Kategorizace sítí

2.2.3 Akumulace vody

Pro zabezpečení odběru vody spotřebiteli je třeba zajistit její zásobu, nebo též akumulaci vody. Akumulace může být dlouhodobá nebo krátkodobá. Dlouhodobá akumulace je zajišťována ve vodních tocích, nádržích a ve vodě podzemní. Krátkodobá akumulace je řešena pomocí vodojemů. Vodojemy se dělí dle jejich funkce na vodojemy hlavní, zásobní, přerušovací, vyrovnávací a požární. Navrhování a provoz vodojemů řeší norma ČSN 75 5355 – Vodojemy. [3]

Rozdělení vodojemů dle funkce

Akumulační funkce vodojemu

Funkce akumulací slouží k vyrovnání nerovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem z vodojemu. Akumulační objem se navrhuje, aby pokryl následující body:

- Nerovnoměrnosti mezi přítokem do vodojemu a odběrem ve spotřebišti
- Stálá zásoba vody pro hašení požárů
- Zásobování spotřebišť vodou po dobu odstraňování poruchy na přiváděcím řadu [3]

Tlaková funkce vodojemu

Tlaková neboli polohová funkce, je dána polohou vodojemu vzhledem ke spotřebišti. Při gravitačním zásobování určuje tato poloha minimální a maximální tlak ve vodovodní síti. Výškově je vhodné, aby vodojem dodával vodu do spotřebišť s rozdílem nadmořských výšek terénu 25–35 m. [3]

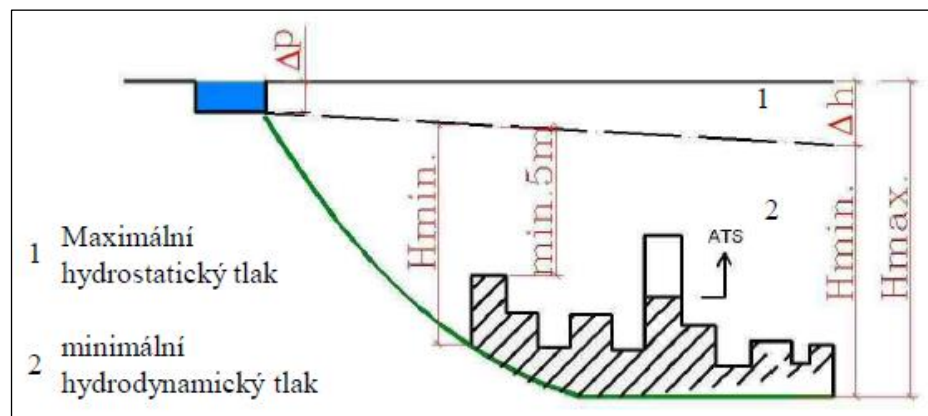
Dle vyhlášky č. 428/2001 Sb. v platném znění, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů jsou předepsány tlakové podmínky ve vodovodní síti 0,15 MPa a při zástavbě nad dvě nadzemní podlaží 0,25 MPa. Maximální přetlak ve vodovodní síti je 0,6 MPa a v odůvodněných případech 0,7 MPa. [4]

Výškové rozdíly stanovíme:

$$h = H_{max} - H_{min} - \Delta h - \Delta p \quad (1)$$

kde H_{max} je maximální tlak ve vodovodní síti, 0,6 MPa (60 m v.sl.) respektive 0,7 MPa (70 m v.sl.). H_{min} je minimální tlak ve vodovodní síti, 0,25 MPa (25 m v.sl.) pro zástavbu nad dvě nadzemní podlaží, Δh je kolísání hladiny vodojemu (cca 5 m), Δp je odhad tlakových ztrát na trase vodojem – spotřebiče 0,05 MPa (5 m v.sl.)

Z uvedeného tudíž vyplývá, že jedním vodojemem lze gravitačně zásobovat výškové pásmo $h=60-25-5-5=25$ m, resp. $h=70-25-5-5=35$ m. [3]



Obrázek 12. Minimální a maximální přetlak ve vodovodní síti [4]

Kontaktní funkce vodojemu

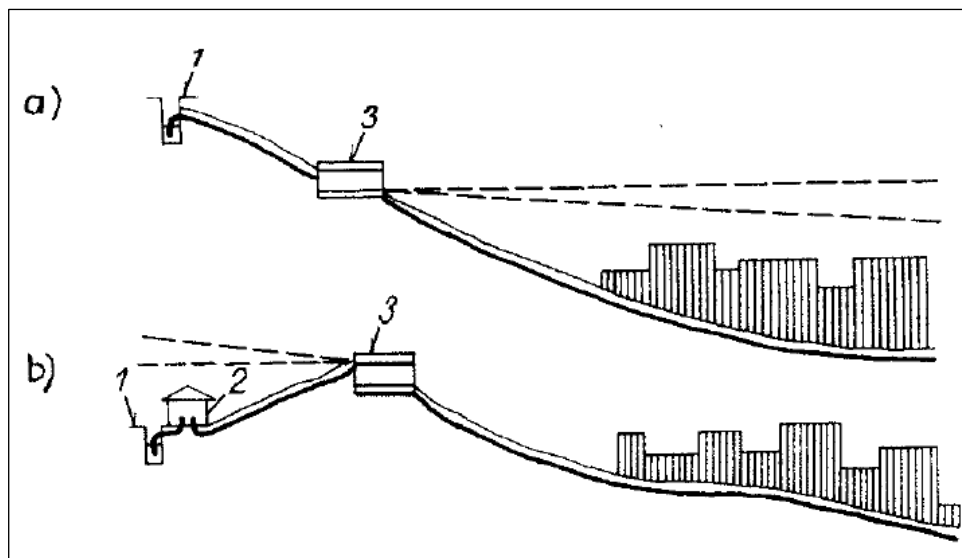
Stanovuje objem vody ve vodojemu, aby byla doba zdržení dostatečná pro nutnou reakční dobu vody s chemikálií při hygienickém zabezpečení vody. [3]

Rozdělení vodojemů dle umístění

Při volbě místa pro výstavbu vodojemu musíme vycházet z požadavku na zabezpečení minimálního hydrodynamického tlaku ve všech místech spotřebičů. Současně nesmí být překročeny maximální hodnoty hydrostatického tlaku. [3]

Vodojem před spotřebičem

Vodojem před spotřebičem je případ průtočného zásobního vodojemu. Výhodou tohoto typu umístění jsou známé průtokové a tlakové poměry. Veškerá voda dodávána ze zdroje prochází vodojemem. Nevýhodami je nižší zabezpečení spotřebičů z důvodu přítoku vody pouze z jedné strany. Na obrázku (Obrázek 13) jsou případy gravitačního a výtlačného vodovodu se zemním vodojemem před spotřebičem. Varianty se liší pouze způsobem dopravy ze zdroje do vodojemu. [5]

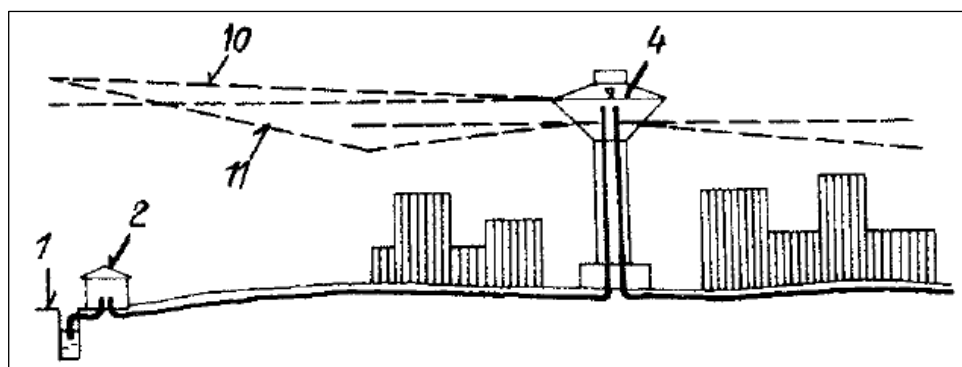


Obrázek 13. Výškové a dispoziční schéma vodárenských soustav

- a) gravitační vodovod se zemním vodojemem
 b) výtlačný vodovod se zemním vodojemem
 1 – zdroj vody, 2 – čerpací stanice, 3 – zemní vodojem [1]

Vodojem ve spotřebišti

U věžového vodojemu je nejpoužívanější varianta umístění v těžišti spotřebišť (Obrázek 14). Voda do vodojemu může být přiváděna samostatným výtlačným potrubím. Následně zásobním řadem vedoucím ven z vodojemu, na který je napojena rozvodná síť a vodojem funguje jako klasický průtočný vodojem. V druhém případě je voda do vodojemu čerpána zásobním řadem, na který je napojena rozvodná síť a plní funkci jak vyrovnávacího vodojemu za spotřebišťem. [5]



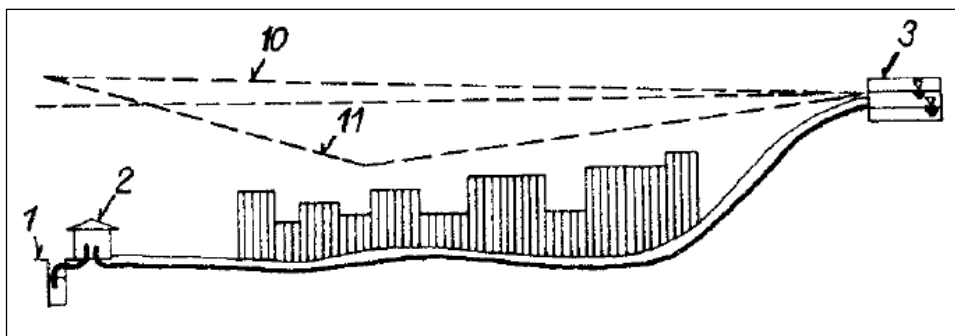
Obrázek 14. Věžový vodojem ve spotřebišti

- 1 – zdroj vody, 2 – čerpací stanice, 4 – nadzemní vodojem, 9 – hladina vody, 10 – čára hydrodynamických tlakových výšek při minimálních odběrech, 11 – čára hydrodynamických tlakových výšek při špičkových odběrech [1]

Vodojem za spotřebišťem

Voda se ze zdroje dopravuje přímo do spotřebišť a zároveň pokračuje do vodojemu (Obrázek 15). Řad plní funkci zásobního a rozvodného řadu. Při nulovém odběru ve

spotřebišti je vodojem plněn celým čerpaným množstvím. V případě, že je odběr ve spotřebišti menší, než čerpané množství plní se vodojem přebytky ze spotřebišť. Výhodou tohoto systému je, že v případě většího odběru ve spotřebišti, než je čerpané množství vody je spotřebišť zásobeno ze dvou stran, tj. z vodojemu a z čerpací stanice. Když je čerpací stanice neaktivní, spotřebišť je zásobeno pouze z vodojemu. Nevýhodou tohoto systému jsou proměnlivé průtokové a tlakové poměry. [5]

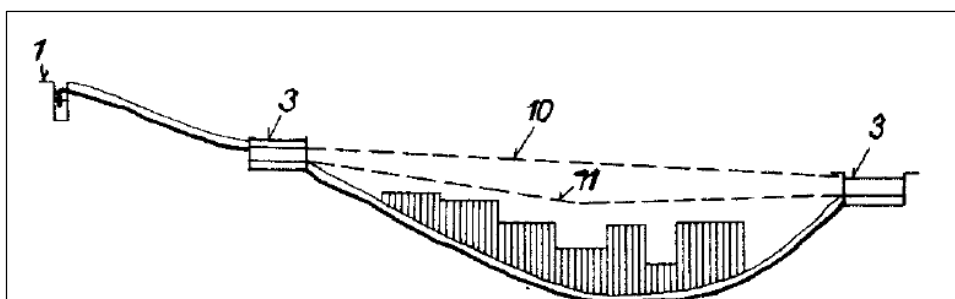


Obrázek 15. Vodojem za spotřebišťem

1 – zdroj vody, 2- čerpací stanice, 3 – zemní vodojem, 10 – čára hydrodynamických tlakových výšek při minimálních odběrech, 11 – čára hydrodynamických tlakových výšek při špičkových odběrech [1]

Vodojem před a za spotřebišťem

V případě velkých spotřebišť je vhodné navrhnout více vodojemů, jeden před spotřebišťem a druhý za ním (Obrázek 16). Vodojem před spotřebišťem plní funkci zásobní, vodojem za spotřebišťem pak funkci vyrovnávací. [5]



Obrázek 16. Vodojem před a za spotřebišťem

1 – zdroj vody, 3 – zemní vodojem, 10 – čára hydrodynamických tlakových výšek při minimálních odběrech, 11 – čára hydrodynamických tlakových výšek při špičkových odběrech [1]

Rozdělení vodojemů dle konstrukce, tvaru a umístění

Vodojemy se dělí dle výškového uspořádání na věžové a zemní.

Zemní vodojem

Zemní vodojem se používá nejčastěji. Skládá se ze dvou částí: vodní nádrže a armaturní komory, většinou bývá dvoukomorový.

V nádrži se akumuluje potřebné množství vody. Vstupuje se do ní přes armaturní komoru, ve které jsou umístěna veškerá zařízení potřebná pro provoz vodojemu. [1]

Mohou být osazeny pod terénem, na terénu nebo částečně zapuštěné.

Velikost zemních vodojemů se navrhuje na celkový objem, který se skládá z objemu provozního V_a , objemu požárního vody $V_{pož}$ a objemu vody na překlenutí poruchy V_{por} . [1]

Celkový objem dle normy ČSN 75 5355 – Vodojemy je 60 – 80 % z maximální denní potřeby vody. Zbývající objem 60 – 100 % z maximální denní potřeby vody se počítá jako objem na překlenutí poruchy. [3]

Věžové vodojemy

Působí jako dominantní stavba a je nutné řešit jejich estetickou stránku. Jsou ekonomicky náročné a v mnoha případech se je snažíme nahradit jiným způsobem zásobování, např. čerpání vody přímo do sítě. Hlavní funkcí věžových vodojemů je pokrytí nerovnoměrnosti mezi přítokem a odtokem, nemusí se v nich tedy akumulovat stálá zásoba vody pro potřebu překlenutí poruchy, ani zásoba požární vody. Zásadně se věžové vodojemy navrhují jako jednokomorové. Je výhodné je spojovat do funkčních celků spolu se zemními vodojemy pro možnost obsluhovat dvě tlaková pásma z jednoho místa. Materiál konstrukce se nejčastěji používá železo-beton a ocel. Tvar nádrže může být kulovitá, komolý či úplný kužel [1]

Mnoho věžových vodojemů má dnes i jinou funkci než akumuláční. Pro svou dominantnost jsou nepotřebné vodojemy představovány ku příkladu na rozhledny, jsou na nich umístěny vysílače nebo mají jinou specifickou funkci.

Výpočet objemu vodojemu

Na velikost akumuláčního prostoru mají vliv tyto parametry:

- Časový průběh přítoku vody do vodojemu. Ten závisí na způsobu přivádění vody (gravitační a čerpání). Gravitační přítok do vodojemu trvá 24 hodin za den. Čerpání do vodojemu trvá cca 17 hodin za den.
- Časový průběh odběru vody z vodojemu
- Velikost odběru požární vody
- Zvětšení akumuláčního prostoru pro potřebu vody na překlenutí poruchy

Přítok vody

Časový průběh přítoku vody do vodojemu může být rovnoměrný nepřerušovaný po dobu 24 hodin, rovnoměrný přerušovaný s různým trváním nebo zcela nerovnoměrný.

Pro gravitační přítok je typický rovnoměrný nepřerušovaný přítok. Při čerpání vody do akumuláční nádrže se nejčastěji vyskytuje přítok rovnoměrný přerušovaný, přičemž přerušování čerpání vyplývá z požadavku na snížení odběru elektrické energie v průběhu energetických špiček. Obecně jsou energetické špičky stanoveny v letním období (duben až září) v době 10 až 12 a 19 až 21 hodin, čerpání vody trvá 20 hodin. V zimním období (říjen až březen) pak v době od 7 až 11 a 18 až 21 hodin, čerpání trvá 17 hodin. Konkrétně časový rozsah energetických špiček s omezením s předem dohodnutým množstvím odběru elektrické energie stanoví energetický závod.

Pro výpočet akumuláčního prostoru se nejčastěji uvažuje přítok vody rovnoměrný v trvání

- 24 hodin
- 20 hodin, 0–10, 12–19, 21–24 hodin
- 17 hodin, 0–7, 11–18, 21–24 hodin [1]

Odběr vody

Na velikost zásoby vody ve vodojemu má přímý vliv hodinová nerovnoměrnost. Průběh nerovnoměrnosti je nutné zjistit pro jednotlivé skupiny odběratelů

- Obytné pásmo
- Zemědělství
- Průmysl

Když nejsou údaje k dispozici vychází se ze směrnice č. 9/1973 pro výpočet potřeby vody. [1] Dále je vhodné použít přílohu č. 12 k vyhlášce č. 428/2001 Sb., nebo zmíněnou směrnici a přílohu kombinovat.

Požární zásoba

Množství vody potřebné pro požární zásobu se stanoví dle ČSN 73 0873 dle vzorce

$$A_{pož} = 3,6 \cdot Q_{pož} \cdot h \cdot t \quad (2)$$

Kde $Q_{pož}$ je potřeba požární vody, h je uvažovaný počet odběrů (1-3), t je předpokládané trvání požáru v hodinách (2-3). [1]

Poruchová zásoba

Dle normy ČSN 75 5355 Vodojemy se doporučuje vypočtený objem zvětšit, aby celkový akumulací prostor činil 60 až 100 % maximální denní potřeby vody. Toto zvětšení akumulacího prostoru se považuje za rezervu pro případ poruch. Velikost poruchové zásoby se odvíjí od stavu příváděcího řádu a předcházejících objektů. Velikost rezervního prostoru je proto individuální. [1]

Celkový objem vodojemu

Celkový akumulací prostor se skládá ze součtu objemů provozního, požárního a poruchového.

$$A_c = A_p + A_{pož} + A_r \quad (3)$$

Kde A_c je celkový objem vodojemu, A_p je objem provozní zásoby, $A_{pož}$ je požární zásoba a A_r je objem poruchové zásoby. [1]

2.3 Výpočet potřeby vody

Výpočet potřeby vody je nezbytný pro návrh nové vodovodní sítě nebo posouzení stávající. Pro výpočet potřeby vody je nutné znát veškeré údaje o počtu trvale žijících obyvatel v oblasti a občanské vybavenosti. Zemědělství a průmysl hraje při výpočtu potřeby vody také svou roli. Kromě stávajících stavů je důležité počítat i s výhledovým počtem obyvatel a budoucím rozvojem minimálně 30 let dopředu. [1]

Výpočet potřeby vody vychází ze směrnice č.9/1973 pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti zdrojů. [4]

Touto směrnicí je vhodné se řídit při navrhování vodovodů a kanalizací a jejich dimenzování nebo při posuzování vydatnosti vodních zdrojů. Tato směrnice je v dnešní době neplatná, ale pro výpočet se stále používá, protože způsob výpočtu se nemění. Směrná čísla roční potřeby vody se berou z přílohy č.12 k vyhlášce č.428/2001 Sb., novela č.120/2011.

Směrnice používají pojmů uvedených v ČSN 73 6521 Názvosloví a značky ve vodním hospodářství - Vodárenství a balneotechnika a zavádějí tyto další pojmy, popřípadě pojmy, uvedené v ČSN 73 6521 upřesňují (historická norma). [1]

„Specifická potřeba vody – potřeba vody, připadající na základní spotřební jednotku (osoba, lůžko ap.). Udává se v l/jednotka.den. Rozumí se včetně ztrát v rozvodu vody až ke spotřebiteli (uvažovány jsou ztráty ve výši asi 20 %).

Nerovnoměrnost potřeby (vody) - kolísání odebíraného množství vody ve spotřebišti, za časovou jednotku ve sledovaném období.

Součinitel nerovnoměrnosti; k – poměr mezi maximální a průměrnou potřebou vody za časovou jednotku ve sledovaném období.

Občanská vybavenost – soubor budov, ploch a jiných zařízení, které slouží bezprostředně potřebám obyvatelstva v souvislosti s bydlením (obchody, školy, kina, divadla apod.)

Technická vybavenost – souhrn ploch, objektů a vedení nevýrobního charakteru s převládajícím technickým rázem, nezbytných k provozu sídlišť (inženýrské sítě, zařízení pro čištění města apod.)

Základní vybavenost obytného území (dále jen "základní vybavenost") - občanská a technická vybavenost, která slouží pouze pro potřebu obyvatel příslušného území (sídliště), o jehož zásobování vodou se jedná.

Vyšší vybavenost obytného území (dále jen "vyšší vybavenost") - občanská a technická vybavenost, využívaná kromě obyvatel vlastního obytného území (obce) též obyvateli příslušného spádového území.

Specifická občanská vybavenost – ta občanská zařízení, která se vyskytují nahodile a nedají se vyjádřit obecně platnými urbanistickými ukazateli.

Spádové území obce (sídliště) - okolí obce, komunikačně zpravidla s obcí výhodně spojené, jehož obyvatelstvo využívá vyšší vybavenost obce.“ [13]

Výpočet potřeby vody pro obyvatelstvo

$$Q_o = Q_B + Q_{OV} \quad (4)$$

Kde Q_B je průměrná potřeba vody pro bytový fond a vypočítá se dle vzorce.

$$Q_B = PO \cdot q_B \quad (5)$$

Kde PO je počet obyvatel a q_B je spotřeba vody na 1 obyvatele.

Data viz. Tabulka 1 ze směrnice č.9/1973 nelze použít z důvodu zastaralosti, v dnešní době jsou potřeby vody nižší. Používají se hodnoty z přílohy č. 12 k vyhlášce 428/2001 Sb. viz. Tabulka 2.

Tabulka 1 Specifická potřeba vody ze směrnice č.9/1973 pro bytový fond

u bytů ústředně vytápěných, s koupelnou a ústřední přípravou teplé vody	280 l/os.den
u bytů s koupelnou, s lokálním ohřevem teplé vody	230 l/os.den
u ostatních bytů připojených na vodovod, včetně bytů se sprchovým koutem	150 l/os.den
u obyvatel v bytech nepřipojených na vodovod, odebírajících vodu z uličních stojanů	40 l/os.den

Tabulka 2 Směrná čísla potřeby vody pro bytový fond z novely č. 120/2011

Příloha č. 12 k vyhlášce č. 428/2001 Sb.	m ³ /os.rok	l/os.den
na jednu osobu bytu s tekoucí studenou vodou mimo byt za rok	15	41.1
na jednu osobu bytu bez tekoucí teplé vody (teplé vody na kohoutku) za rok	25	68.5
na jednu osobu bytu s tekoucí teplou vodou (teplá voda na kohoutku) za rok	35	95.9

Q_{OV} je průměrná potřeba vody pro občanskou vybavenost a vypočítá se dle vzorce

$$Q_{OV} = PO \cdot q_{OV} \quad (6)$$

Kde PO je počet obyvatel a q_{OV} je potřeba vody pro základní vybavenost, vyčíslí se v závislosti na velikosti obce. [13] Specifická potřeba vody pro základní, popřípadě vyšší vybavenost se nachází viz. Tabulka 3 ze směrnice č. 9/1973.

Tabulka 3 Specifická potřeba vody pro občanskou vybavenost

U venkovských obcí do 1 000 obyvatel	20 l/os.den
1 000 až 5 000 obyvatel	30 l/os.den
5 000 až 20 000 obyvatel	70 l/os.den
20 000 až 100 000 obyvatel	125 l/os.den

Výpočet potřeby vody pro pracovníky v průmyslu a zemědělství

Vychází ze Směrnice č. 9 / 1973 Sb.

Tabulka 4. Specifická potřeba vody pro přímou spotřebu

Potřeba	l/os.den
Pití	5
Závodní kuchyně	25
Celkem	30

Tabulka 5. Specifická potřeba vody pro mytí, sprchování apod.

Specifická potřeba vody pro mytí, sprchování apod.	l/os.směna
Závody s horkými a současně špinavými provozy	220
Závody se špinavými a prašnými nebo horkými a čistými provozy	120
Závody pouze s čistými provozy	50

Maximální denní potřeba vody pro obyvatelstvo

$$Q_{\max d} = Q_o \cdot k_d \quad (7)$$

Kde $Q_{\max d}$ je maximální denní potřeba vody Q_o průměrná denní potřeba k_d součinitel denní nerovnoměrnosti (Tabulka 6). tento součinitel vychází z místních podmínek. Pokud není k dispozici, použijeme tabulkovou hodnotu. [13]

Tabulka 6. Součinitel denní nerovnoměrnosti

Velikost obce	Součinitel denní nerovnoměrnosti k_d
a) do 1 000 obyvatel	1,5
b) 1 000-5 000 obyvatel	1,4
c) 5 000-20 000 obyvatel	1,35
d) 20 000-100 000 obyvatel	1,25

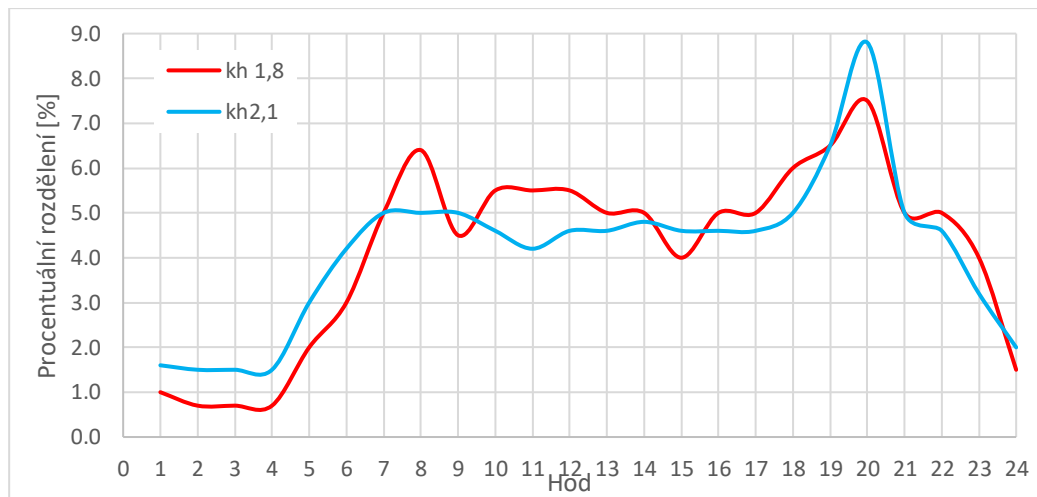
Na maximální denní potřebu se navrhuje zařízení pro odběr vody ze zdroje. Můžeme říct, že jde o veškeré prvky od zdroje až k vodojemu, kapacita úpravný vody, řady pro přivádění vody do vodojemu, vodojemy. [13]

Maximální hodinová potřeba pro obyvatelstvo a živočišnou výrobu

$$Q_{\max h} = Q_{\max d} \cdot k_h \quad (8)$$

Kde $Q_{\max h}$ je maximální hodinová potřeba vody pro obyvatelstvo, k_h je součinitel hodinové nerovnoměrnosti $k_h=1,8$. U spotřebišť vysloveně sídlištního charakteru je možné součinitel zvýšit na $k_h=2,1$.

Průběh potřeby vody celodenní v procentech se nachází viz. Obrázek 2.17, toto hodinové rozdělení nalezneme jen ve směrnici č. 9 / 1973 Sb. [13]



Obrázek 2.17 Procentuální rozdělení součinitele hodinové nerovnoměrnosti během dne

Na maximální hodinovou potřebu se dimenzují veškeré prvky na přívod vody ke spotřebitelům, tedy od vodojemu až ke spotřebiteli. [13]

2.4 Materiál potrubí

Všeobecně musí materiál vodovodního potrubí navrhovaný pro zásobování vodou splňovat požadavky ČSN EN 805 – Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti. Tato norma udává

- výrobky musí být vyráběny podle platných evropských, případně českých norem
- výrobky musí být certifikovány pro Českou republiku, pokud nemají platný CE certifikát.
- výrobky přicházející do styku s pitnou vodou musí být v souladu se zákonem č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, v platném znění a vyhláškou č. 409/2005 Sb.
- kontrola kvality je požadována podle druhů výrobků, přičemž výroba musí být řízena dle ISO 9001. Výrobky musí být pravidelně kontrolovány nezávislou zkušebníou
- výrobky musí splňovat níže uvedené specifické požadavky vlastníka a provozovatele

Materiál potrubí vodovodních řadů je nutné vybrat pečlivě. Výběr materiálu závisí na druhu zásobení. Nevhodně použitý trubní materiál může být příčinou poruch na síti. Především se používají tyto materiály:

- Ocelové trouby
- Litinové trouby
- Plastové trouby

2.4.1 Ocelové trouby

Ocel je jedním z nejběžnějších a nejstarších materiálů pro výrobu trubek. Používají se oceli různého složení a vlastností. Pro zdravotně technické instalace se používají uhlíkové oceli tř. 10, 11 a 12, v případě vysokých teplot se uplatňuje ocel tř. 15 nebo nerezavějící ocel tř. 17. [6]

Dělení ocelí do tříd 10-19 dle ČSN, které určují její kvalitu a jakost a vymezují její použití.

- třídy 10 až 11 - běžné nelegované uhlíkové oceli
- třídy 12 až 17 - ušlechtilé konstrukční oceli, kde třídy 13 až 17 jsou legované
- třídy 18 až 19 - speciální třídy

Tyto trubky jsou pevné, pružné, odolné nárazům a snesou vyšší teploty. Oproti litině jsou lehčí, protože mají tenké stěny a je snadnější jejich montáž a manipulace. Protože se vyrábějí ve větších délkách, je u nich méně spojů. Zaručují poměrně vysokou provozní spolehlivost. Jejich hlavní nevýhodou je malá odolnost proti korozním vlivům prostředí a proti usazování inkrustací, které zhoršují průtokové poměry. Trubky se vyrábějí válcováním nebo svařováním ze surových plechů v normalizovaných průměrech a délkách.

Na potrubí, které se ukládá do země, se používají ocelové trubky s ochrannou vnějšího povrchu z asfaltu a juty. Pro parovody a horkovody větších průměrů, které se ukládají v kanálech, se používají černé trubky s ochranným nátěrem a opatřené tepelnou izolací. Fitinky se používají pro závitové spojování svařovaných i bezešvých ocelových trubek. Umožňují spojení trubek s armaturami či přístroji apod. Vyrábějí se převážně z temperované litiny a oceli. [7]

Ocelové trouby je vhodné používat pro stavbu přivaděčů od dimenze DN 500 mm a výš. U tohoto potrubí je nutné použít ochranu proti korozi například katodickou ochranu. Jsou nejvýhodnější z hlediska pevnosti. Snesou velké vnitřní přetlaky i vnější zatížení. [1,8]

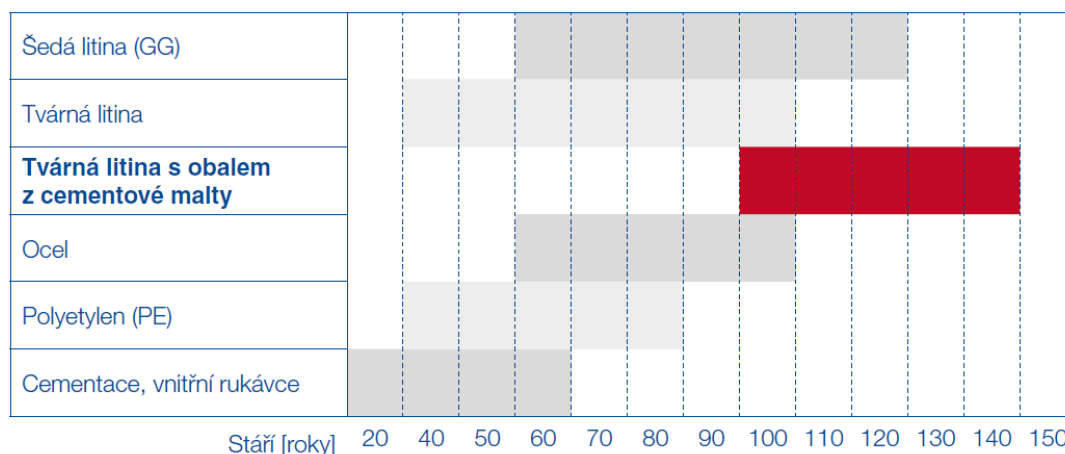
2.4.2 Litinové trouby

Historie litinového potrubí sahá až do středověku, kdy bylo poprvé použito v roce 1455 na zámku v Dilenburgu. I přes jeho primitivní provedení, potrubí vydrželo sloužit 300 let. Technologie výroby se vyvíjela velmi pomalu. V 18. století byly litinové trouby o DN 80 vyráběny v délce 1,5 m a výrobní kapacity továren byly přibližně 25 trub za týden. Metoda výroby litinového potrubí, která se používá dodnes pochází z roku 1925 kdy bylo zavedeno odstředování podle De Lavauda.

Litina je tvárná a šedá. Tvárná litina je houževnatá slitina železa a uhlíku, v níž se uhlík vyskytuje zejména ve formě volného grafitu. Od šedé litiny se liší hlavně tvarem grafitových částic. Úprava tekutého železa hořčíkem způsobuje, že při tuhnutí krystalizuje uhlík v převážné míře ve tvaru kuliček. Důsledkem je výrazné zvýšení pevnosti a tažnosti oproti klasické šedé litině. Tyto tzv. sférolity však ovlivňují ostatní vlastnosti základní kovové matrice pouze nepatrně.

Zatímco u šedé litiny s obsahem grafitu ve formě lamel jsou napět'ové křivky na hrotech silně zhuštěny, u tvárné litiny obtékají kuličkový tvar vyloučeného grafitu a zůstávají téměř nenarušeny. Z tohoto důvodu se tvárná litina dokáže pod zatížením tvarovat.

Trouby a tvarovky z tvárné litiny jsou z hlediska statiky považovány za ohybově měkké nebo flexibilní. [14]



Obrázek 18. Provozní živostnost typů potrubí (podle W 401 „Cech německých plynářů a vodařů“ (DGWG))

Litinové trouby jsou vhodným materiálem pro výstavbu většiny přivaděčích řadů. Mají nízkou náchylnost ke vzniku poruch. Korozi odolává lépe litina než ocel, především díky větší tloušťce stěn. [1,8]

2.4.3 Plastové trouby

Polyetylenové tlakové trubky jsou vyráběny z vysokohustotního polyetylenu (High Density Polyethylene – jiná označení I-PE, HDPE, PEHD). Je to moderní trubní materiál, jenž ve srovnání s litinou i dříve používaným LDPE nabízí celou řadu výhod. Díky velké pružnosti odolávají HDPE trubky krátkodobým přetížením i dynamickému zatěžování lépe než trubky tuhé.

Přestože HDPE je špatný vodič tepla, potrubí je nutno izolovat proti zamrznání i přehřátí. Nasákavost plastů je zanedbatelná, proto nemůže dojít k bobtnání, změně rozměrů nebo dokonce k poškození stěn vlivem zmrznutí do nich vsáknuté vody. Rovněž nejsou poškozeny vodou, která v trubkách zamrzne, ani většinou pohybů zeminy, vyvolaných mrazem. Poruchy vodovodů nastávají převážně v oblasti tvarovek z litiny nebo jiných tuhých materiálů.

Plastické hmoty nevedou elektrický proud, zaručují absolutní odolnost trubek proti korozi vyvolané účinkem bludných proudů. Znamená to, že je nelze např. rozmrazovat za pomoci elektrického proudu, že jsou pod zemí hůře zjištěitelné než například litinové trubky a že je nelze použít jako uzemňovací. [15]

Plastové trouby nejsou vhodné pro stavbu přivaděčů. Důvodem je jednak jejich obtížná detekce při uložení v extravilánu. Tak v nižší životnosti než u předešlých dvou materiálů. Vhodné jsou pro stavbu rozvodné distribuční sítě ve spotřebištích. Mají nejmenší pevnost, ale jsou naopak nejpružnější. Z hlediska odolnosti vůči korozi jsou rovněž nejvýhodnější nekovové materiály. Dříve byl používán azbestocement.

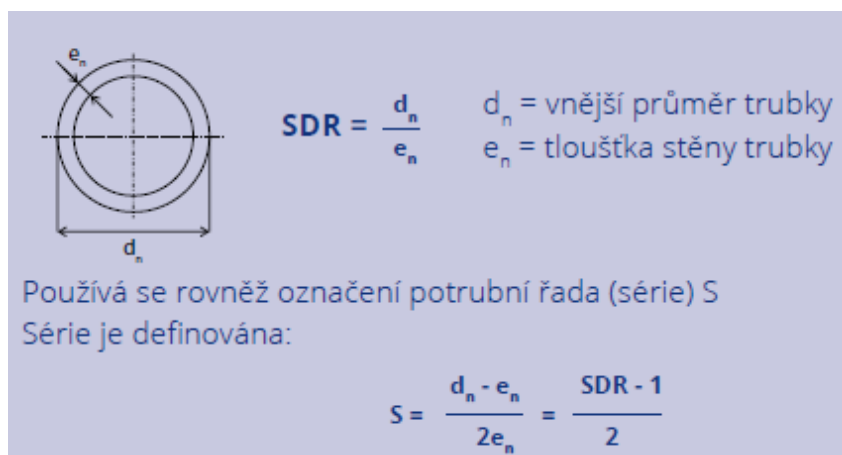
[1,8]

Když jsou plastové trubky vyrobeny ze stejného materiálu, vlivem rozdílné tloušťky stěny mají i rozdílné provozní parametry (provozní tlak/provozní teplota/životnost). Původně byly trubky podle tloušťky stěny rozděleny do tlakových řad, označovaných PN. Tak jak se vylepšovaly vlastnosti plastových materiálů, přestávalo mít značení PN, zejména pro systémy pro teplou vodu, vypovídající hodnotu a jednotlivé řady byly pojmenovány S nebo SDR. [16]

PN – hodnota provozního přetlaku, při kterém může být zařízení provozováno při teplotě 20 °C a životnosti 50 let.

$$S = (SDR-1)/2,$$

SDR je přibližně D/t kde D je vnější průměr trubky a t je tloušťka stěny trubky.



Obrázek 19. Ilustrace k SDR, S

V některých normách jsou PE trubky popisovány pomocí PN v jiných pomocí S nebo SDR. Jejich převod pro různé hodnoty PE je v Tabulka 7. dovolený tlak závisí na délce provozu a teplotě. Data v Tabulka 7 jsou pro teplotu 20 °C a roky provozu 50. [16]

Tabulka 7. Převod PN, SDR a S pro různé PE

	Potrubní řada					
	SDR 6	SDR 7,4	SDR 9	SDR 11	SDR 13,6	SDR 17
	S2,5	S 3,2	S4	S5	S 6,3	S8
	Jmenovitý tlak, PN (bar)					
PE 40	-	PN 10	PN 8	-	PN 5	PN 4
PE 63	-	-	-	PN 10	PN 8	-
PE 80	PN 25	PN 20	PN 16	PN 12.5	PN 10	PN 8
PE 100	-	PN 25	PN 20	PN 16	PN 12.5	PN 10

Pro různé tlakové třídy je pro potrubí s rozdílným vnějším průměrem rozdílná tloušťka stěny. Příklad tlouštěk stěny pro pár vybraných vnějších průměrů je v Tabulka 8. [16]

Tabulka 8. Tloušťka stěny pro vybrané S a dn

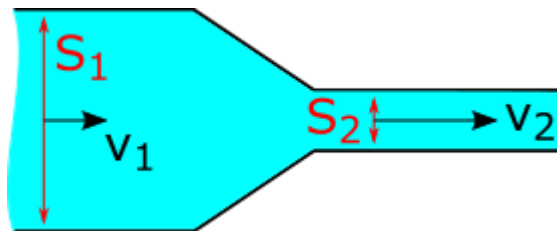
Vnější průměr (mm)	Potrubní řada						
	S8	S6.3	S5	S4	S3.2	S2.5	S2
	Tloušťky stěny (mm)						
25	1.8	1.9	2.3	2.8	3.5	4.2	5.1
32	1.9	2.4	2.9	3.6	4.4	5.4	6.5
40	2.4	3	3.7	4.5	5.5	6.7	8.1

2.5 Hydraulika vodovodních sítí

Výpočty, které se využívají ve vodohospodářské praxi při ustáleném tlakovém proudění, vychází ze zákona zachování mechanické energie a zákona zachování hmoty. [17,18,19]

2.5.1 Rovnice spojitosti

Pro aplikaci zákona zachování hmoty se uplatňuje rovnice spojitosti nebo také kontinuity pro ustálené 1D proudění nestlačitelné kapaliny.



Obrázek 20. Ilustrace k rovnici kontinuity

Má-li vodovodní potrubí na jednom konci průřez S_1 a kapalina proudí rychlostí v_1 a na druhém konci potrubí je průřez S_2 a kapalina má rychlost v_2 , pak platí

$$Q_1 = Q_2 \quad (1)$$

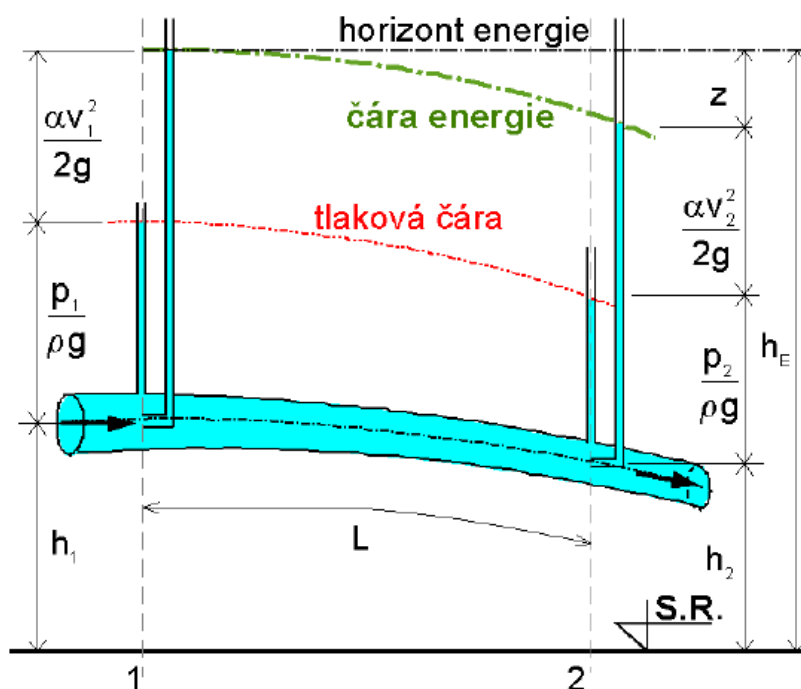
Po dosazení

$$S_1 \cdot v_1 = S_2 \cdot v_2 \quad (2)$$

Ideální kapalina je dokonale nestlačitelná, nemůže se při proudění v potrubí hromadit. Proto proteče každým průřezem potrubí za stejnou dobu kapalina stejného objemu, tzn. že v každém průřezu trubice je objemový průtok $Q \cdot v = \text{konstantní}$, neboli $S \cdot v = \text{konstantní}$. Při ustáleném proudění kapaliny je součin obsahu průřezu S a rychlosti proudu v v každém místě trubice stejný. [17,18,19]

2.5.2 Bernoulliho rovnice

Pro aplikaci zákona zachování mechanické energie se používá rovnice Bernoulliho, přičemž se uvažuje ustálené proudění skutečné kapaliny ($v \neq 0$). Pro tuto formu platí následující Bernoulliho rovnice, kterou jednoduše vyjadřuje Obrázek 21. [17,18,19]



Obrázek 21. Schéma pro sestavení Bernoulliho rovnice [19]

$$\left(h_1 + \frac{p_1}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g} \right) - \left(h_2 + \frac{p_2}{\rho \cdot g} + \frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g} \right) = Z \quad (3)$$

Kde h_1 , h_2 jsou geodetická výška [m], druhé členy závorek $\frac{p_1}{\rho \cdot g}$, $\frac{p_2}{\rho \cdot g}$ jsou tlakové výšky [m], třetí členy závorek $\frac{\alpha \cdot v_1^2}{2 \cdot g}$, $\frac{\alpha \cdot v_2^2}{2 \cdot g}$ jsou výšky rychlostní [m], Z je tlaková ztráta na úseku L [m]

Vlivem nenulové vazkosti dochází k přeměně mechanické energie na jinou formu.

Energetická výška je součet výšky geodetické, tlakové a rychlostní. Spojnice úrovní energetických výšek se nazývá čára energie, ta se směrem po proudu snižuje a její rozdíl mezi dvěma sousedními profily se označuje jako ztráta mechanické energie. Celkové ztráty se uvažují jako součet ztrát třením Z_t a ztrát místních Z_m . [17,18,19]

$$Z = Z_t + Z_m \quad (4)$$

Součet polohové a tlakové výšky nám udává tlakovou čáru.

Ztráty třením

Pro prizmatická potrubí je ztráta třením lineárně závislá na délce potrubí (Obrázek 22).

$$Z_t = i_E \cdot L \quad (5)$$

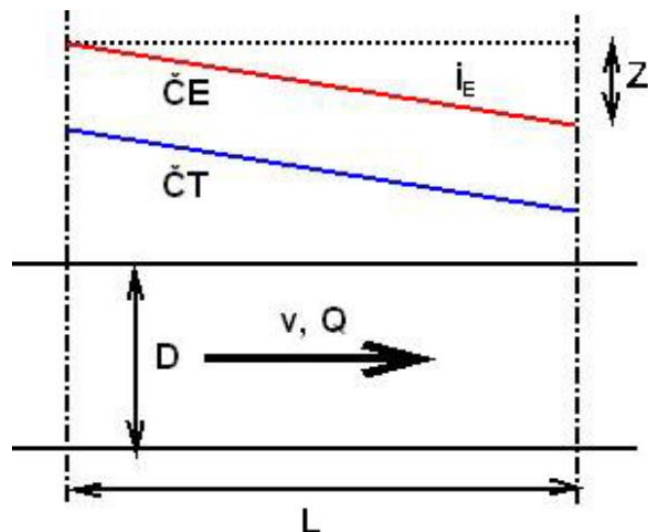
Pro výpočet ztrát třením se používá Darcy-Weisbachova rovnice v následujícím tvaru

$$Z_t = \frac{\lambda \cdot L}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (6)$$

a

$$i_E = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (7)$$

Kde λ je součinitel ztráty třením [-], L je délka úseku mezi profily, D je průměr potrubí v profilu, v je rychlost, g je gravitační zrychlení.



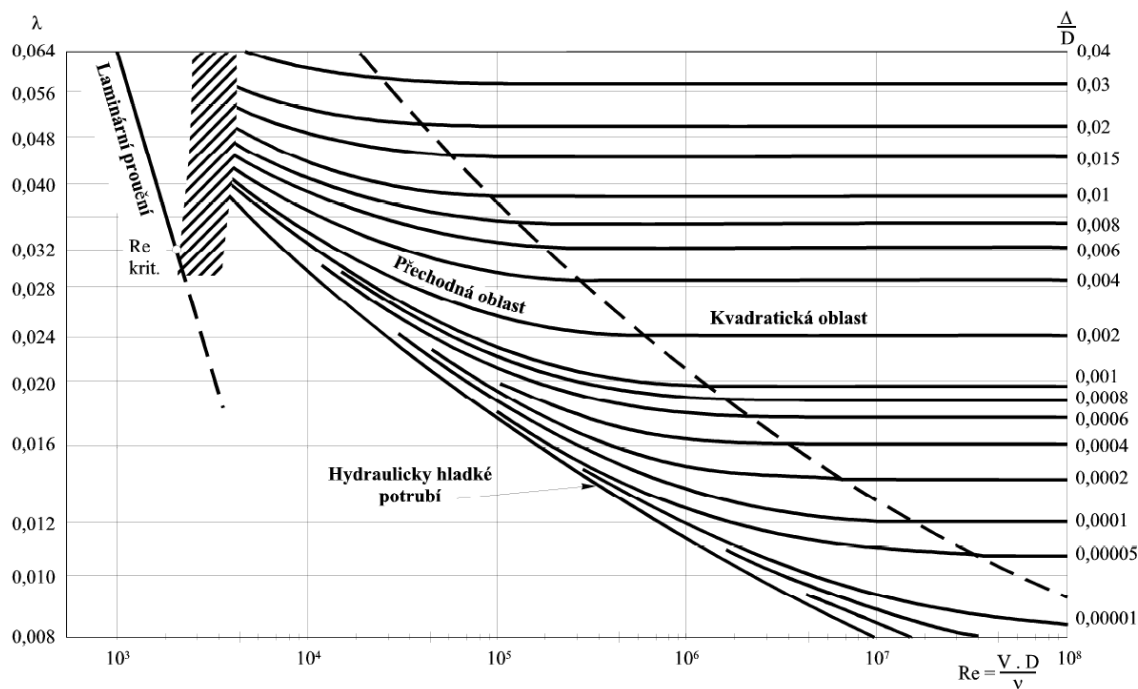
Obrázek 22. Ztráty v prizmatickém potrubí [19]

Součinitel λ je závislý na Reynoldsově čísle Re [-] a relativní drsnosti potrubí Δ/D [-]

$$\lambda = f\left(Re, \frac{\Delta}{D}\right) \quad (8)$$

Relativní drsnost vyjadřuje poměr hydraulické drsnosti a rozměru potrubí.

Vztah mezi součinitelem λ , Reynoldsově čísle Re a relativní drsnosti potrubí Δ/D je znázorněn v Moodyho diagramu. (Obrázek 23)



Obrázek 23. Moodyho diagram [19]

Reynoldsovo číslo charakterizuje režim proudění. Pro kruhové potrubí platí.

$$Re = \frac{v * D}{\nu} \quad (9)$$

Kde ν [mm²/s] je kinematická viskozita, v je rychlost [m/s] a D je průměr potrubí v profilu. Kritické $Re_k = 2320$ a jedná se o hranici mezi laminárním prouděním a přechodnou oblastí proudění.

Hodnoty součinitele tlakových ztrát λ
Laminární průtok (při $Re < 2320$)

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (10)$$

Turbulentní proudění v hydraulicky hladkém potrubí – Blasiusův vzorec (platí při $Re < 10^5$)

$$\lambda = 0,3164 * Re^{-0,25} \quad (11)$$

Konakovův vzorec (při $5 \cdot 10^3 < Re < 10^6$)

$$\lambda = (1,8 \log Re - 1,5)^{-2} \quad (12)$$

Přechodná oblast turbulentního pohybu, ovlivněná Re a poměrnou drsností stěn – vzorec Whiteův – Colebrookův v úpravě Ing. Šerka

$$\left(\frac{1}{(1,13874 - 2 \log \frac{k}{d})^8} + \frac{0,01}{Re} \right)^{0,25} \quad (13)$$

Kvadratická oblast turbulentního pohybu ovlivněná drsností stěn – vzorec Manningův

$$\lambda = 124,48 * n^2 * d^{-1/3} \quad (14)$$

Kde n [-] je Manningův drsnostní součinitel

Povrch vnitřních stěn – materiál potrubí	k (mm)	n
potrubí ze skla, olova, mědi, plastů	0,001 – 0,003	0,009 – 0,013
ocelové, nové, tažené, nenatřené	0,03	0,011
ocelové svařované, dobrý stav (bez zúžení)	0,04 – 0,10	0,012
ocelové svařované, špatný stav (velmi korodované)	2,0	0,020
litinové, nové asfaltované	0,10 – 0,30	0,010 – 0,014
běžné vodovodní potrubí	1,5 – 6,0	0,012 – 0,014
staré vodovodní potrubí značně zkorodované	6,0 – 30,0	–
azbestocementové potrubí v provozu	0,6	–
kameninové potrubí (stoky)	0,3 – 1,5	0,013 – 0,017
beton a předpjatý beton (bez omítky)	0,06 – 0,18	0,014 – 0,017
běžné betonové potrubí (betonové stoky)	0,35 – 0,80	0,015 – 0,020
zdivo ze zvonivek	0,6 – 3,0	0,013
zdivo z obyčejných cihel	1,5 – 6,0	0,015
zdivo z lomového kamene	6,0	0,025

Obrázek 24. Tabulka hodnot k , n pro rovnice [18]

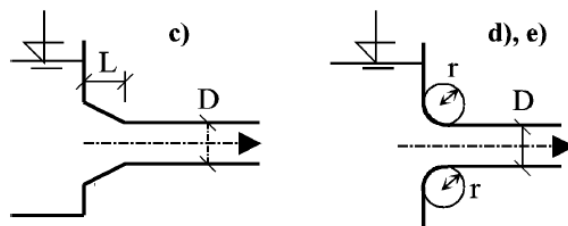
Ztráty místní

Místní ztráty se objevují všude, kde dochází k deformaci rychlostního pole. Může to nastat v případě překážky, zúžení či rozšíření profilu atd. V úseku, kde se deformace vyskytuje se zvýší sklon čáry energie. Velikost místní ztráty se stanovuje na základě rychlostní výšky. [17,18,19]

$$Z_m = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \quad (15)$$

Kde ξ má význam součinitele místních ztrát. Součinitel se liší podle druhu místní ztráty. Některé typy jsou vyobrazeny na obrázcích níže.

TYP VTOKU	Platnost	ζ_v
a) Potrubí zasahuje do nádrže		0,8 - - 1,0
b) Ostrá vstupní hrana		0,5
c) Seříznutá vstupní hrana	$L/D \cong 0,1$	0,25
d) Zaoblená vstupní hrana	$r/D \cong 0,06$	0,20
e) Kruhově zaoblený vtok	$r = 0,2 \cdot D$	0,11
Výtok do velké nádrže		1,0



Obrázek 25. Součinitel ztráty vtokem do potrubí a výtokem do velké nádrže [19]

uzávěr	Klapka	Šoupě	Ventil
otevření [%]	ζ_u	ζ_u	ζ_u
0	100000	100000	100000
10	2499	190	6756
20	203,08	30	624
30	50,02	10,5	122,4
40	21,67	4,3	50
50	10,11	2,06	24
60	5,06	0,98	13,79
70	3,52	0,44	9,4
80	2,56	0,15	7,16
90	1,44	0,06	5,57
100	0,56	0,03	4,95

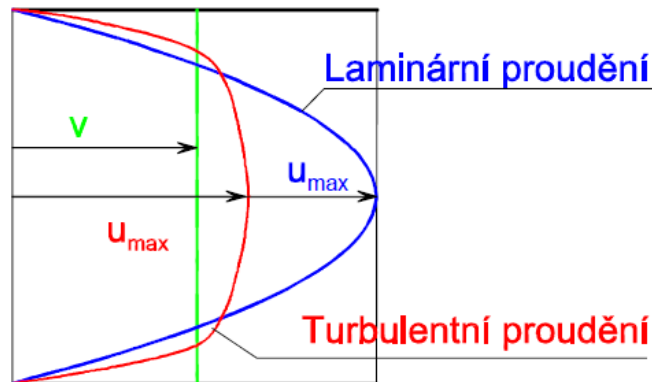
Obrázek 26. Průtokové charakteristiky vnitřních uzávěrů podle Tullise (1989) [19]

δ	15°	30°	45°	60°	90°	
ζ_s hladká potrubí	0,04	0,13	0,24	0,47	1,13	
ζ_s drsná potrubí	0,06	0,17	0,32	0,68	1,27	

 Obrázek 27. Ztrátový součinitel ostrých kolen dle Thomy ($Re > 2 \cdot 10^5$) [19]

Při běžných výpočtech se pak neuvažuje se skutečným rozdělením rychlostí v příčném průřezu potrubí. Skutečné rozdělení rychlostí se nahrazuje střední průřezovou rychlostí v

(Obrázek 28). Protože se v Bernoulliho rovnici rychlost objevuje ve výrazu pro rychlostní výšku v druhé mocnině, bilance kinetické energie při uvažování skutečného rozdělení rychlostí by vycházela odlišně oproti výpočtu s uplatněním střední průřezové rychlosti. Abychom se této chyby vyvarovali, výraz pro rychlostní výšku bývá zpravidla vynásoben tak zvaným Coriolisovým číslem α . [17,18,19]



Obrázek 28. Rozdělení rychlostí v oblastech proudění [19]

$$\alpha = \frac{\int u^3 \cdot dS}{v^3 \cdot S} \quad (16)$$

Laminární proudění $\alpha=2$, turbulentní proudění $\alpha=1,05$ pro proudění v kruhové trubici.

2.6 Hydraulické modelování ve vodním hospodářství

Matematické modelování proniklo do různých oborů, jak technických, tak přírodních, ekonomických i sociálních věd. stalo se významným pomocníkem při modelování a simulaci systémů, analýz, procesů a jevů. Použití modelu přináší řadu výhod:

- Umožňuje zjistit informace o chování systému
- Urychluje proces poznání. Procesy, které by v reálném čase trvaly dlouho, lze pomocí modelu sledovat okamžitě.
- Umožňuje variantní řešení

Matematický model je abstraktní model, který využívá matematického zápisu k popisu chování systému. [20]

Nachází využití při prvotním návrhu dimenze potrubí, posouzení současného stavu sítě, posouzení výhledového stavu sítě, analýza jakosti vody a další. [21,22]

2.6.1 Stavba matematického modelu

Formulace problému – stanovení účelu modelu a jeho cíle. Jeden model nelze považovat za vhodný pro všechny účely, je proto důležité si na začátku definovat, k čemu má model sloužit.

Koncepční (kvalitativní) model – konceptualizace systému. Ohraničení systému a časového prostoru. Stanovení struktury modelu, výběr procesů a proměnných.

Matematický (kvantitativní) model – matematická formulace procesů, vložení okrajových podmínek a vstupních dat.

Sběr dat pro kalibraci a verifikaci – pro kalibraci a verifikaci modelu se používají data naměřená na síti. Zpravidla se jedná o stálá měření v objektech (vodojemech, šachtách, čerpacích stanicích). Mohou být doplněna o měřicí kampaně pro úplné popsání stavu sítě.

Úprava matematického modelu a přezkoušení – zhodnotí se dosavadní výsledky simulace pomocí relativní nebo absolutní odchylky průtoku, tlaku atd. při značné odchylce dochází k makro kalibraci. Systém je upraven na úrovni uzávěrů, odběrů atd. při dosažení požadované přesnosti můžeme model zkalibrovat pomocí mikro kalibrace, která je na úrovni drsnosti potrubí, hodnoty uzlových odběrů.

Použití matematického modelu – analýza chování systému, prognózy, varianty řešení [21,22]

2.6.2 Kalibrace a verifikace hydraulického modelu

Kalibrace modelu slouží pro stanovení takových sad parametrů modelu, které vedou k nejmenším odchylkám mezi výsledky simulace a měřenými daty, a tím k redukci nejistot. Pro identifikaci optimální sady parametrů může být použita metoda „pokusů a omylů“ nebo matematické optimalizační techniky. Účelný postup při kalibraci je zapotřebí stanovit podle typu modelu odděleně pro jednotlivé dílčí procesy. [22]

Kalibrační metody lze rozdělit do tří kategorií: *iterační, explicitní a implicitní*.

Iterační metody jsou založeny na metodě pokus/omyl, kdy neznámé parametry jsou zpřesňovány v každém kroku s užitím tlaků a/nebo průtoků získaných řešením sady rovnic vyjadřujících zákon zachování hmoty a zákon zachování energie (rovnice kontinuity a Bernoulliho rovnice). Jelikož použití iteračních metod je velmi neefektivní, jejich hlavní přínos je dnes spatřován v definování základních principů kalibrace modelu, které byly použity při vývoji sofistikovanějších metod implicitních a explicitních. [21]

Explicitní (hydraulické) metody jsou založeny na řešení sady hmotnostních a energetických rovnic, rozšířené o rovnice odvozené z měření tlaků a průtoků (na jedno měření připadá jedna rovnice). Explicitní metody mají několik nevýhod, mezi něž patří například skutečnost, že počet neznámých musí odpovídat počtu dostupných měření, nepřesnosti měření nejsou brány v potaz a podobně, a proto v současnosti nemají velký význam. [21]

Implicitní (optimalizační) metody jsou v současnosti běžně používané. Jedná se o metody, které využívají kombinaci optimalizačních nástrojů a hydraulického řešení.

V prvním kroku jsou vstupem pro optimalizaci počáteční odhady parametrů modelu (hodnoty hydraulické drsnosti zjištěné z tabulek a schematizované hodnoty uzlových odběrů). Optimalizační nástroj tyto hodnoty předá simulačnímu modelu, který provede hydraulický výpočet a výsledky (například hodnoty tlaků) předá zpět optimalizačnímu nástroji. Zde do procesu vstupuje takzvané cílová či účelová funkce, která má za úkol minimalizovat rozdíly mezi naměřenými a vypočtenými hodnotami. [21]

Validace = verifikace. Verifikace je v zásadě totožná, jako kalibrace – ověřuje správnost vstupních parametrů na základě veličin reálně naměřených na síti. Verifikace slouží k ověření správnosti kalibrovaného modelu, z čehož plyne, že pro její správné provedení je zapotřebí použít jiný soubor naměřených dat, než na který byla provedena kalibrace, případně je možné dvě třetiny dat z daného souboru použít pro kalibraci a zbývající třetinu využít pro verifikaci. [22]

Nástroje používané pro kalibraci a validaci jsou citlivostní analýza při které zjišťujeme vliv měněných parametrů na výsledky modelu. Dále pro rozdíl mezi naměřenými a modelovanými daty používáme

Systematickou odchylku, systematické nadhodnocování nebo podhodnocování

$$\sum r_i/n \quad (17)$$

Průměrnou odchylku, která je přesná vzhledem k referenčním hodnotám

$$\sum |r_i|/n \quad (18)$$

Kvadratickou odchylku, která je přesná vzhledem k referenčním hodnotám

$$\sqrt{\sum r_i^2/n} \quad (19)$$

Kde r_i je rozdíl mezi vypočtenou a naměřenou hodnotou (%), n je počet událostí. [22]

2.6.3 Přehled modelů

EPANET

EPANET je počítačový program, který provádí dlouhodobou simulaci chování hydrauliky a kvality vody v sítích s tlakovým potrubím. vytvořila ho americká společnost EPA (United States Environmental Protection Agency) Síť se skládá z potrubí, uzlů (trubkových spojů), čerpadel, ventilů, vodojemů nebo nádrží. EPANET sleduje průtok vody, tlak, koncentrace chemických látek v síti během simulačního období. Kromě chemických látek lze simulovat také stáří vody.

Může být použit pro mnoho různých aplikací v distribuci vody v systémové analýze. EPANET může pomoci posoudit alternativní řízení pro zlepšení kvality vody v celém systému.

Je jádrem komerčních výpočetních modelů WATERCAD, H2ONET (H2O MAP), CYBERNET, MIKE URBAN atd.

Existují i doplňky pro EPANET – Epanet-RTX (Real-Time eXtension), Programmer's Toolkit, EPANET Excel Add-in, EPANet Plus, WaterNetGen, EpaCAD, Epanet-MSX (Multi-specises eXtension)

EpaCAD Slouží k převedení Autocad .dxf formátu do Epanet .inp formátu. Aby bylo možné převést soubor z Autocadu do Epanetu, je důležité soubor vodovodní sítě v Autocadu nejprve uložit do formátu .dxf. Program navíc dokáže sestavit vodovodní síť ze základních prvků, a to z uzlů a potrubí. Tato funkce značně ulehčuje tvorbu vodovodní sítě v Epanetu. [23,24]

SWMM

Model hospodaření s dešťovou vodou (SWMM) je rovněž od společnosti EPA a po celém světě se používá pro plánování, analýzu a návrh související s odtokem dešťové vody, kombinovanými a sanitárními kanalizačními systémy a dalšími drenážními systémy. Lze jej použít k vyhodnocení strategií řízení dešťové vody v šedé infrastruktuře, jako jsou potrubí a dešťové vpusti, je užitečným nástrojem pro vytváření efektivních řešení pro řízení dešťové vody s hybridním zeleným/šedým odstínem. SWMM byl vyvinut, aby pomohl podporovat místní, státní a národní cíle hospodaření s dešťovými vodami s cílem snížit odtok infiltraci a zadržováním a pomoci snížit vypouštění, které způsobuje poškození vodních ploch. [26]

MIKE+

Nástupce MIKE URBAN+ a MIKE URBAN 2020 v sobě nese kombinaci simulačního softwaru DHI a světovou špičku v GIS technologiích – společností ESRI. Výsledkem spojení těchto dvou elementů vzniká produkt, který definuje nové průmyslové standardy v modelování zásobování vodou a odvodnění městských aglomerací, nyní na nové platformě MIKE+. S využitím platformy MIKE+ můžete integrovat, modelovat a spravovat všechny městské vodohospodářské systémy v jednom prostředí. Můžete provádět komplexní analýzy vaší vodohospodářské infrastruktury. Všechny nejnovější analytické metody a data máte přehledně na jednom místě a rychle k dispozici. Vodovodní síť a kanalizační systémy, nově také sítě vodních toků a objektů na nich poprvé v jednom přehledném a intuitivním prostředí, to je nový MIKE+. [25]

WEST

WEST je výkonný a uživatelsky příjemný nástroj pro dynamické modelování a simulace procesů na čistírnách odpadních vod (ČOV). Programu WEST obsahuje rozsáhlý a nejmodernější model včetně knihoven technologických procesů, což umožňuje modelovat a vyhodnocovat téměř jakýkoliv typ moderní čistírny odpadních vod. [25]

GANDALF

Softwarový prostředek určený pro práci s časově orientovanými daty – časovými řadami, jejich kontrolu a efektivní prezentaci. SW je určený speciálně pro zpracování dat z měrných kampaní, reporting měření, detailní analýzu vybraných objektů na vodovodních a kanalizačních sítích, ale své uplatnění nachází v celém spektru úloh ve vodním hospodářství. [25]

SYNGISMO

Systém Syngismo umožňuje aktualizaci matematického modelu vodovodní i kanalizační sítě na základě vyhodnocení rozdílů mezi databází modelu a datovým zdrojem GIS a ZIS. Aplikace v prvním kroku porovná odpovídající si prvky modelu a datového zdroje a rozdíly zapíše do rozdílové databáze. V druhém kroku pak provede aktualizaci modelu podle výsledků v rozdílové databázi. Systém umožňuje automatizace aktualizace systému s minimalizovanými požadavky na ruční zpracování a stálý přehled o změnách.

Kromě modelů pro městské inženýrství jsou k dispozici i softwary pro říční vodohospodářství. Vhodné jsou softwary HEC od U.S. Army Corps of Engineers (USACE). [25]

HEC – RAS

Je to software, který umožňuje provádět jednorozměrné ustálené proudění, jednorozměrné a dvourozměrné výpočty nerovnoměrného proudění, výpočty transportu sedimentu/mobilního dna a modelování teploty vody/kvality vody. Tento software se používá při úpravě koryt řek, dokáže simulovat povodně. [27]

HEC – HMS

Hydrologický modelovací systém (HEC-HMS) je navržen tak, aby simuloval kompletní hydrologické procesy systémů povodí. Software zahrnuje mnoho tradičních postupů hydrologické analýzy, jako je infiltrace, hydrografie a hydrologické trasování. HEC-HMS také zahrnuje postupy nezbytné pro nepřetržitou simulaci včetně evapotranspirace, tání sněhu. K dispozici jsou také pokročilé možnosti pro simulaci odtoku pomocí lineární kvazi-distribované transformace odtoku (ModClark). K dispozici jsou doplňkové analytické nástroje pro optimalizaci modelu, předpovídání proudění, zmenšení hloubky, posouzení nejistoty modelu, eroze a transportu sedimentů a kvality vody.

Výsledky simulace lze je použít ve spojení s dalším softwarem pro studie dostupnosti vody, městského odvodnění, předpovědi průtoku, budoucího dopadu urbanizace, návrhu přelivu nádrží, snižování povodňových škod, regulace záplavových území a provoz systémů. [27]

3. Praktická část

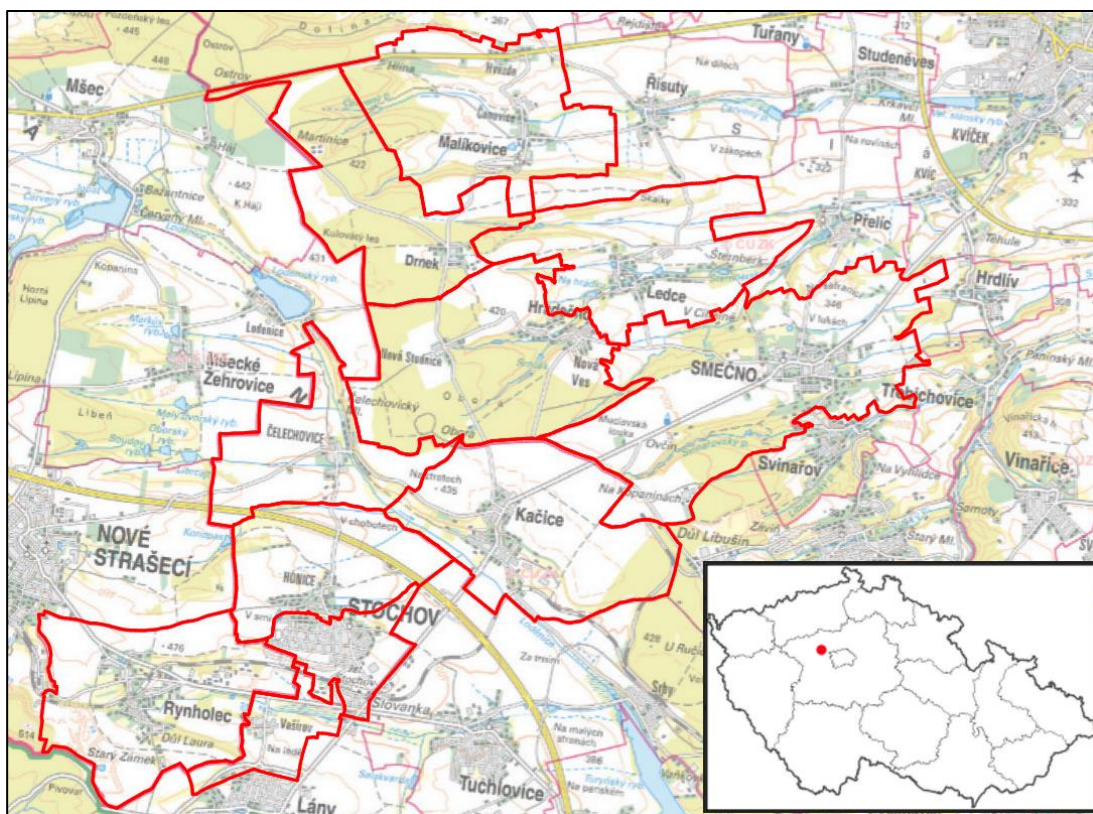
Praktická část diplomové práce se zabývá posouzením soustavy vodojemů v okrese Kladno a vodovodního přivaděče, který je spojuje. Diplomová práce navazuje na mou bakalářskou práci, která se věnovala posouzení vodojemu Libušín a jeho přivaděčů. Soustava vodojemů, které chci řešit v této práci z části zásobují i zmíněný vodojem Libušín.

Konkrétně se v diplomové práci řeší zemní vodojem Kačice, ze kterého voda teče do věžového vodojemu Smečno. Voda z vodojemu Smečno zásobuje pitnou vodou obec Ledce, město Smečno, vodojem Libušín a město Slaný. V oblasti je plánován rozvoj výstavby rodinných domů, ale z důvodu malé kapacity části přivaděče a malého objemu vodojemu Smečno je v oblasti zavedena stavební uzávěra.

Práce se zabývá posouzením přivaděče a vodojemů za pomoci matematického modelování. Následně jsou zvoleny možné varianty a jejich kombinace, jak situaci v oblasti zlepšit. Ty jsou následně posouzeny v modelu. Cílem je najít nevhodnější variantu řešení z ekonomického a technického hlediska.

3.1 Lokalita

Řešená lokalita se nachází ve Středočeském kraji na Kladensku. V následujících odstavcích se seznámíme s dotčenými obcemi. (Obrázek 29)

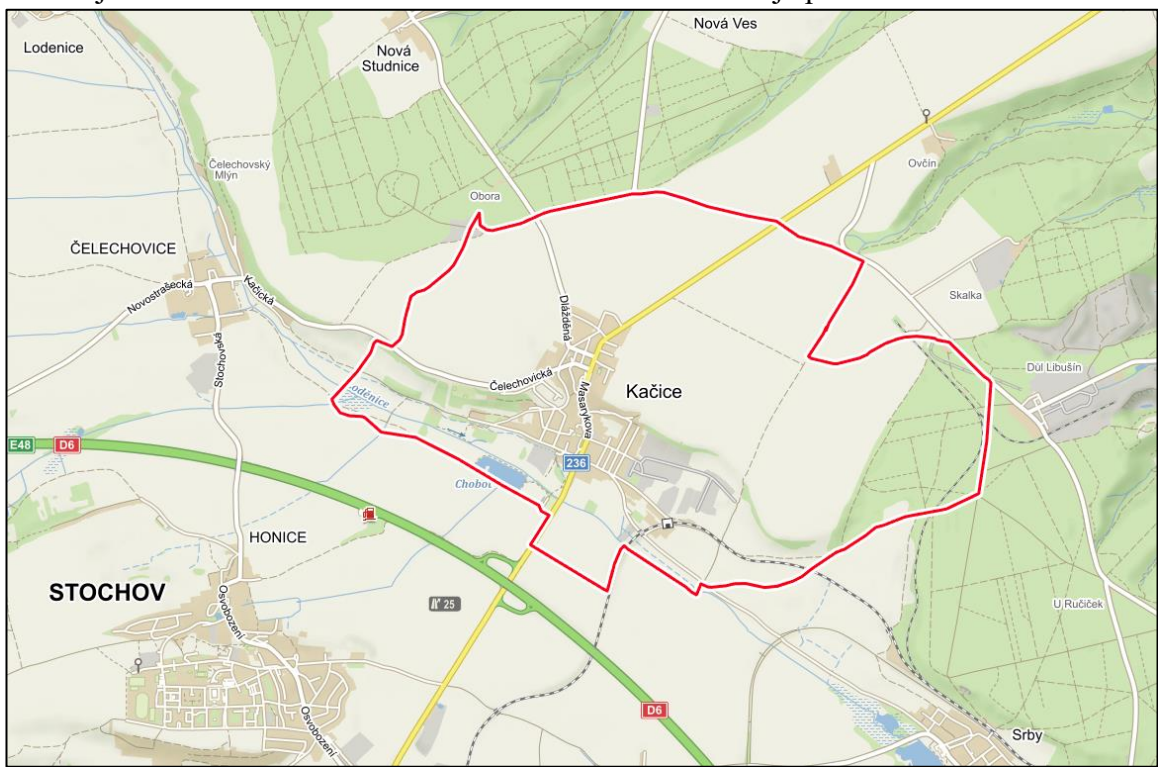


Obrázek 29. Řešená lokalita [28,29]

3.1.1 Obec Kačice

Obec Kačice se rozkládá západně od města Kladna a jižně od města Smečna ve Středočeském kraji (Obrázek 30). Celková rozloha území je 6,41 km².

V obci je rozvinuté hlavně zemědělství. Většinu obce zabírají pole.



Obrázek 30. Poloha obce Kačice [30]

Občanská vybavenost

V obci se nachází pouze základní občanská vybavenost (Tabulka 9). Za dalšími službami obyvatelé dojedí do města Kladna, nebo do Slaného.

Tabulka 9 Technická vybavenost obce Kačice [31]

Technická vybavenost	ANO/NE	počet/poznámky
Pošta	ANO	1
Skládka komunálního odpadu	NE	0
Sběrný dvůr nebezpečných a objemných odpadů	ANO	1
Hasičský záchranný sbor	NE	Smečno
Městská policie	NE	Stochov
Prodejna potravin	ANO	2
Hospoda/restaurace	ANO	1
Mateřská škola	ANO	1
Základní škola	ANO	1
Zdravotní středisko	ANO	1
Dům s pečovatelskou službou	ANO	1
Veřejná knihovna	ANO	1

Zdroj stránky obce

V budově obecního úřadu se nachází pošta. V severní části obce se nachází prodejna se sortimentem základních potravin a smíšeného zboží. [31]

Školství

V Kačici se nachází mateřská a základní škola. V mateřské škole je kapacita 46 míst, škola je jen od 1. – 5. třídy.

Základní škola i školka mají vlastní jídelnu a kuchyň.

Zdravotní a sociální péče

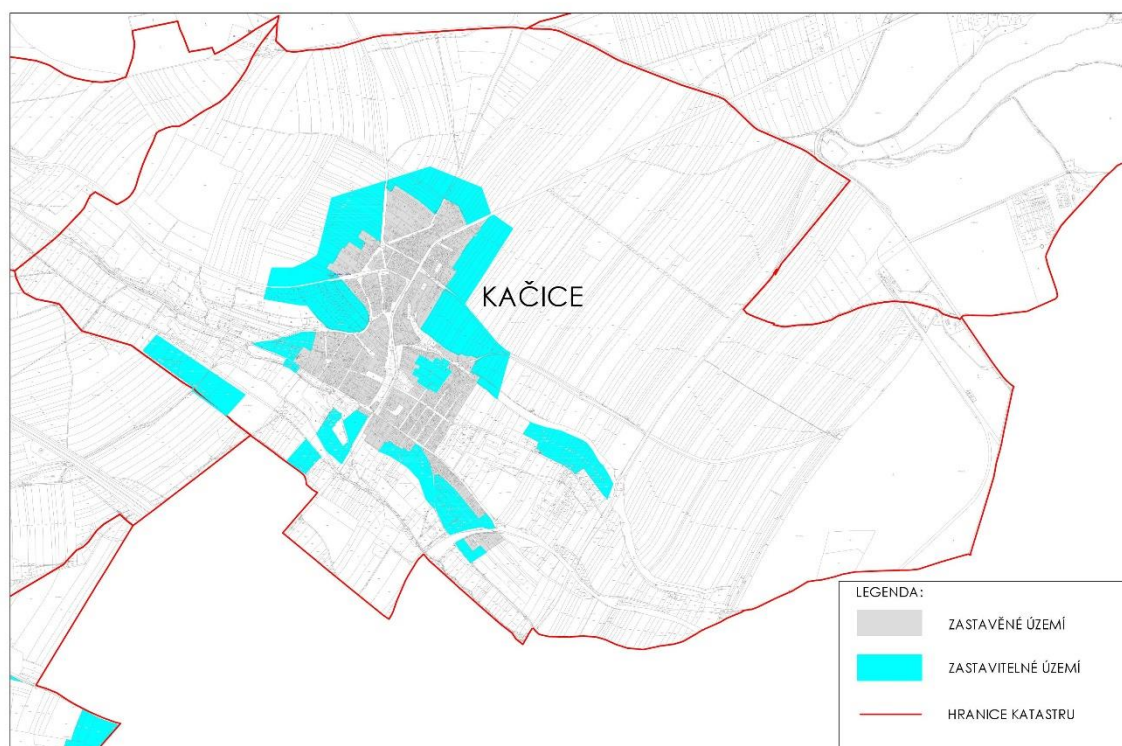
V obci se nachází praktický lékař.

Územní plán a rozvoj

Územní plán obce Kačice byl schválen v roce 2019. Cílem územního plánu je stanovit podmínky pro účelné využívání zastavěného území a zajistit ochranu nezastavěného území. Územním plánem jsou vytvořeny podmínky pro rozvoj bydlení, pro rozvoj občanské a technické vybavenosti včetně alternativních energetických zdrojů a pro rozvoj formy výroby.

Možné uspořádání zastavitelné plochy stavebními objekty jsou rodinné domy všech typů. Parcely individuálních rodinných domů nesmí být menší než 750 m².

Z územního plánu z roku 2017 činí možná nově zastavitelná plocha 448858 m² (Obrázek 31). Velikost parcely zaokrouhlíme na 1000 m² dostaneme 448 nových parcel určených k bydlení. [31]

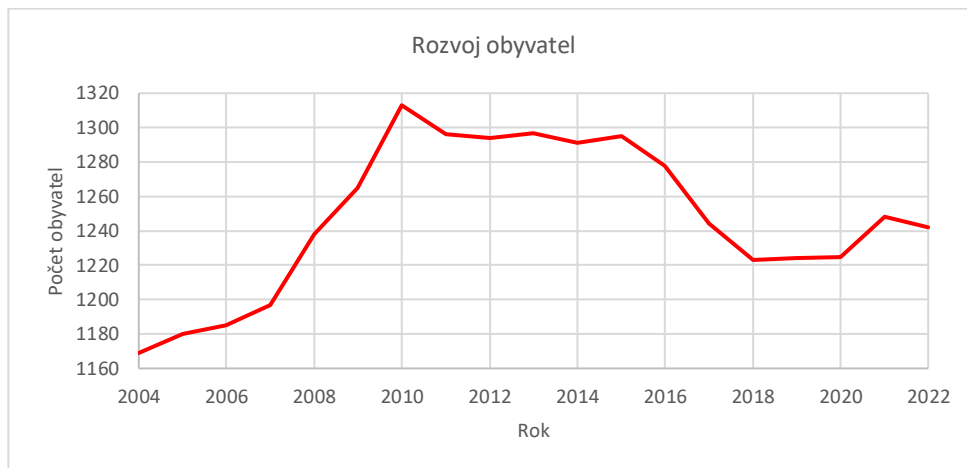


Obrázek 31. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2019 [31]

Rozvoj obyvatelstva

Oblast je pro rozvoj obyvatel příznivá. V oblasti je vysoká zalesněnost a není tu aktivní průmysl. Výhodou lokality je i vzdálenost od města Kladna, případně od Prahy či Slaného. Na obrázku (Obrázek 32) vidíme vývoj počtu obyvatel od roku 2004.

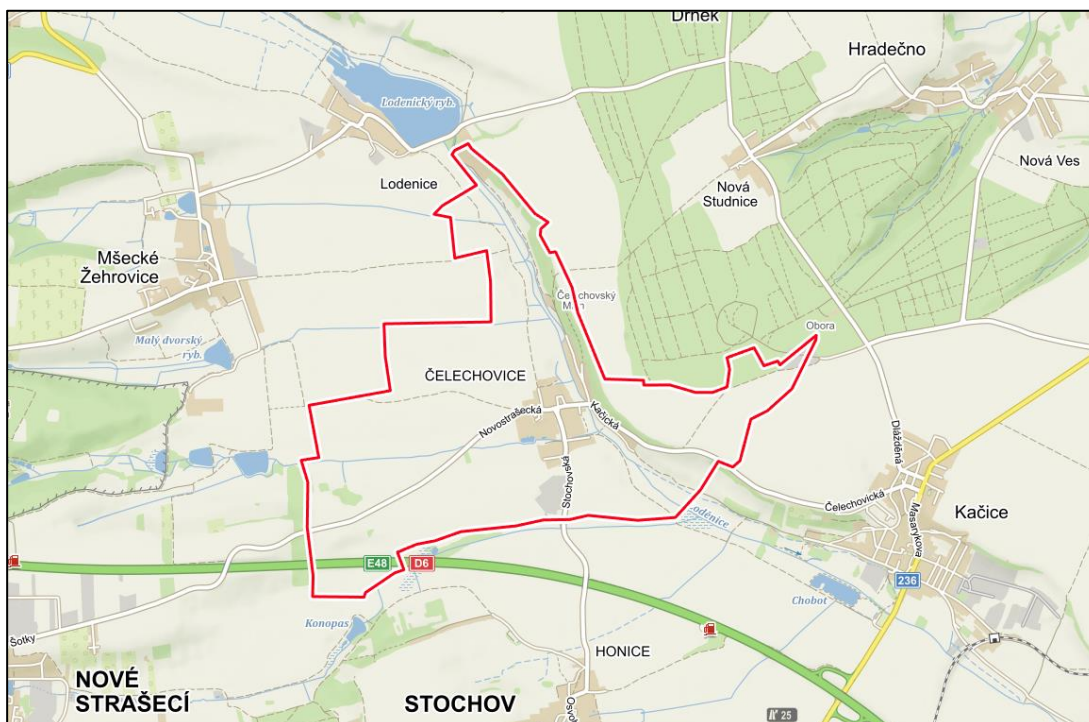
Dle územního plánu je možné navýšit počet obyvatel o 100 %. Ze stávajících 1242 na 2588 obyvatel za předpokladu že stavební parcela má 1000 m² a na jednu parcelu připadnou 3 osoby.



Obrázek 32. Rozvoj obyvatelstva 2004-2022 [32]

3.1.2 Obec Čelechovice

Obec Čelechovice se nachází v okrese Kladno ve Středočeském kraji (Obrázek 33). Má rozlohu kolem 3,84 km². Čelechovice jsou částí města Stochova. V roce 2011 zde trvale žilo 329 obyvatel. [33]



Obrázek 33. Poloha obce Čelechovice [34]

Vybavenost a služby

V obci se nachází pouze jedna hospoda. V obci jiné služby nenalezneme. [33]

Školství

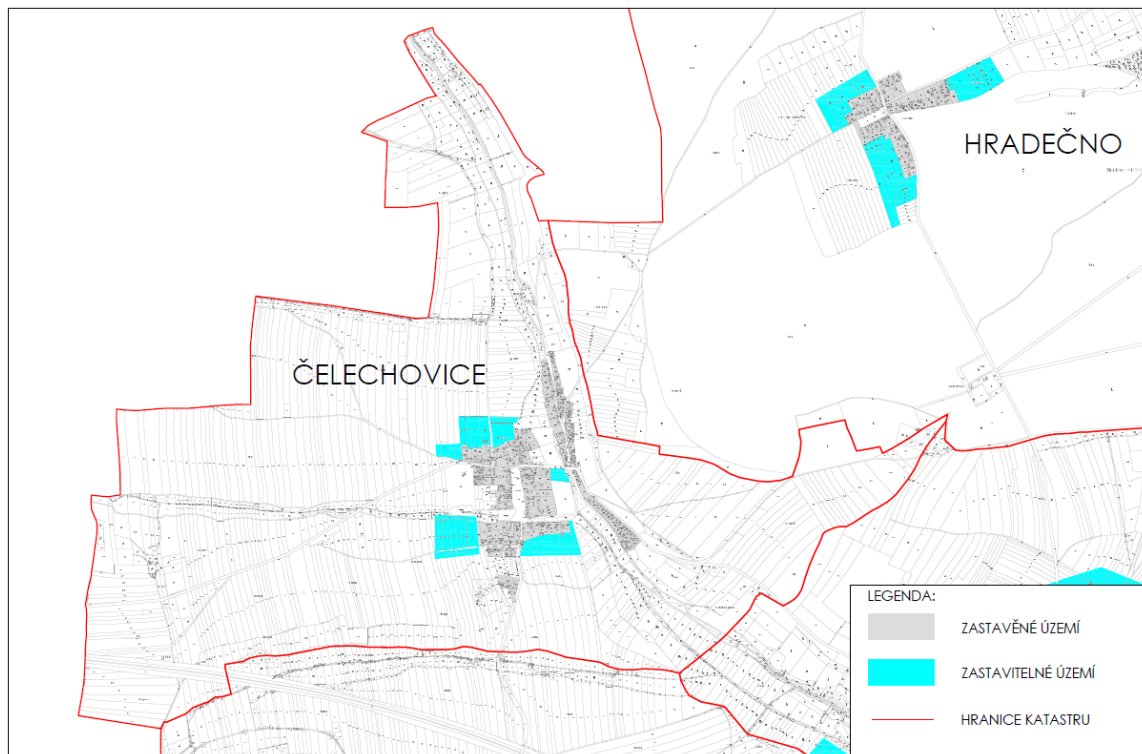
Škola v obci není. Je nutné dojíždět do Stochova. [33]

Zdravotní a sociální péče

V obci nepůsobí praktický, ani dětský lékař. Za zdravotní péči je třeba dojíždět do okolních obcí. [33]

Územní plán a rozvoj

Územní plán z roku 2011 pro město Stochov vymezuje nově zastavitelné plochy pro bydlení v rozsahu přibližně 71319 m². (Obrázek 34). [33]



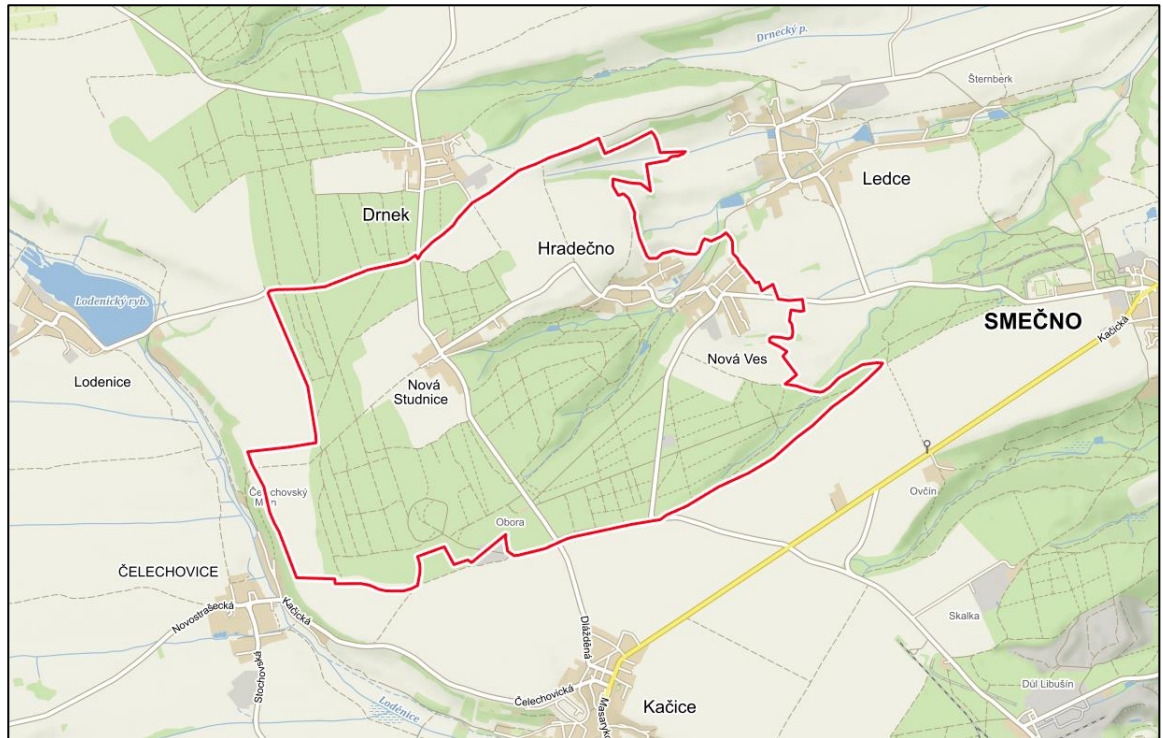
Obrázek 34. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2011 [33]

Rozvoj obyvatelstva

Když rozdělíme vymezenou zastavitelnou plochu z územního plánu na parcely o 1000 m² získáme přibližně 71 parcel. Za předpokladu, že na jedné parcele bude rodinný dům s 3 obyvateli, můžeme získat až 214 nových obyvatel. Tedy celkem se současným počtem obyvatel se očekává budoucí počet obyvatel 543. [33]

3.1.3 Obec Hradečno

Obec Hradečno se nachází v okrese Kladno ve Středočeském kraji a je vzdálená asi deset kilometrů severozápadně od města Kladna (Obrázek 35). Dělí se na tři části – Hradečno, Nová Ves a Nová Studnice. [35]



Obrázek 35. Poloha obce Hradečno [36]

Vybavenost a služby

V obci se nachází pouze malý obchod se smíšeným zbožím a pohostinství viz Tabulka 10. [35]

Tabulka 10. Technická vybavenost obce Hradečno [35]

Technická vybavenost	ANO/NE	počet/poznámky
Pošta	NE	0
Skládka komunálního odpadu	NE	0
Sběrný dvůr nebezpečných a objemných odpadů	NE	0
Hasičský záchranný sbor	NE	0
Městská policie	NE	0
Prodejna potravin	ANO	1
Hospoda/restaurace	ANO	1
Mateřská škola	NE	Smečno
Základní škola	NE	Smečno
Zdravotní středisko	NE	Smečno
Dům s pečovatelskou službou	NE	0
Veřejná knihovna	NE	0

Školství

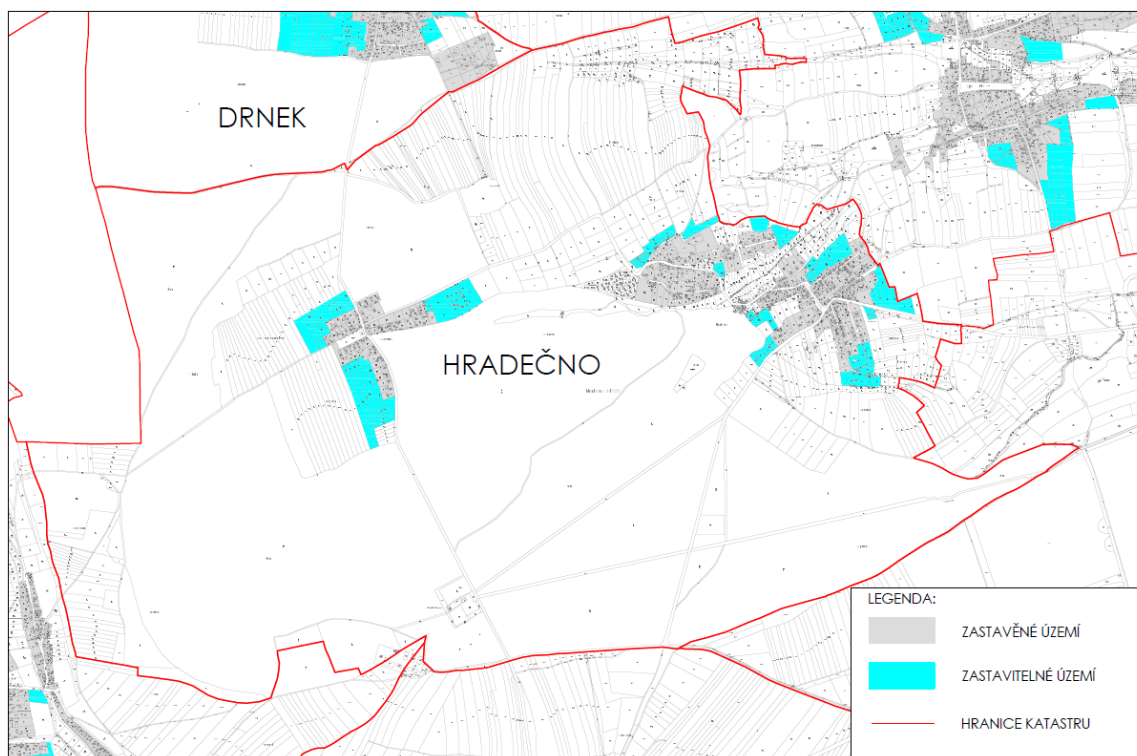
Škola v obci není. Je nutné dojíždět do okolních obcí. Nejbližší do Smečna [35]

Zdravotní a sociální péče

V obci nepůsobí praktický, ani dětský lékař. Za zdravotní péčí je třeba dojíždět do okolních obcí. [35]

Územní plán a rozvoj města

Zastavitelné plochy vymezené stávajícím územním plánem z roku 2017 jsou z hlediska rozsahu dostačující. Územní plán vymezuje zastavitelné plochy pro bydlení a plochy smíšené obytné v rozsahu přibližně 165250 m² (Obrázek 36). [35]

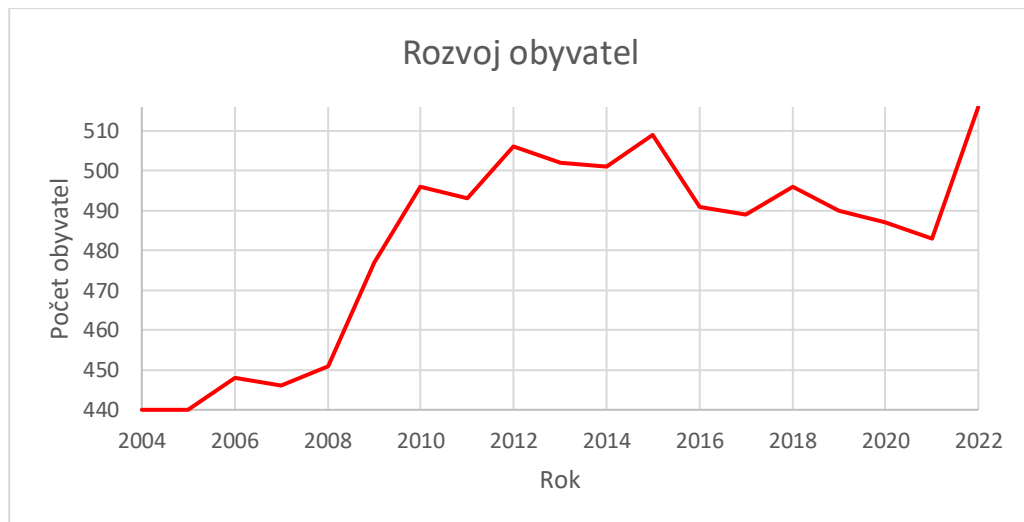


Obrázek 36. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2017 [35]

Rozvoj obyvatelstva

Když rozdělíme vymezenou zastavitelnou plochu u územního plánu na parcely o 1000 m² získáme přibližně 165 parcel. Za předpokladu, že na jedné parcele bude rodinný dům s 3 obyvateli, můžeme získat až 495 nových obyvatel.

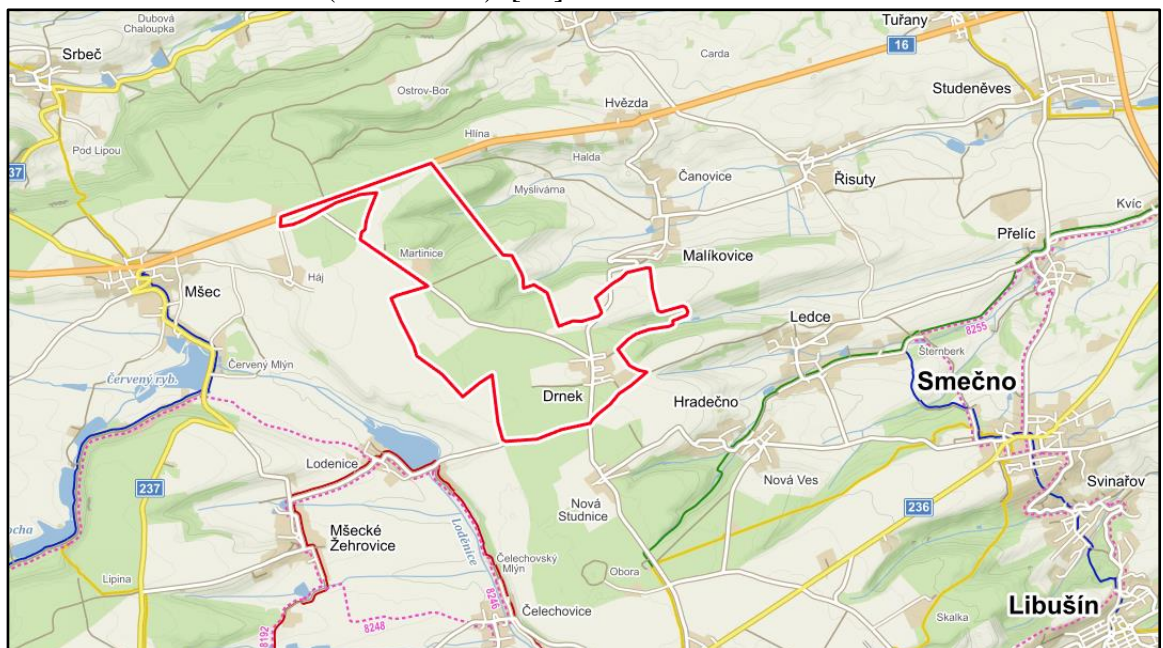
Na Obrázek 37 je vývoj počtu obyvatel v obci od roku 2004. [35]



Obrázek 37. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [37]

3.1.4 Obec Drnek

Obec Drnek se nachází v okrese Kladno ve Středočeském kraji a je vzdálená asi 9 km východně od města Slaného (Obrázek 38). [38]



Obrázek 38. Poloha obce Drnek [39]

Vybavenost a služby

V obci se nenachází služby. [38]

Školství

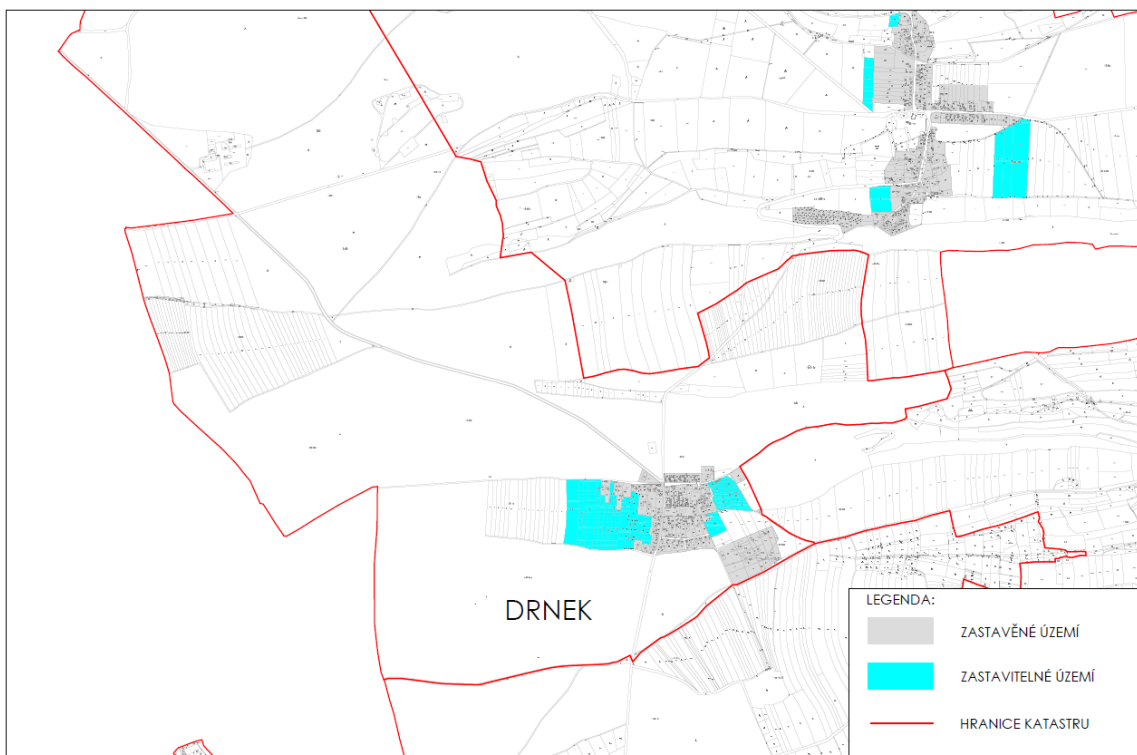
Škola v obci není. Je nutné dojíždět do okolních obcí. Nejbližší do Smečna [38]

Zdravotní a sociální péče

V obci nepůsobí praktický, ani dětský lékař. Za zdravotní péčí je třeba dojíždět do okolních obcí. [38]

Územní plán a rozvoj města

Zastavitelné plochy vymezené stávajícím územním plánem z roku 2006 jsou z hlediska rozsahu dostačující. Územní plán vymezuje zastavitelné plochy pro bydlení a plochy smíšené obytné v rozsahu přibližně 94 086 m² (Obrázek 39)

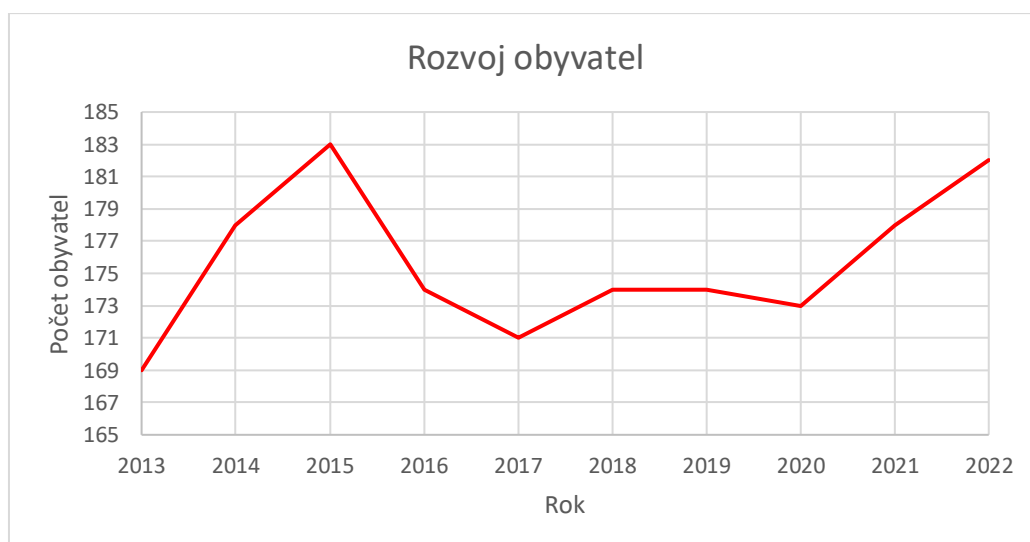


Obrázek 39. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2006 [38]

Rozvoj obyvatelstva

Když rozdělíme vymezenou zastavitelnou plochu u územního plánu na parcely o 1000 m² získáme přibližně 94 parcel. Za předpokladu, že na jedné parcele bude rodinný dům s 3 obyvateli, můžeme získat až 282 nových obyvatel.

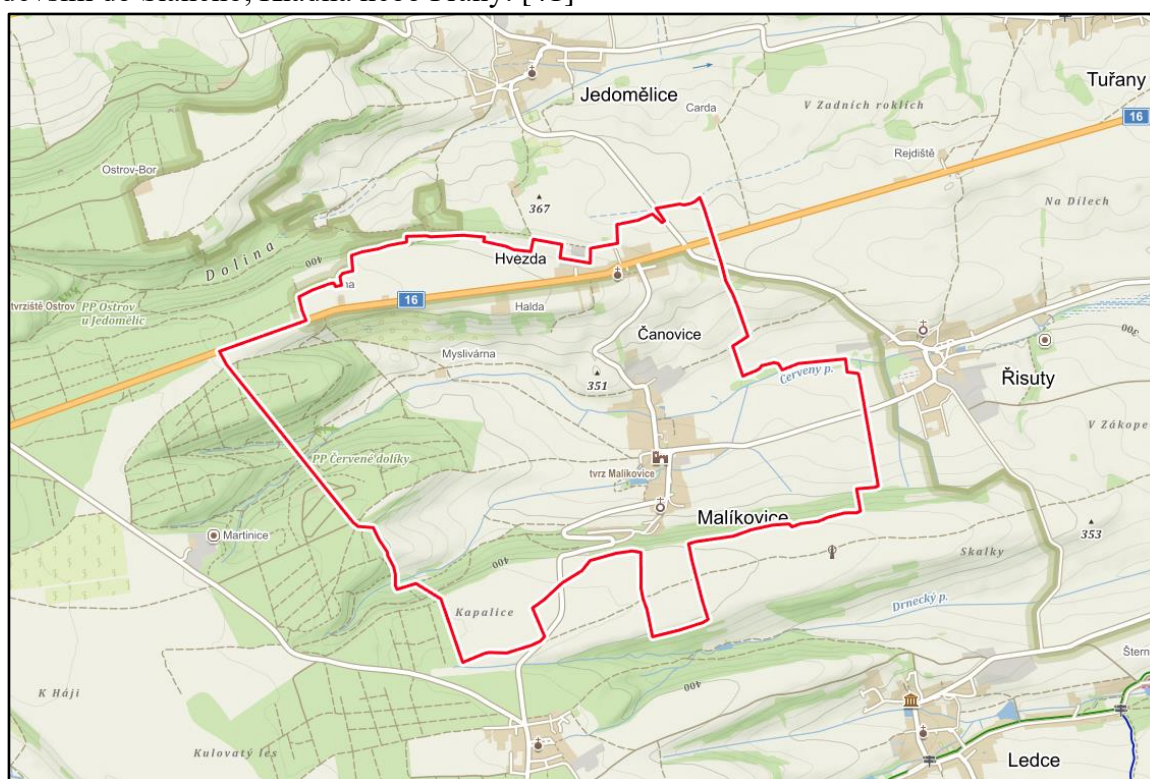
Na Obrázek 40 je vývoj počtu obyvatel v obci od roku 2013. [40]



Obrázek 40. Rozvoj obyvatelstva od roku 2013-2022 [40]

3.1.5 Obec Malíkovice

Obec se rozkládá v severozápadní části okresu Kladno mezi obcemi Drnek a Řisuty – cca 7 km západně od města Slaný (Obrázek 41). obec se dělí na 3 části – Malíkovice, Čanovice a Hvezda. Zemědělské družstvo bylo v obci po roce 1989 zrušeno. Pracovní příležitosti pro obyvatele obce nejsou prakticky žádné, občané proto musí dojíždět především do Slaného, Kladna nebo Prahy. [41]



Obrázek 41. Poloha obce Malíkovice [42]

Vybavenost a služby

V obci se nachází hospoda, obchod s potravinami. [41]

Školství

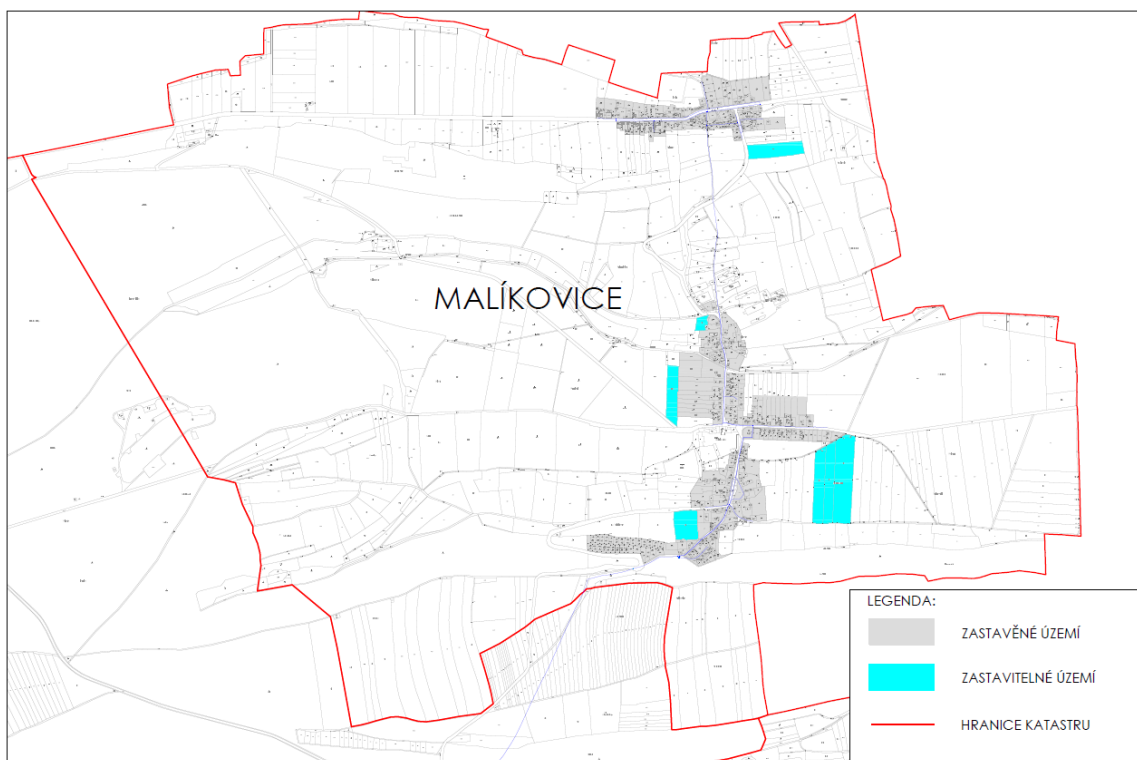
Škola v obci není. Do základní školy dojíždějí děti do města Slaného, Tuřan nebo Kačice. Do mateřské školy do Řisut a do Jedomělic. [41]

Zdravotní a sociální péče

V obci nepůsobí praktický, ani dětský lékař. Lékařskou péči zajišťují lékaři ve Slaném. [41]

Územní plán a rozvoj města

Územní plán vymezuje zastavitelné plochy pro bydlení a plochy smíšené obytné v rozsahu přibližně 60 129 m² (Obrázek 42). [41]

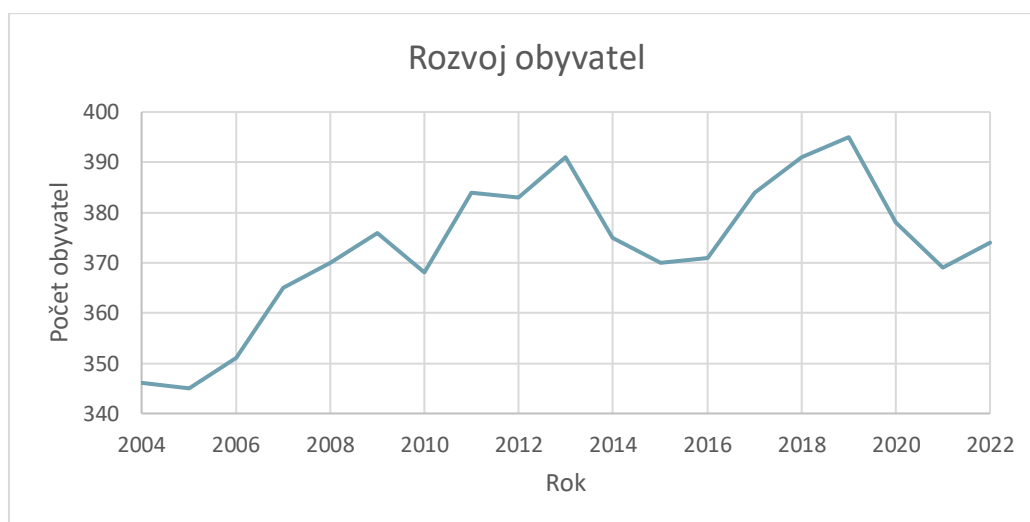


Obrázek 42. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2020 [41]

Rozvoj obyvatelstva

Když rozdělíme vymezenou zastavitelnou plochu u územního plánu na parcely o 1000 m² získáme přibližně 60 parcel. Za předpokladu, že na jedné parcele bude rodinný dům s 3 obyvateli, můžeme získat až 180 nových obyvatel.

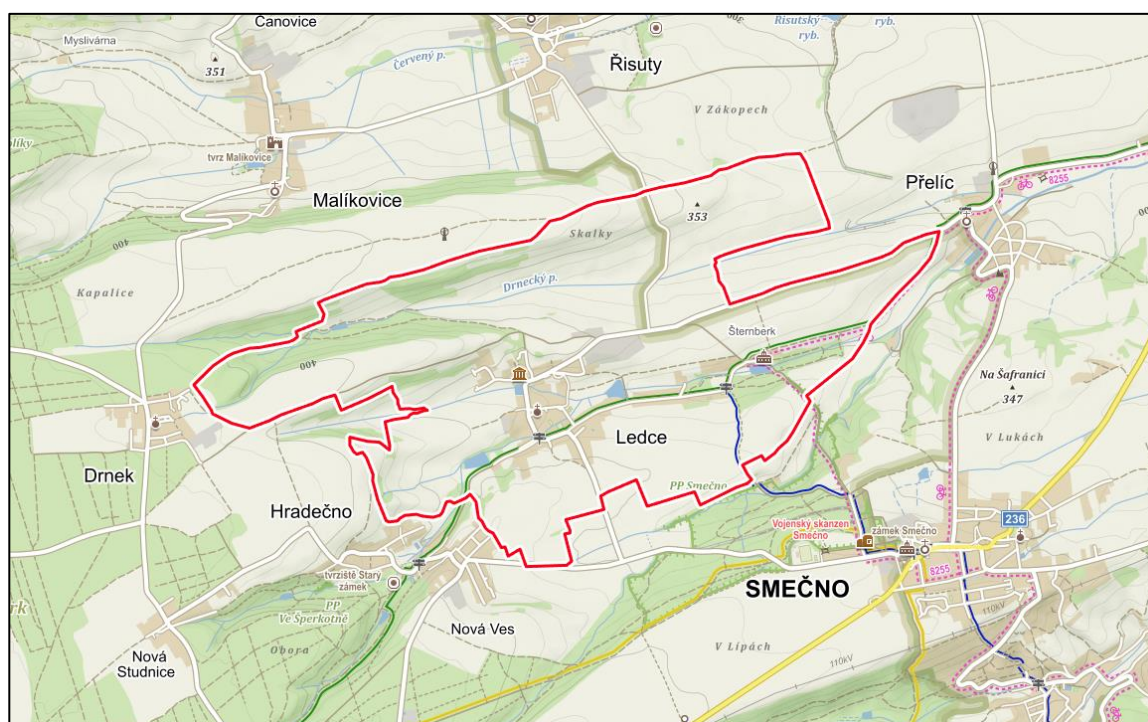
Na Obrázek 43 je vývoj počtu obyvatel v obci od roku 2004.



Obrázek 43. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [43]

3.1.6 Obec Ledce

Obec se nachází v okrese Kladno ve Středočeském kraji. (Obrázek 44)[44]



Obrázek 44. Poloha obce Ledce [45]

Vybavenost a služby

V obci se nachází dvě hospody. [44]

Školství

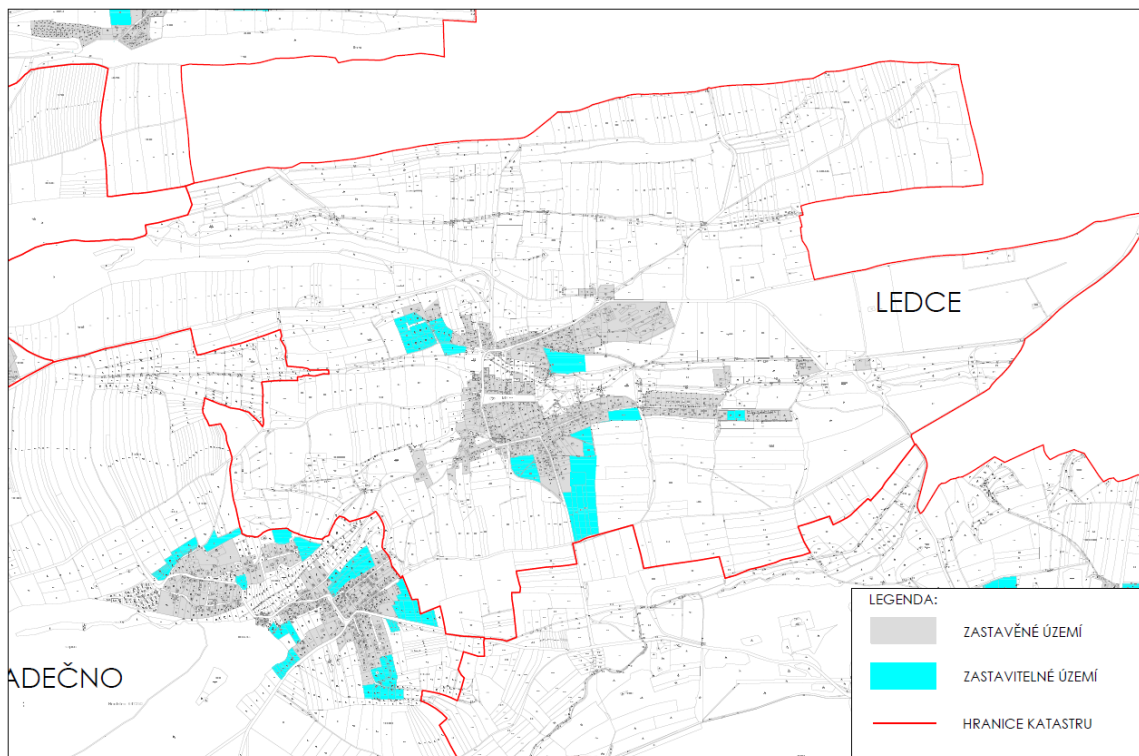
Nachází se zde mateřská škola, základní škola a dětský domov. [44]

Zdravotní a sociální péče

V obci nepůsobí praktický, ani dětský lékař. Lékařskou péči zajišťují lékaři ve Slaném. [44]

Územní plán a rozvoj města

Územní plán vymezuje zastavitelné plochy pro bydlení a plochy smíšené obytné v rozsahu přibližně 84 020 m² (Obrázek 45). [44]

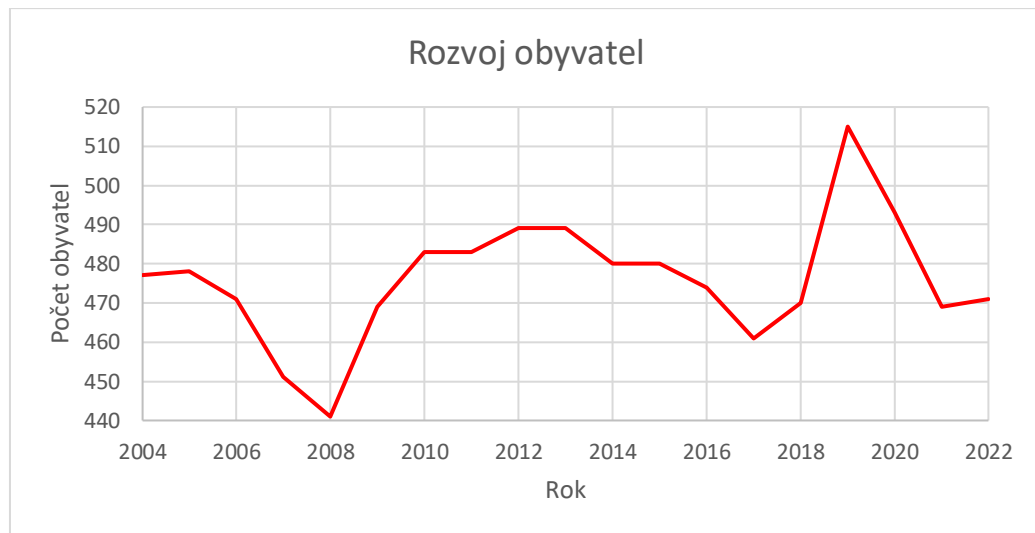


Obrázek 45. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2020 [44]

Rozvoj obyvatelstva

Když rozdělíme vymezenou zastavitelnou plochu u územního plánu na parcely o 1000 m² získáme přibližně 84 parcel. Za předpokladu, že na jedné parcele bude rodinný dům s 3 obyvateli, můžeme získat až 252 nových obyvatel.

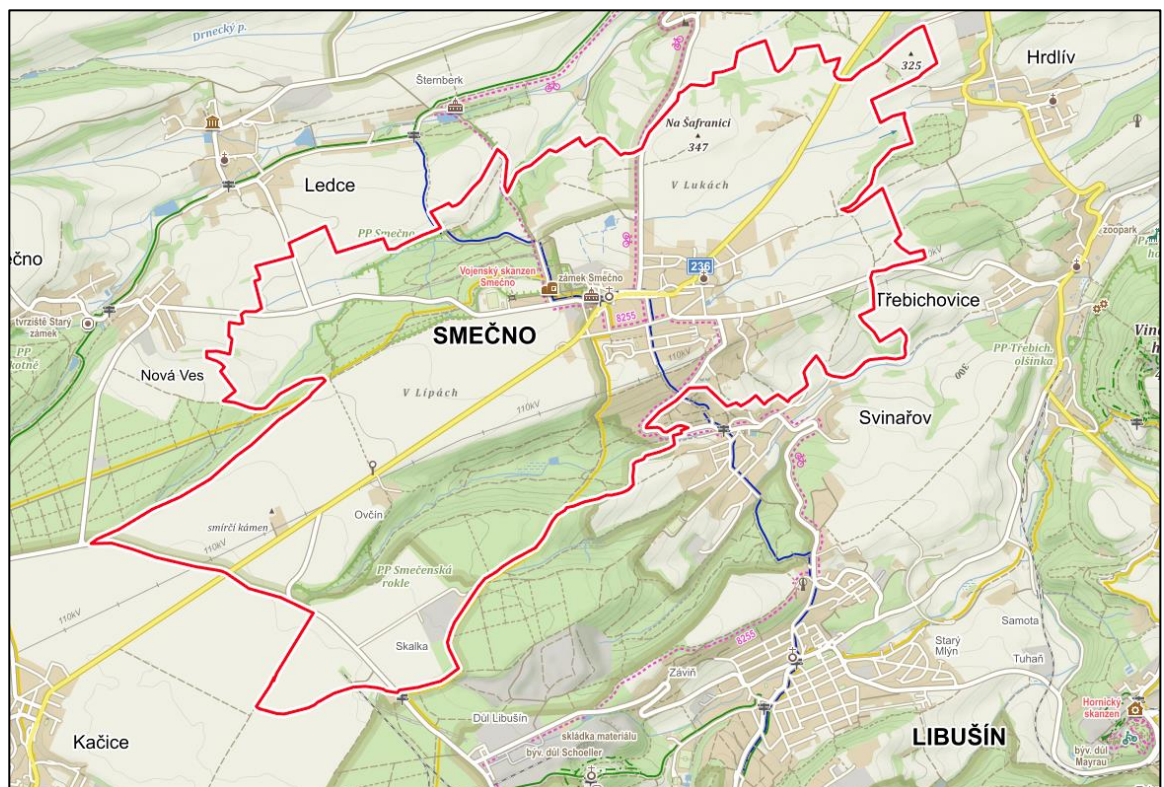
Na Obrázek 46 je vývoj počtu obyvatel v obci od roku 2004. [46]



Obrázek 46. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [46]

3.1.7 Město Smečno

Smečno je město ve Středočeském kraji v okrese Kladno. Rozloha je přibližně 9,59 km². V obci se nachází základní občanská vybavenost. (Obrázek 47) [47]



Obrázek 47. Poloha města Smečno [48]

Vybavenost a služby

Ve městě je základní občanská vybavenost. Nachází se zde sbor dobrovolných hasičů, městská policie, hospody i školy viz Tabulka 11.

Tabulka 11. Technická vybavenost města Smečno [47]

Technická vybavenost	ANO/NE	počet/poznámky
Pošta	ANO	1
Skládka komunálního odpadu	NE	0
Sběrný dvůr nebezpečných a objemných odpadů	ANO	1
Hasičský záchranný sbor	ANO	1
Městská policie	ANO	1
Prodejna potravin	ANO	1
Hospoda/restaurace	ANO	2
Mateřská škola	ANO	1
Základní škola	ANO	1
Zdravotní středisko	NE	praktický lékař
Dům s pečovatelskou službou	ANO	1
Veřejná knihovna	ANO	1

Školství

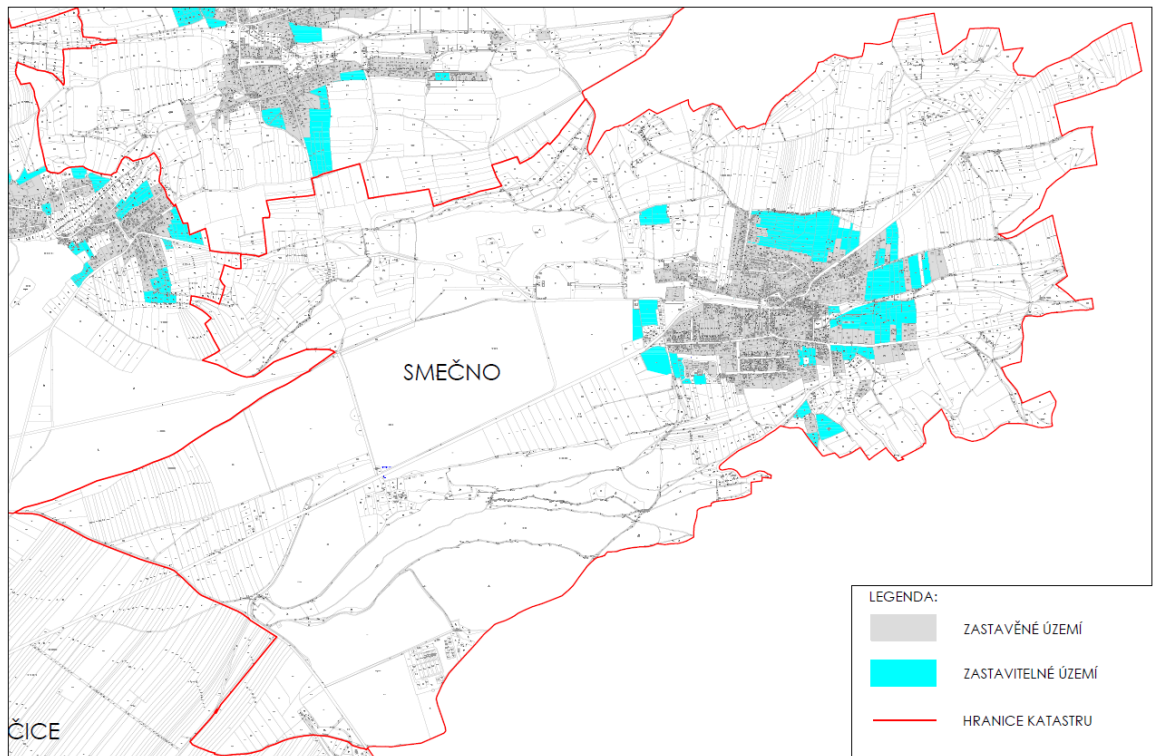
Nachází se zde mateřská škola a základní škola, do kterých dojíždějí děti i z okolních obcí. V mateřské škole je 97 dětí. Stravování je zajištěné v místní školní výdejně, kde se i vaří. [49] V základní škole je zapsáno 286 žáků z maximálního počtu 400. [50]

Zdravotní a sociální péče

V obci působí praktický lékař. Ve městě je i dům s pečovatelskou službou, který nabízí péči o seniory od 60 let. Kapacita pečovatelského domu je 133 lůžek. Strava je do domova dovážena. [51]

Územní plán a rozvoj města

Územní plán vymezuje zastavitelné plochy pro bydlení a plochy smíšené obytné v rozsahu přibližně 231 717 m² (Obrázek 48). [47]

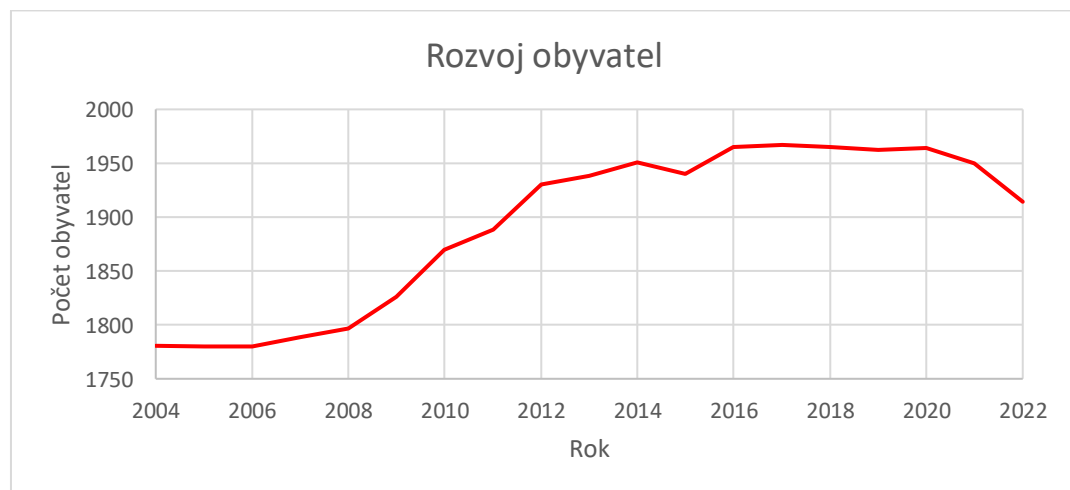


Obrázek 48. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2021 [47]

Rozvoj obyvatelstva

Když rozdělíme vymezenou zastavitelnou plochu územního plánu na parcely o 1000 m² získáme přibližně 251 parcel. Za předpokladu, že na jedné parcele bude rodinný dům s 3 obyvateli, můžeme získat až 752 nových obyvatel.

Na Obrázek 49 je vývoj počtu obyvatel v obci od roku 2004.



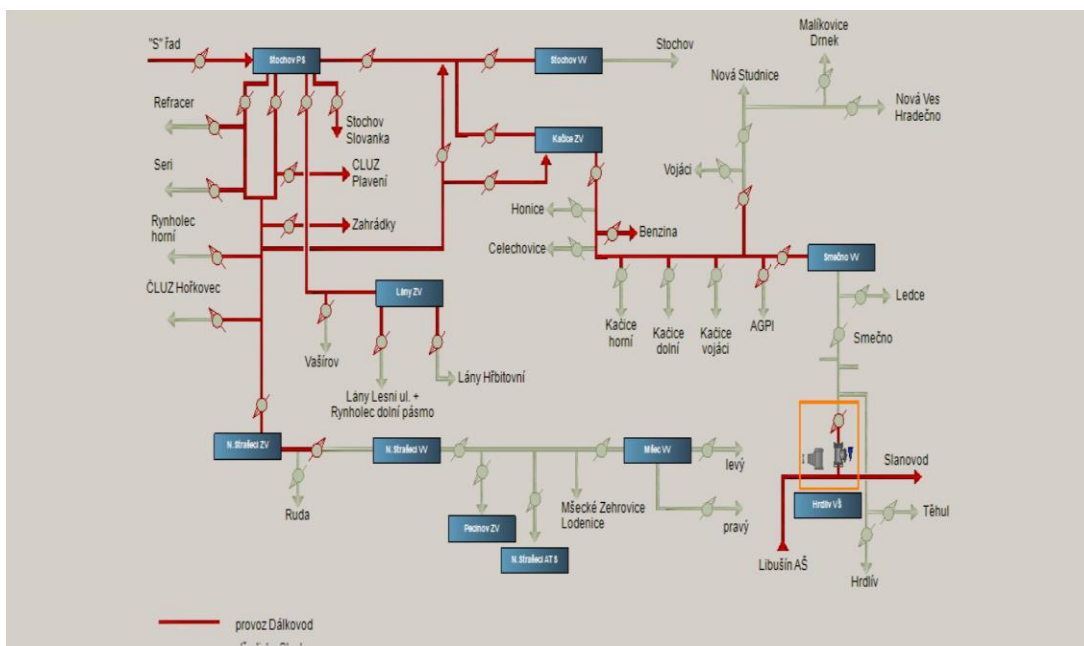
Obrázek 49. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [52]

3.2 Zásobování vodou

Majitelem vodovodních řadů a vodárenské infrastruktury je společnost Vodárny Kladno – Mělník, a.s. (VKM) provozovatelem této infrastruktury jsou Středočeské vodárny, a.s. (SVAS).

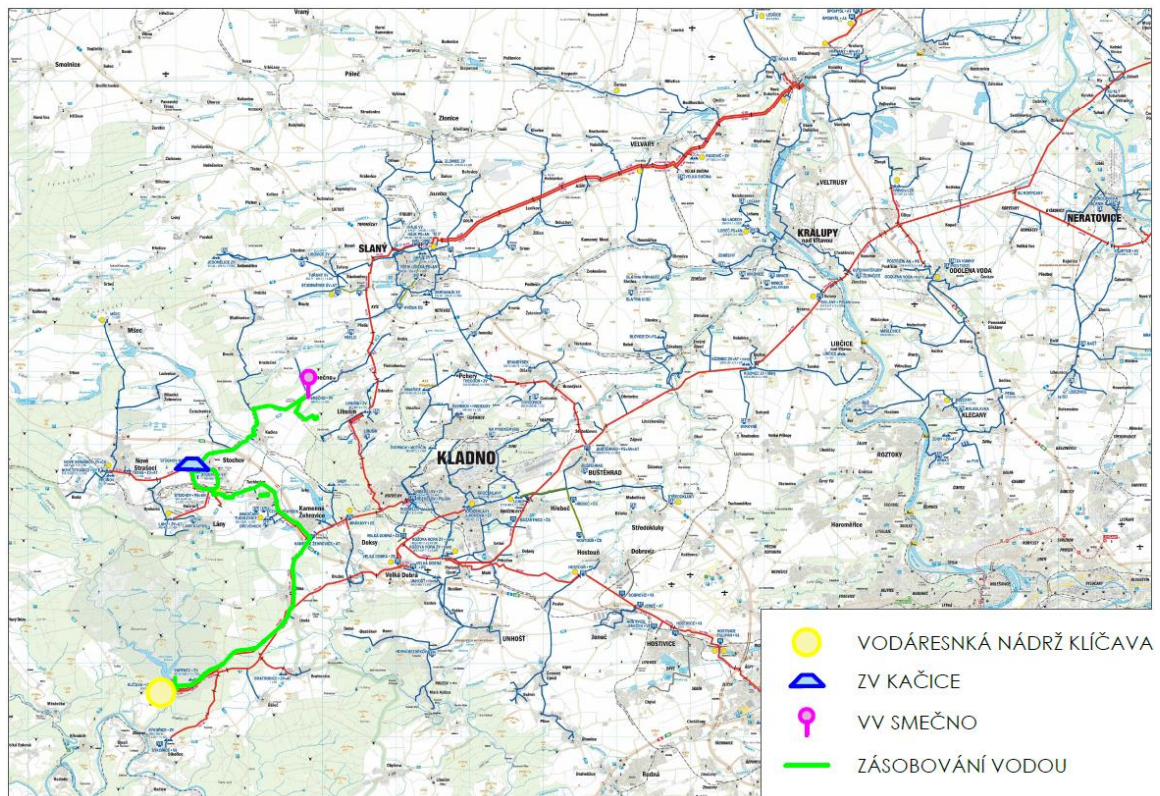
Zásobování pitnou vodou obcí Čelechovic, Kačice, Hradečna, Drnku, Malíkovice, Ledců a Smečna zajišťuje přivaděč mezi zemním vodojemem (ZV) Kačice (Stochov) a věžovým vodojemem (VV) Smečno. Obce Čelechovice, Kačice a Hradečno jsou zásobeny přímo z přivaděče spolu s odběrem na farmu OVUS s.r.o. Rozvodná síť z Hradečna následně zásobuje vodou obec Malíkovice a Drnek. V obci Drnek VKM nevlastní vodovodní řady a vodu zde předává v předávacím bodě. Dále je zde odběr z přivaděče pro čerpací stanici.

Obec Ledce a město Smečno jsou zásobeny přímo z VV Smečno. Část vody z VV Smečno protéká městem Smečno do armaturní šachty (AŠ) Hrdlív odkud se voda distribuuje do obce Hrdlív, do ZV Libušín a do Slaného (tzv. slanovodu). Město Slaný má vlastní vodovodní infrastrukturu a provoz, voda je zde pouze předávána. Na Obrázek 50 je schéma zásobování vodou řešené lokality. Červená barva znázorňuje přivaděče (majetek ve správě dálkovodu), šedivá jsou jednotlivé spotřebiště (majetek ve správě provozu spotřebiště).



Obrázek 50. Schéma zásobování vodou lokality

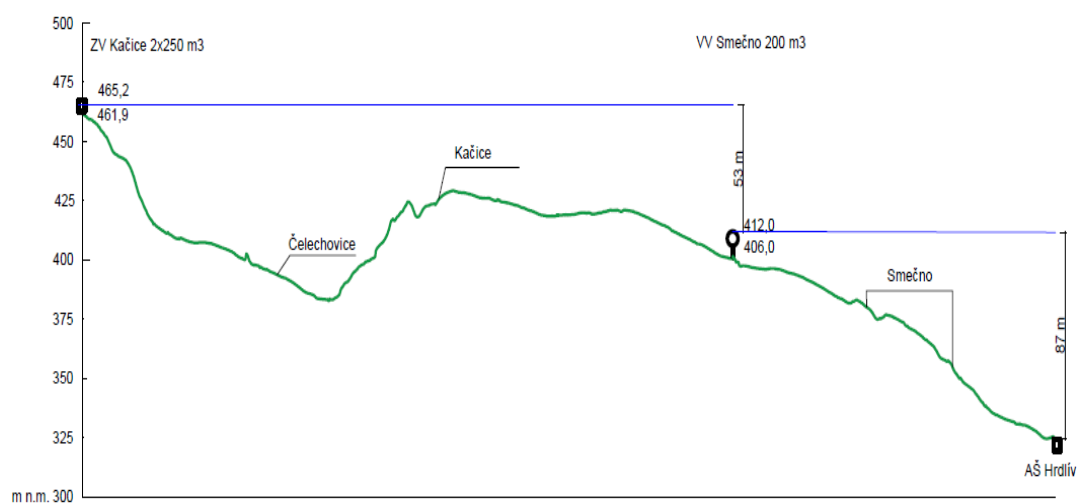
Zdrojem surové vody pro oblast je vodárenská nádrž Klíčava. (Obrázek 51) Z úpravny vody Klíčava voda teče do ZV Vápenec. Dále do Kamenných Žehrovice, kde je vodovod směrem na Kladno uzavřen a voda teče na sever do zemního vodojemu Stochov – Kačice. Ze ZV Stochov – Kačice voda pokračuje přes obec Kačice do věžového vodojemu Smečno. Odtud voda teče dál na sever k AŠ Hrdlív, kde dojde k rozdělení potrubí směrem do obce Hrdlív, na sever na město Slaný a na jih na město Libušín.



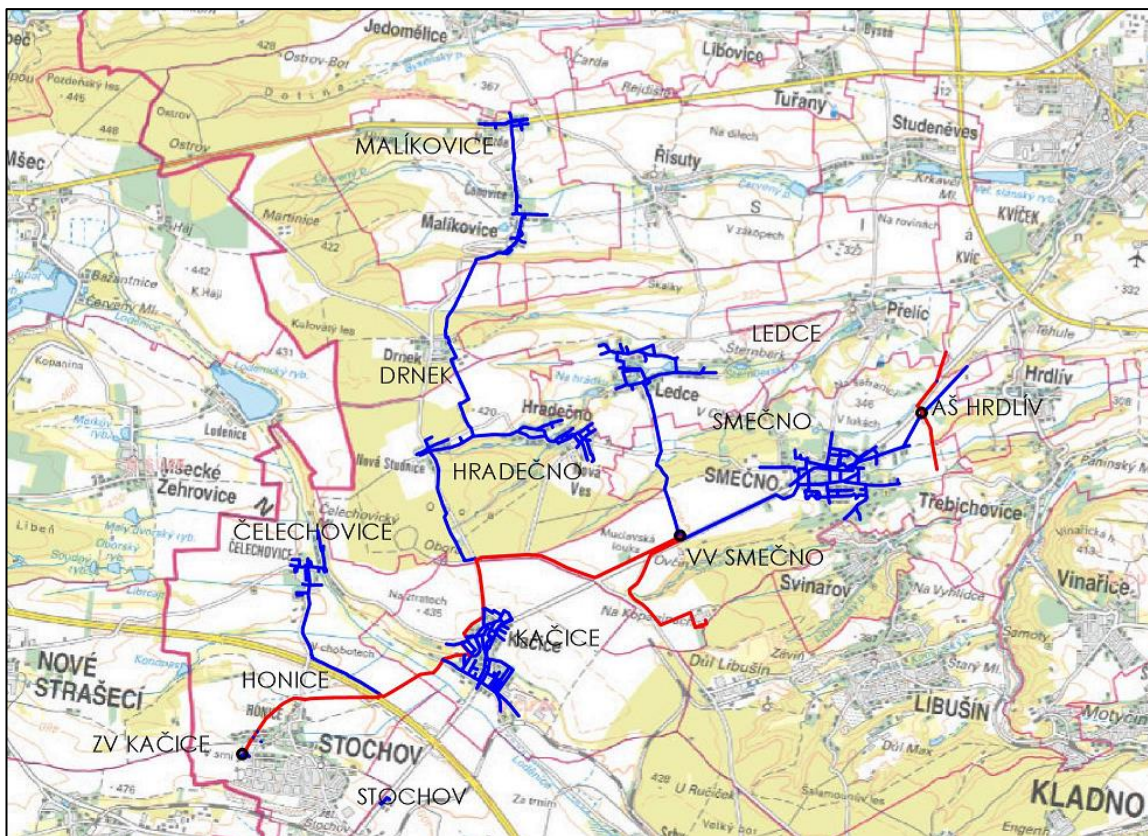
Obrázek 51. Zásobování vodou soustavy vodojemů ZV Kačice a VV Smečno

3.2.1 Řešená oblast

Řešen je především přivaděč ZV Kačice – VV Smečno, který je znázorněn červenou barvou v Obrázek 53 a modrou barvou jsou znázorněny spotřebiště. Na Obrázek 52 je podélný profil přivaděče mezi vodojemy a podélný profil řady vedoucí vodu do AŠ Hrdlív. Převýšení mezi vodojemy činí přibližně 53 m. převýšení mezi VV Smečno a AŠ Hrdlív je přibližně 87 m.



Obrázek 52. Podélný profil přivaděče

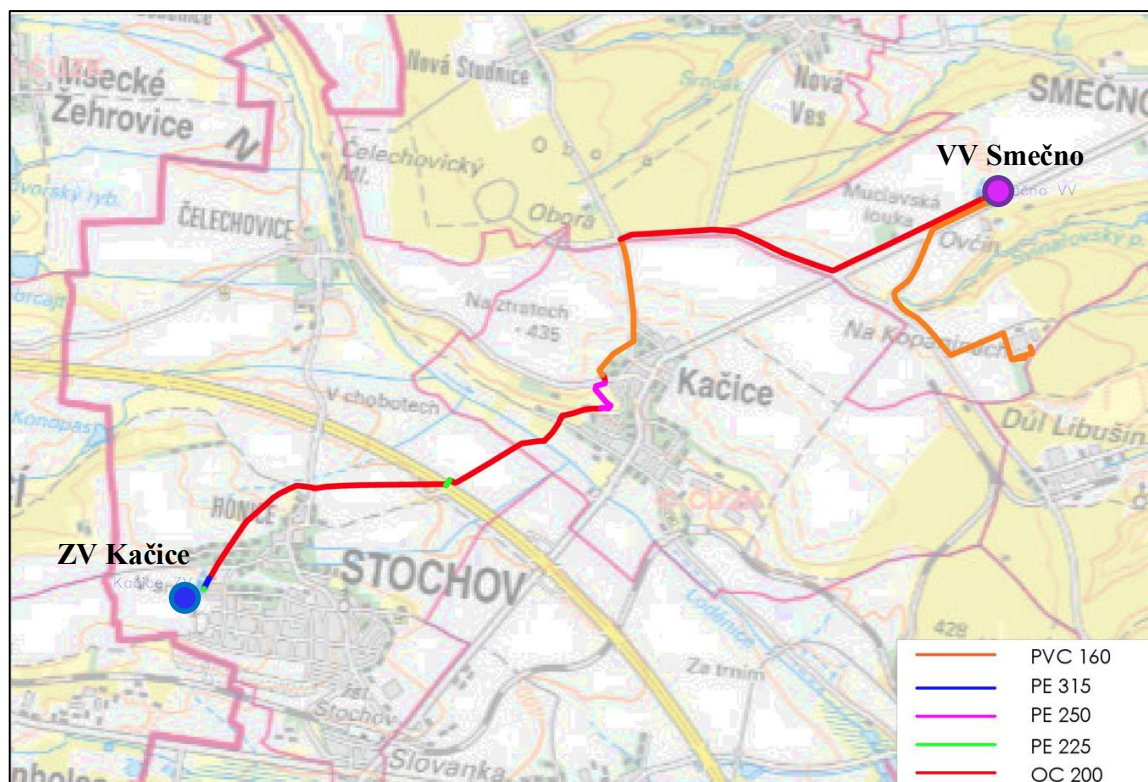


Obrázek 53. Řešená oblast zdroj GIS

Délka přivaděče mezi vodojemy činí přibližně 7365 m. Průřezy potrubí a jejich délky jsou vypsány v Tabulka 12 a vyznačeny v obrázku Obrázek 54.

Tabulka 12. Průřezy a délky potrubí

materiál	DN	m
PE	315	79
PE	250	321
PE	225	45
PVC	160	1059
OC	200	5861
Σ		7365



Obrázek 54. Materiál potrubí přivaděče

Většina obyvatel v řešené lokalitě je napojena na vodovodní řad. Obec Drnek je zásobena vlastními studnami. Voda z řadu je dodávána převážně pro zemědělské družstvo. Vodovodní řady ve spotřebišťích byly vybudovány v 70. letech 20. století. Materiál potrubí je PVC.

Dotazníky

Na začátku roku 2022 došlo k jednání s obcemi v lokalitě buď formou setkání, nebo e-mailovou komunikací. Cílem jednání bylo vyplnit dotazník, který má posloužit jako šablona pro budoucí přísliby připojení k vodovodu nebo navýšení odběru vody. Tázané obce do dotazníku vyplnily údaje o stávajícím a výhledovém stavu. [zdroj VKM]

Hradečno

Další významné odběry vody v katastru obce:

Počet žijících osob v obci koresponduje se započítaným počtem obyvatel

Další zdroje pitné vody (studny, ...) – vydatnost, spolehlivost:

Studny – není dostatečná kvalita vody, množství dostatečné – zásobení vodou nových lokalit

Komentář k rozvoji obce:

Rozvoj obce se neliší od současného ÚP

Rozvojové lokality omezeny kvůli tlakovým poměrům – nutná investice

Smečno

Další významné odběry vody v katastru obce:

Nepředpokládá se

Další zdroje pitné vody (studny, ...) – vydatnost, spolehlivost:

Studny – snížení hladiny spodní vody – zásobení vodou nových lokalit

Komentář k rozvoji obce:

Rozvoj obce se neliší od současného ÚP

Rozvoj v oblasti bydlení nikoli průmyslu, zemědělství nebo služeb

Pečovatelství dům – v daleké budoucnosti navýšení kapacity o cca 50 osob

Rozšíření základní a mateřské školy – očekávaný nárůst – bez konkrétních čísel

Malíkovice

Další významné odběry vody v katastru obce:

Agropenzion 35 osob – stávající

Zahrádkářská osada – přes léto

ZD AGRA – odchovna vepřů – 2000 ks. – vlastní voda?

Další zdroje pitné vody (studny, ...) – vydatnost, spolehlivost:

Studny

Komentář k rozvoji obce:

Rozvoj obce v souladu s ÚP – limitovaný tlakovými poměry vodovodu v městské části Hvězda.

Odběr vody ze studní minimální

Kačice

Další významné odběry vody v katastru obce:

Není počítáno s budoucími významnými odběry

Počet obyvatel žijících se shoduje s počtem obyvatel započtených

Další zdroje pitné vody (studny, ...) – vydatnost, spolehlivost:

Obecní studna – vydatný zdroj, železitá voda

Komentář k rozvoji obce:

Rozvoj obce v souladu s ÚP

ZŠ kapacita 100 žáků

MŠ kapacita 90 dětí

Dům s pečovatelskou péčí 14 osob

AGD Kačice – modernizace farmy – odběr vody z obecní studny. Provoz podmíněn novým vrtem

Čelechovice

<p>Další významné odběry vody v katastru obce: <i>Hospodářské družstvo</i> <i>Počet obyvatel žijících se shoduje s počtem obyvatel započtených</i></p>
<p>Další zdroje pitné vody (studny, ...) – vydatnost, spolehlivost: <i>Studny</i></p>
<p>Komentář k rozvoji obce: <i>Rozvoj obce v souladu s ÚP</i> <i>Není známo o velkých developerských akcí</i> <i>Rozvoj zemědělství a průmyslu se nepředpokládá</i></p>

Drnek

<p>Další významné odběry vody v katastru obce: <i>Odběr AGRO Řisuty, s.r.o – chov vepřů, po roce 2018 nejspíš napojeni na vodovod.</i></p>
<p>Další zdroje pitné vody (studny, ...) – vydatnost, spolehlivost: <i>Zásobení z obecní studny – po suchém období v roce 2018 zaklesla voda natolik že obec začala odebírat vodu z vodovodu a chce na ni plně přejít</i></p>
<p>Komentář k rozvoji obce: <i>Rozvoj obce v souladu s ÚP – odhad postavení 15 nových rodinných domů. V ÚP se uvažuje nízkopodlažní stavení.</i> <i>V obci se neplánuje rozvoj služeb, MŠ, ZŠ</i> <i>Počet obyvatel žijících souhlasí s počtem obyvatel sečtených.</i></p>

Ledce u Kladna

<p>Další významné odběry vody v katastru obce: <i>Penzion – 30 osob</i> <i>Ve výhledu otevření MŠ pro 25 dětí</i> <i>Dětský domov – stálý počet klientů – 50 dětí</i></p>
<p>Další zdroje pitné vody (studny, ...) – vydatnost, spolehlivost: <i>Studny – doplňkový zdroj vody</i></p>
<p>Komentář k rozvoji obce: <i>Rozvoj obce v souladu s ÚP – odhad postavení 15 nových rodinných domů. V ÚP se uvažuje nízkopodlažní stavení.</i> <i>V obci se neplánuje rozvoj služeb, MŠ, ZŠ</i> <i>Počet obyvatel žijících souhlasí s počtem obyvatel sečtených.</i></p>

Prvky vodárenské infrastruktury

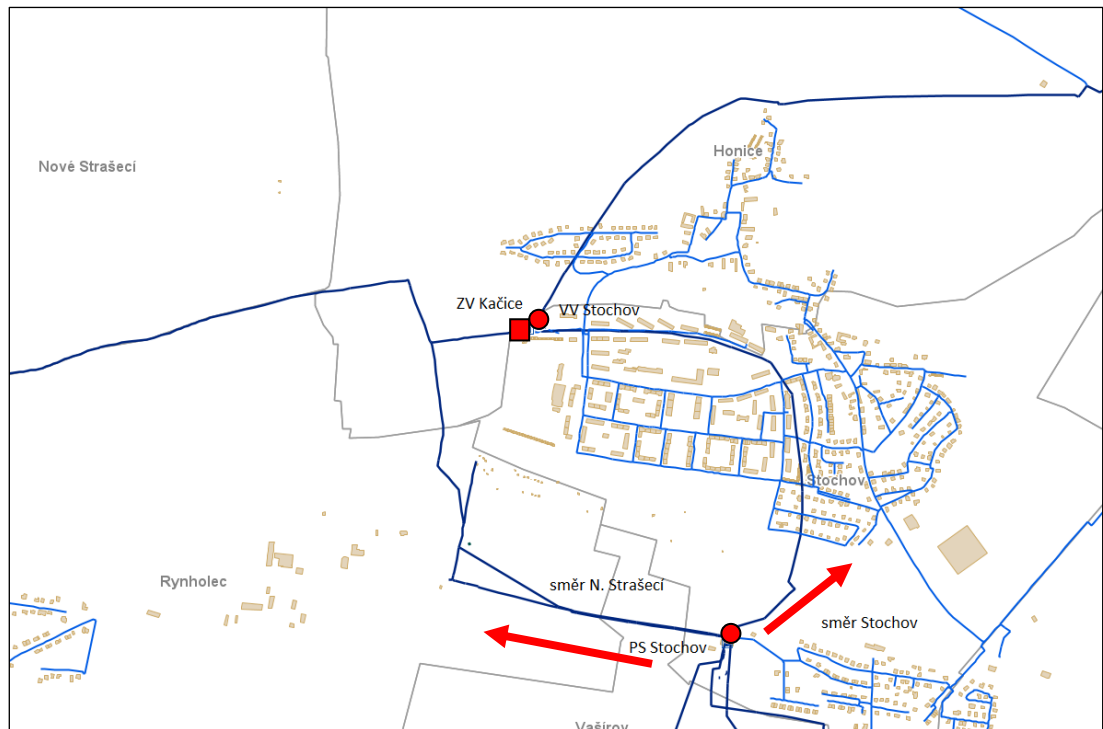
ZV Kačice

Zemní vodojem Kačice se nachází v severní části města Stochov. Jedná se o dvoukomorový zemní vodojem o objemu 2 x 250 m³. V těsné blízkosti se nachází věžový vodojem VV Stochov. Oba vodojemy mají společný nátok z východní strany.



Obrázek 55. Fotografie ZV Kačice a VV Stochov

Voda je sem čerpána z čerpací stanice Stochov s nepřetržitou dobou čerpání. Voda je čerpána dvěma směry. Směrem na Stochov a směrem na vodojem N. Strašecí. Voda do ZV Kačice je z většiny přiváděna ze směru Stochov, který vede skrz obec, ale nejsou na něj připojené odběry. Zhruba 12 % z celkového objemu nátoků do vodojemu přitéká z odbočky ze směru na N. Strašecí. (Obrázek 56)

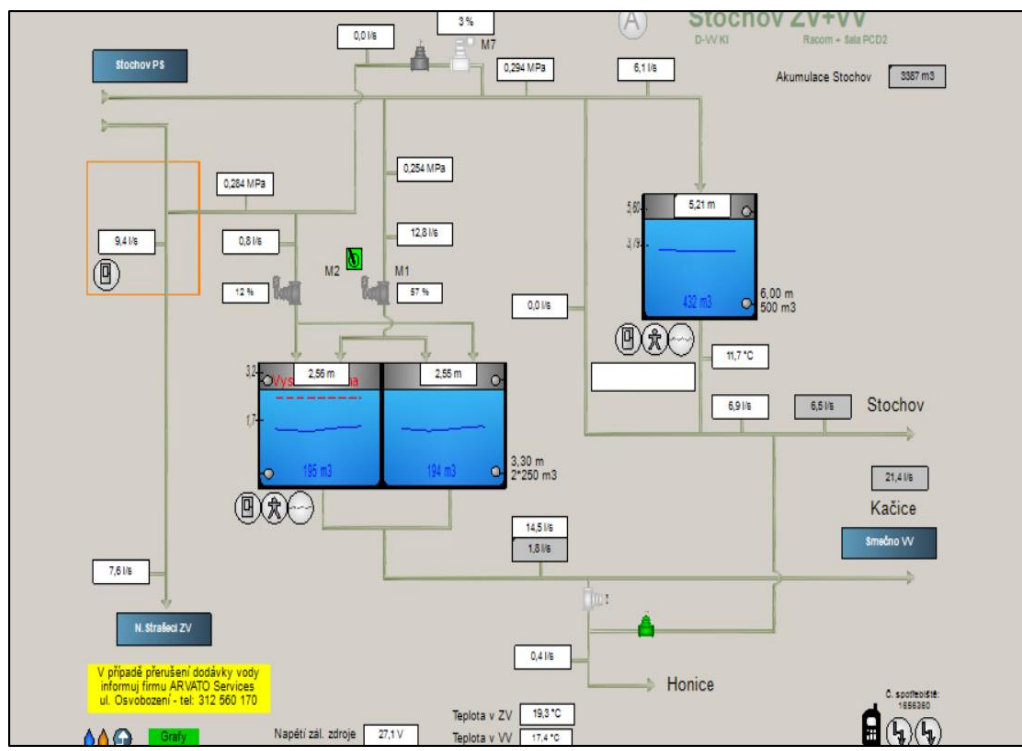


Obrázek 56. Nátok vody do ZV Kačice

Zdroj GIS

Voda z čerpací stanice (PS) Stochov je primárně čerpána do ZV Kačice, když je hladina ve vodojemu dostatečně vysoko přítok se přiškrtí a začne se napouštět VV Stochov. (Obrázek 57) VV Stochov slouží pouze pro potřeby města Stochov. Voda ze ZV Kačice dále pokračuje do VV Smečno a cestou zásobuje vodou přilehlé obce. Jedná se o gravitační odtok a jedná se o jediný přítok do VV Smečno.

ZV Kačice má kótu minimální hladiny 461,9 m n.m. a maximální kótu 465,2 m n. m. Výška zásobního prostoru je tedy 3,3 m a maximální objem je 500 m³. Vodojem je s přihlédnutím ke kapacitě plnění dostačující. Nejsou zde provozní problémy. V práci se použije jako výchozí bod pro výpočet.



Obrázek 57. Schéma ZV Kačice a VV Stochov

Zdroj provoz vodovodu

VV Smečno

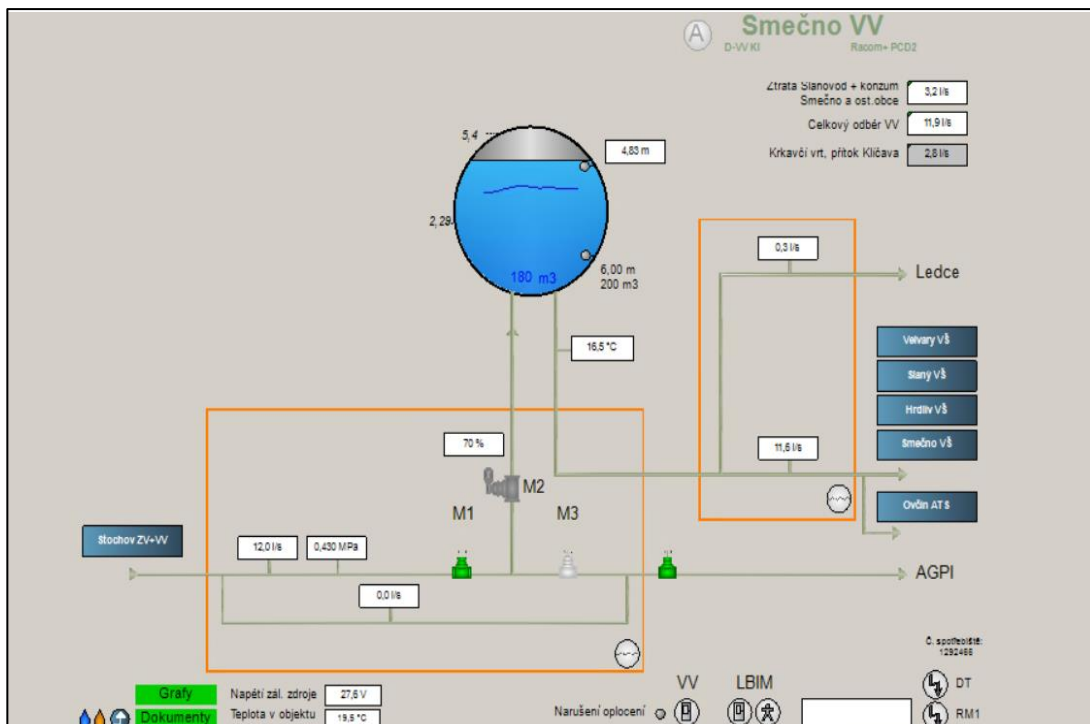
Věžový vodojem Smečno je typizovaný aquaglobus z 80. let minulého století. Za dobu svého provozu neprošel rekonstrukcí. Jeho objem činí 200 m³. Celková výška vodojemu je 10 m. Minimální hladina ve vodojemu se nachází na kótě 406,0 m n.m. a maximální na kótě 412,0 m celková výška akumulací nádrže je 6,0 m. Nátok do vodojemu je gravitační z ZV Kačice. (Obrázek 59) Vodojem zásobuje pitnou vodou město Smečno a obec Ledce. Voda protéká Smečnem a dále zásobuje obec Hrdlív, ZV Libušín a město Slaný.



Obrázek 58. Fotografie VV Smečno

Vodojem je ve špatném technickém stavu a nastávají zde provozní problémy zejména v letních měsících při zvýšených odběrech. Dle rozhovoru s provozem se při zvýšení odběrů sníží hladina vody ve vodojemu a v přivaděči se sníží tlak, který omezuje spotřebiště na přivaděči ZV Kačice – VV Smečno. Největší problémy s tlakem by měly nastat v obci Kačice, kde se průřez potrubí přivaděče snižuje na PVC DN 160. Ve všech obcích v lokalitě nyní platí stavební uzávěra z hlediska připojování nových odběratelů na vodovodní řady.

Data z vodojemu jsou přenášeny dálkově. Zaznamenává se hladina vody ve vodojemu, přítok, tlak na přivaděči a procento otevření šoupěte při nátoku do vodojemu. Tato data mi byla poskytnuta společností SVAS.



Obrázek 59. Schéma VV Smečno

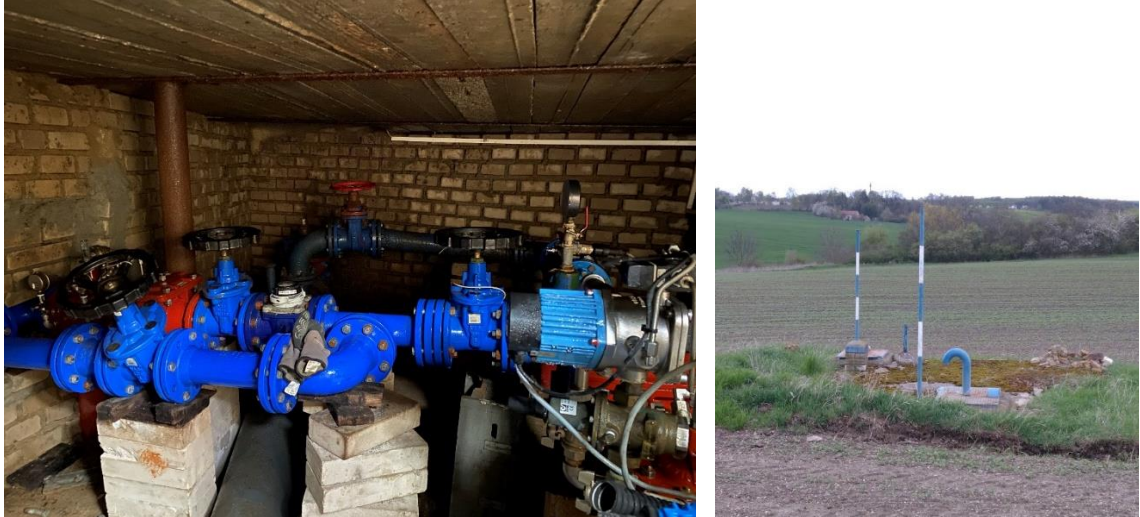
Zdroj provoz vodovodu



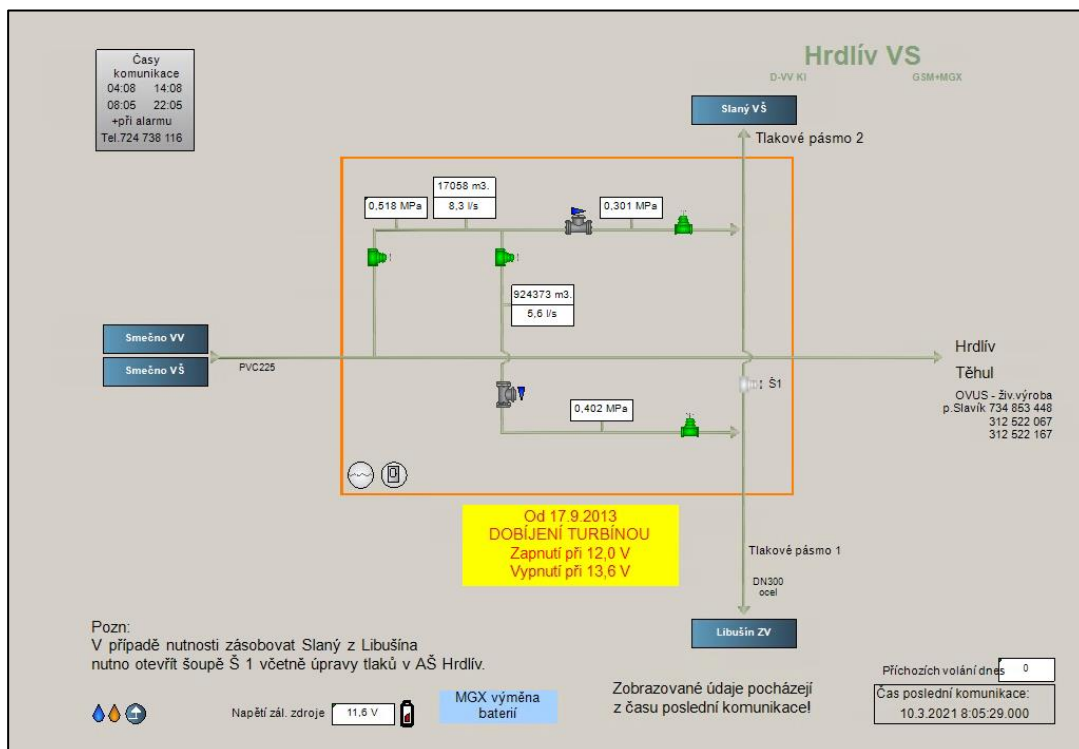
Obrázek 60. Armaturní šachta pro VV Smečno

AŠ Hrdlív

Armaturní šachta Hrdlív je rozdělovací bod pro přívod vody z VV Smečno. V šachtě se voda dělí do třech směrů, do obce Hrdlív, směrem na město Slané a směrem do ZV Libušín. Šachta má dálkový přenos dat (Obrázek 61).



Obrázek 61. AŠ Hrdlív



Obrázek 62. Schéma AŠ Hrdlív

Zdroj provoz vodovodu

3.3 Potřeba vody pro obyvatelstvo

3.3.1 Údaje o spotřebách pitné vody

Společnost Středočeské vodárny, a.s. jsem požádala o následující data, která byla použita při tvorbě a sestavní matematického modelu v programu Epanet 2.2. Společnost SVAS je provozovatelem vodovodní infrastruktury v řešené lokalitě, včetně vodojemů, šachet a vodovodního potrubí.

Byla vyžádána data o měsíčních spotřebách vody v řešené lokalitě. Odtoky z vodojemů, přítoky do nich a odběr vody z přivaděče do spotřebišť. Dále byla vyžádána voda fakturovaná a nefakturovaná ve spotřebišti. Tyto data byla použita k zjištění ztrát na přivaděcích a ve spotřebišti. Dle Směrnice č. 9/1973 Sb. jsou přípustné ztráty vody na vodovodní síti do 20 %. Data jsou v jednotkách m³. Měsíční odečet byl vyžádán pro rok 2019–2021.

Dle bilance v Tabulka 13 byly zjištěny ztráty na přivaděči mezi vodojemy v roce 2021. Ztráty se pohybují od 0,4 % do 5,7 % za měsíc. Nejvyšší ztráty jsou v červenci. Důvodem by mohly být vyšší průtoky v soustavě, čištění vodojemu nebo větší spotřeba provozní vody. Ztráty za rok jsou 1,8 %. V úvahu se musí brát chybovost průtokoměrů, ale výsledek je velmi příznivý a vodovod jako takový je ve velmi dobrém stavu.

Tabulka 13. Měsíční bilance Řad ZV Kačice – VV Smečno

2021	Řad ZV Kačice – VV Smečno				
	Měsíc	Přítok ZV Kačice [m ³]	Odtok ZV Kačice [m ³]	Σ odběrů na přivaděči [m ³]	Přítok VV Smečno [m ³]
Leden	38 433	39 742	8 460	30 578	-2.3%
Únor	34 701	35 733	8 358	27 577	0.7%
Březen	35 372	36 387	7 673	29 391	2.3%
Duben	35 339	36 407	7 967	29 582	3.9%
Květen	36 429	37 626	9 141	29 842	4.5%
Červen	38 117	39 239	10 632	29 562	3.2%
Červenec	36 117	37 250	9 925	28 987	5.7%
Srpen	34 068	35 178	8 375	27 213	1.5%
Září	32 845	33 881	9 425	25 159	2.8%
Říjen	34 983	36 157	8 705	27 354	-0.4%
Listopad	33 577	34 578	8 230	26 106	-0.9%
Prosinec	32 171	33 183	8 137	25 045	0.0%
Σ za rok	422 152	435 361	105 028	336 396	1.8%

Tabulka 14. Měsíční bilance VV Smečno – Aš Hrdlív

2021	VV Smečno – Aš Hrdlív					
Měsíc	Odtok Ledce[m ³]	Odtok Smečno[m ³]	Spotřeba Smečno[m ³]	Přítok Aš Hrdlív[m ³]	Odtok Slaný + Hrdlív[m ³]	Odtok Libušín[m ³]
Leden	1 241	28 579	9 004	19 575	17 811	1 764
Únor	1 279	25 623	9 354	16 269	8 632	7 637
Březen	1 308	26 673	9 202	17 471	8 438	9 033
Duben	1 444	26 256	9 913	16 343	7 018	9 325
Květen	1 767	26 212	11 382	14 830	6 351	8 479
Červen	1 856	25 794	13 746	12 048	6 353	5 695
Červenec	1 421	25 305	11 347	13 958	6 409	7 549
Srpen	1 383	24 336	10 436	13 900	6 203	7 697
Září	1 363	22 439	10 984	11 455	4 179	7 276
Říjen	1 351	25 439	11 701	13 738	6 310	7 428
Listopad	1 309	24 037	9 801	14 236	6 097	8 139
Prosinec	1 600	22 802	9 115	13 687	6 185	7 502
Σ za rok	17 322	303 495	125 985	177 510	89 986	87 524

V Tabulka 14 je bilance vody mezi VV Smečno a Aš Hrdlív. Je zde i hodnota odtoku do ZV Libušín, který zásobuje pitnou vodou obce Libušín, Třebichovice a Svinařov. ZV Libušín je zásoben vodou ze dvou směrů. Směr z Aš Hrdlív činí přibližně 30 % celkového přítoku do vodojemu. Přibližně stejnou hodnotu odběru má i obec Hrdlív a obce směrem na město Slaný.

V Tabulka 15 jsou vypsány konkrétní hodnoty odběrů vody z přivaděče. Dále tyto údaje byly použity při tvorbě modelu. Získala jsem z nich průměrný průtok za rok 2021, který byl využit jako jeden ze zátěžových stavů modelu.

Tabulka 15. Odběry vody z přívaděče 2021

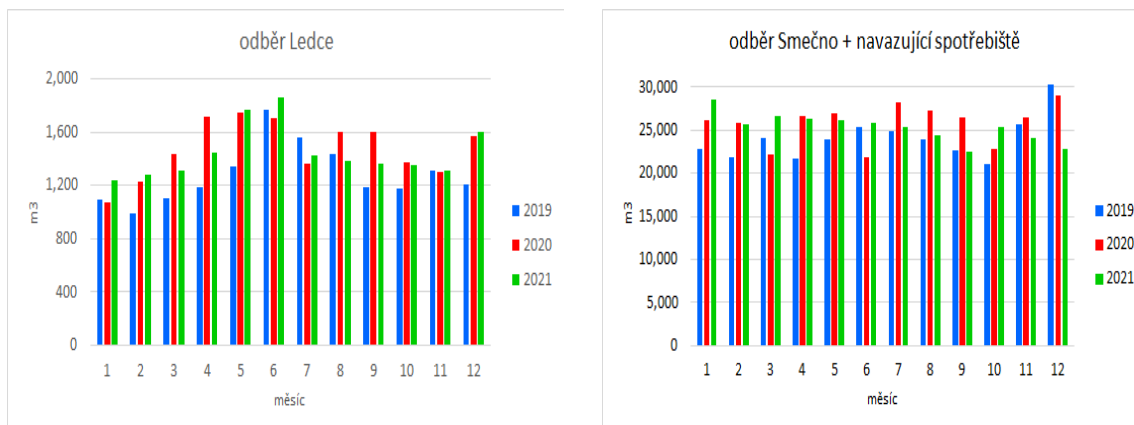
2021	Řad ZV Kačice – VV Smečno – odběry							
Měsíc	Čelechovice [m ³]	Kačice spodní pásmo [m ³]	Kačice horní pásmo [m ³]	Kačice bytovky [m ³]	Kačice vojáci [m ³]	Hradečno + Malíkovice + Drnek [m ³]	Benzina [m ³]	OVUS [m ³]
Leden	868	2 159	531	769	17	3 596	45	475
Únor	830	1 649	1 107	636	16	3 697	28	395
Březen	804	1 553	1 049	615	14	3 266	26	346
Duben	844	1 633	1 048	605	17	3 476	30	314
Květen	950	1 979	1 172	716	18	4 063	46	197
Červen	1 115	2 139	1 587	741	31	4 791	56	172
Červenec	1 255	1 893	1 171	614	30	4 667	79	216
Srpen	843	1 667	1 077	761	18	3 593	76	340
Září	797	1 735	1 074	1 665	20	3 636	60	438
Říjen	887	1 724	1 124	513	19	3 938	10	490
Listopad	808	1 531	1 227	484	17	3 609	47	507
Prosinec	867	1 546	1 153	468	13	3 705	26	359
Σ za rok	10 868	21 208	13 320	8 587	230	46 037	529	4 249
průměr Qp	906	1 767	1 110	716	19	3 836	44	354

V Obrázek 63 byly vyneseny měsíční odběry vody z přivaděče pro roky 2019–2021. Jsou zde uvedeny všechny odběry jednotlivých obcí, měřených na odbočkách z přivaděče pomocí průtokoměru. Na posledním grafu je znázorněna celková bilance.



Obrázek 63. Měsíční odběry vody z přivaděče 2019–2021

Dále do Obrázek 64 byly vykresleny odběry vody z VV Smečno za rok 2019–2021. Odběry za tři roky jsou obdobné.



Obrázek 64. Měsíční odběry 2019-2021

Z uvedených hodnot jsou patrné sezónní výkyvy spotřeby vody. Nejvyšší odběry můžeme zaznamenávat v letních měsících v červenci a srpnu pro obce a města v soustavě. Dle informací od provozovatele je právě v těchto měsících největší problém s pokrytím spotřeby. Odběr farmou OVUS je odlišný v průběhu let. Největší odběry jsou v lednu a únoru následně pak až na podzim, kdy je významný odběr v září, říjnu a listopadu.

Voda fakturovaná, nefakturovaná

Podklady pro porovnání ztrát vody z distribuční sítě ve spotřebištích byla data měsíční spotřeby vody od provozovatele vodovodní sítě, viz Tabulka 16. Dodána byla data o vodě fakturované a nefakturované a vodě předané.

Tabulka 16. Voda fakturovaná, nefakturovaná a předaná

2021	Ztráty ve spotřebištích						
	Čelechovice	Kačice	Hradečno	Malíkovice	Smečno	Ledce	Hvězda
voda předaná [m ³]	10 868	43 345	14 001	5 975	78 857	17 322	16 503
voda fakturovaná + nefakturovaná [m ³]	10 088	38 038	14 242	2 345	72 379	18 707	11 244
rozdíl [m ³]	780	5 307	-241	3 630	6 478	-1 385	5 259
ztráty %	7%	12%	-2%	61%	8%	-8%	32%

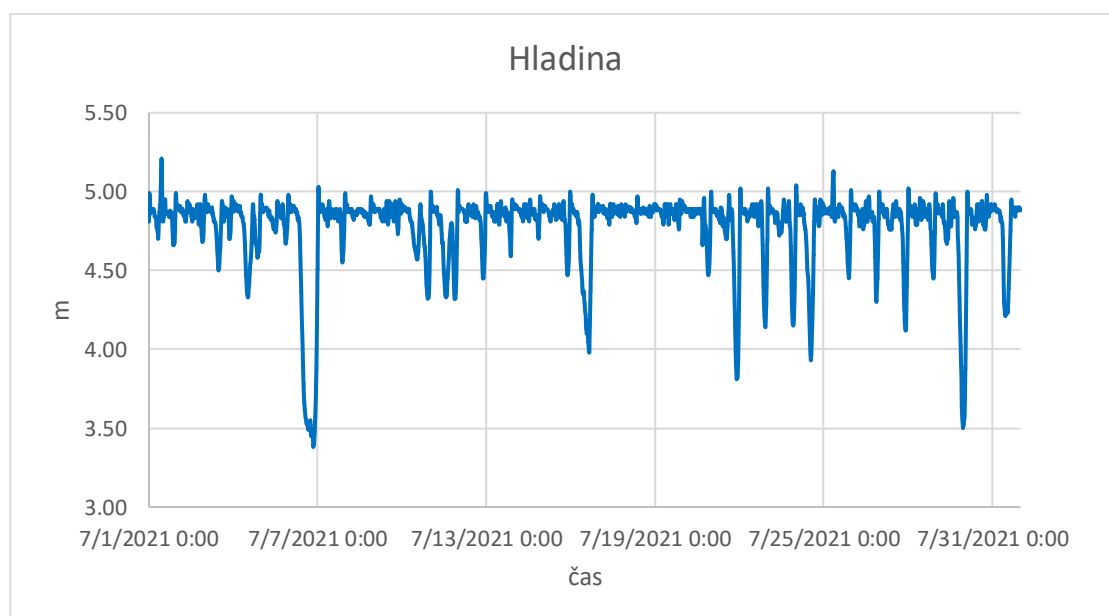
Jako vodovodní síť ve velmi dobrém technickém stavu se považuje síť s méně jak 10 % ztrát. Jak vidíme v Tabulka 16 v roce 2021 byly ztráty ve spotřebištích do 12 %, což by se dalo považovat za dobrý stav sítě. Obec Malíkovice vykazuje velkou ztrátu vody za rok.

Podezření je na černý odběr v části Hvězda. Bližší informace k těmto datům nebyly zjištěny.

3.3.2 Spotřeba vody

Pro odběry vody v jednotlivých spotřebištích byly zjištěny počty přípojek/domů v obcích. Výsledek je pouze orientační. Dále byly vypočteny hodnoty výhledového počtu obyvatel v jednotlivých spotřebištích. Odběry byly vypočteny ve třech variantách. První byla varianta pro průměrný průtok za rok. Byly sečteny hodnoty jednotlivých odběrů za měsíc a zprůměrovány. Tento stav je značen Q_p .

Druhý zátěžový stav je brán jako maximální odběr Q_{max} . Ten byl vypočten z průměrného odběru tím, že se navýšil o 20 %. Bylo to z toho důvodu, aby zatěžovací stav přiblížil chování soustavy v nadprůměrných odběrech a snížil hladinu ve vodojemu jako pozorujeme na Obrázek 65.



Obrázek 65. Hladina ve VV Smečno – červenec 2021

Třetí zátěžový stav je brán pro měsíc červenec 2021. Všechny varianty odběru jsou pro rok 2021. Měsíc červenec byl vybrán z důvodu největších odběrů za rok a zároveň proto že mám k dispozici data v malém časovém kroku pro tento měsíc.

Varianty odběru byly v Tabulka 17 rozděleny pro jednotlivé přípojky/domy ve spotřebištích a byla vypočtena hodnota odběru jednotlivých domů. Počet obyvatel v obci byl brán pro rok 2021 z údajů pro rozvoj obyvatelstva v odstavci 3.1.

Tabulka 17. Varianty odběrů

2021	obec	počet domů	počet obyvatel	Qp [m ³]	Qp [l/s/dům]	Qp max	Qp max [l/s/dům]	Q červenec 2021 [m ³]	Q červenec [l/s/dům]
denní odběr použitý ve výpočtu	Čelechovice	112	329	906	0.00302	1087	0.0036	1 255	0.0042
	Kačice spodní pásmo	146	1248	906	0.00452	2121	0.0054	1 893	0.0048
	Kačice horní pásmo	148		1 110	0.0028	1332	0.0034	1 171	0.0030
	Kačice bytovky	57		716	0.00469	859	0.0056	614	0.0040
	Kačice vojáci	1		19	0.00716	23	0.0086	30	0.0112
	Hradečno + Malíkovice	372		852	3 229	0.00324	3875	0.0039	4 134
	Drnek	0	0	607	0.22678	729	0.2721	533	0.1990
	Benzina	1	0	44	0.01646	53	0.0198	79	0.0295
	OVUS	1	0	354	0.1322	425	0.1586	216	0.0806
	Ledce	198	469	1 444	0.00272	1732	0.0033	1 421	0.0027
	Smečno	562	1950	10 499	0.00697	12599	0.0084	11 347	0.0075
	Odtok Libušín + Smečno + Hrdlív	1	0	14 793	5.52289	17751	6.6275	13 958	5.2113

Odběry jsou spočteny včetně ztrát a občanské vybavenosti v obci. Takto zjištěné odběry byly přiřazeny k uzlům v modelu.

Pro výhledový počet obyvatel byla vytvořena obdobná tabulka.

Z odstavce 3.1 byly vybrány údaje o výhledovém počtu obyvatel v jednotlivých obcích, aby bylo možné zjistit budoucí potřebu vody. V Tabulka 18 je přehledně vypsán počet stávajících a budoucích obyvatel. Větší obce mohou mít více než 100 % nárůst počtu obyvatel. Hodnoty jsou spočteny z územních plánů jednotlivých obcí. Sloupec 2021 udává aktuální počet obyvatel. Sloupec 2030 je možné přibližné navýšení počtu obyvatel. Tyto dvě hodnoty jsou sečteny ve sloupci celkem. Obce Třebichovice, Libušín a Svinařov vychází z územního plánu. Pro Hrdlív a obce směrem na město Slaný byla hodnota výhledového počtu obyvatel stanovena na 30 % vyšší než stávající počet obyvatel. Jedná se pouze o odhad.

Tabulka 18. Výhledový počet obyvatel

Obec	počet obyvatel			navýšení
	2021	2030 navýšení	celkem	%
Kačice	1 248	1 347	2 595	108
Čelechovice	329	214	543	65
Hradečno	483	496	979	103
Malíkovice	369	180	549	49
Drnek	178	282	460	159
Ledce	469	252	721	54
Smečno	1 950	752	2 702	39
Třebichovice	585	290	875	50
Libušín	3 211	1 395	4 606	43
Svinařov	727	501	1 228	69
ostatní (Hrdlív + Slaný) cca	4 650	1 395	6 045	30

Do Tabulka 19 byly zaznamenány roční odběry vody z přívaděče a VV Smečno pro rok 2021 jako stávající stav a následně hodnoty pro rok 2030 jako stav výhledový. Celkově se předpokládá nárůst ze stávajících 425 845 m³/rok na 638 914 m³/rok což je nárůst o 50,03 %. Odběr na osobu byl vypočten jako 29,99 m³/rok. V hodnotě jsou započteny ztráty na síti, občanská vybavenost a zemědělství. Nejedná se o vodu fakturovanou, ale o vodu odebranou z přívaděče a VV Smečno. Výhledový odběr vody byl spočítán včetně výhledového odběru směrem na ZV Libušín, obec Hrdlív i město Slaný. Neberou se v potaz možné změny v distribuční síti.

Tabulka 19. Roční odběr vody stávající a výhledový

	2021	2030 navýšení	celkem
odběr z přívaděče	105 028	75 544.38	180 572.38
odběr z VV Smečno	320 817	137 524.56	458 341.56
Σ za rok	425 845	213 069	638 914
m ³ /osobu za rok	29.99		

3.4 Tvorba a posouzení modelu

3.4.1 Vstupní data pro model

Některá vstupní data jsem zmínila již v předchozích kapitolách. Pro tvar, materiál, dimenze potrubí a jejich délky jsem vycházela z údajů v GIS společnosti SVAS, a.s. Díky těmto informacím jsem vytvořila tvar vodovodní sítě v AutoCADU (softwaru pro 2D a 3D projektování a konstruování). Pro přenos sítě do Epanetu (program pro výpočet hydraulických simulací pro distribuční systém) je nutné použít software EpaCAD, který soubor ve formátu *.DXF* dokáže převést na soubor typu *.inp*. Takto vytvořený soubor je možné naimportovat do Epanetu.

Informace o vodojemech mi byly poskytnuty společností SVAS. Dostala jsem informace o nadmořských výškách, tvaru vodojemu a jeho objemu.

Pro vytvoření odběrů ve spotřebištích jsem získala měsíční bilanci na vodovodní soustavě. Jedná se o dálkově i ručně odečítané hodnoty průtoků. Jsou zde přítoky do vodojemů, odtoky z nich a odběry na síti. V datech je jistá nepřesnost v důsledku lidského faktoru. Příklad těchto dat je v Obrázek 66.

6	Dimenze ve filtru						
7	Verze	Skutečnost					
8							
9		2019M01	2019M02	2019M03	2019M04	2019M05	2019M06
10		Množství	Množství	Množství	Množství	Množství	Množství m3
11	112110800211_Kačice-přiv.N.Strašecí-př	3,163	2,868	3,174	3,051	3,012	3,100
12	112110810202_Kačice ZV-přiv.Kačice+S	27,819	26,608	30,065	28,999	29,967	33,622
13	112110810203_Kačice ZV-hl.odběr ze ZV	31,874	30,304	34,165	33,010	33,984	37,863
14	112110830209_Kačice přiv.-dálnice nov	54	48	55	66	74	84
15	112110830205_Čelechovice-přiv.Hradeč	728	657	728	756	707	1,005
16	112110830202_Kačice AŠ-přiv.Hradečno	1,638	1,766	2,724	3,478	1,896	1,932
17	112110830203_Kačice AŠ-přiv.Hradečno	1,158	1,073	1,156	1,228	1,193	1,672
18	112110830210_Kačice-přiv.Hradečno-by	502	420	460	544	541	579
19	112110830204_Kačice-při.Hradečno-odě	22	21	23	23	26	33
20	112110830201_Hradečno,N.Studnice-při	2,894	2,765	2,902	3,227	3,417	4,465
21	112110840201_Smečno AŠ(u VV Smečno	24,613	23,496	25,863	23,597	26,047	27,959
22	112110840202_Smečno AŠ (u VV Smečno	540	330	346	262	222	273
23	112111330201_Smečno VV-odběr Ledce	1,096	992	1,103	1,190	1,343	1,771
24	112111330203_Smečno VV-odběr Smečn	22,860	21,877	24,040	21,763	23,986	25,428
25	112110580202_Hrdlív AŠ-přiv.Slaný-hl.v	13,143	12,750	13,704	11,055	14,086	12,710

Obrázek 66. Příklad dat měsíčních odběrů

Díky těmto údajům jsem zjistila ztráty na přivaděči a bilanci vody v soustavě.

Pro zjištění ztrát ve spotřebištích jsem měla k dispozici od společnosti VKM množství vody fakturované, nefakturované a vody k realizaci.

Asi nejdůležitější podklad pro tvorbu modelu a jeho pozdější kalibraci a verifikaci byla data dálkově přenášená z vodojemů a AŠ Hrdlív. Tato data jsou v časovém kroku cca 5 minut, ale četnost měření se mění. Není stejná. Data jsou v podobě časové řady a k ní přiřazené řady s měřenými daty viz Obrázek 67. v tomto případě se jedná o přítok vody do vodojemu.

	A	B
1	Time	Hodnota [l/s]
2	7/1/2021 0:00	15.2
3	7/1/2021 0:03	13.9
4	7/1/2021 0:11	12.3
5	7/1/2021 0:18	9.8
6	7/1/2021 0:25	7.7
7	7/1/2021 0:31	6.1
8	7/1/2021 0:38	6.2
9	7/1/2021 0:46	6.3
10	7/1/2021 0:53	3.8
11	7/1/2021 1:00	3.8
12	7/1/2021 1:01	5.8
13	7/1/2021 1:15	5.8
14	7/1/2021 1:23	7.6
15	7/1/2021 1:29	7.7
16	7/1/2021 1:49	7.7

Obrázek 67. Výstupy dálkového odečtu

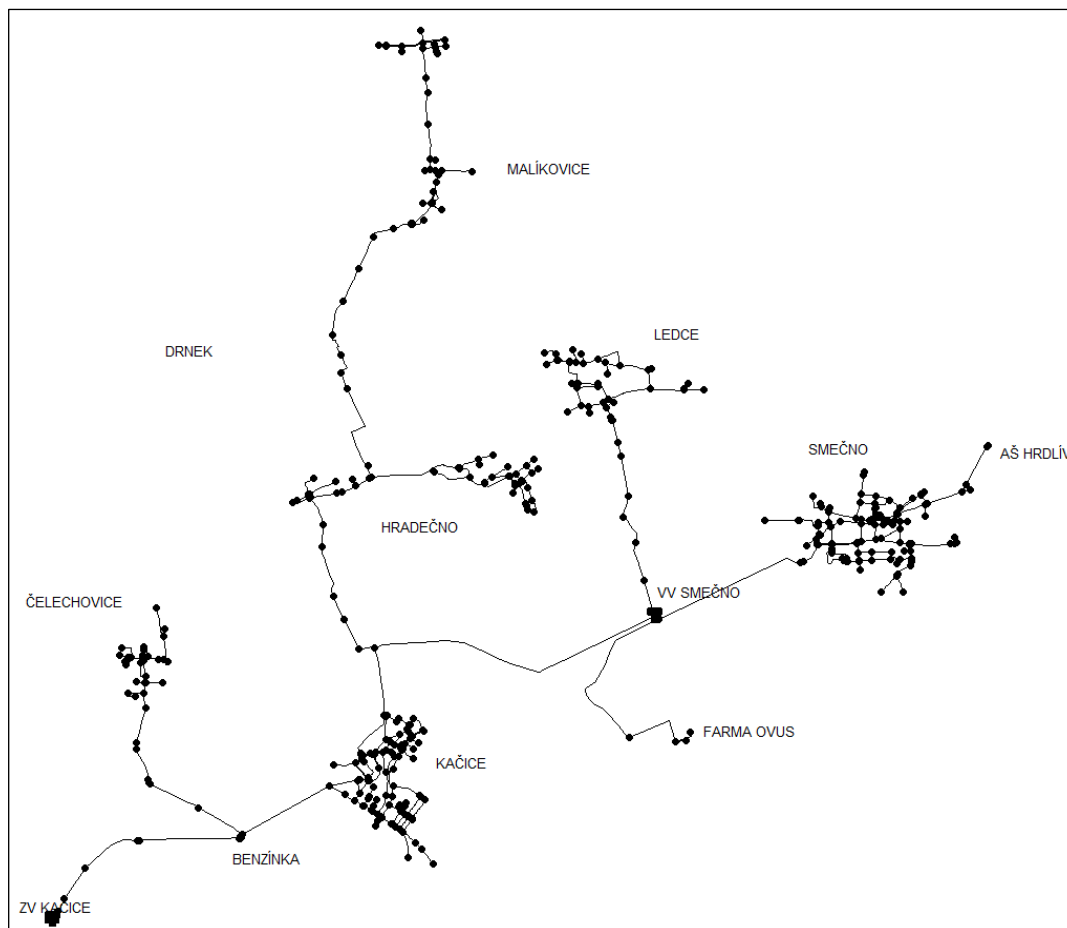
V této podobě jsem měla k dispozici měření průtoků, tlaků, výšku hladiny vody ve vodojemech a % otevření šoupěte. Tato data jsou důležitá pro zjištění pravidel řízení vodojemu. Vyžádána byla data za měsíc červenec 2021.

3.4.2 Tvorba modelu

Pro výpočet skupinového vodovodu ZV Kačice – VV Smečno byl použit počítačový výpočetní program EPANET 2.2. Epanet slouží k provádění dlouhodobých simulací chování hydrauliky a kvality vody v sítích s tlakovým potrubím. Modelová síť se skládá z potrubí, uzlů, čerpadel, ventilů, zásobních nádrží, vodojemů. Model umožňuje zobrazit průtok v každém potrubí, tlak v každém uzlu, výšku vody v nádržích a vodojemech a koncentrace chemických látek či dobu zdržení v systému. V modelu se může simulovat ustálený nebo neustálený stav. Model může počítat i s rozkolísaností odběrů během dne. Můžeme tedy pozorovat chování sítě jak v maximálních odběrech během špiček, tak v minimálních odběrech během noci.

Tvorbu modelu (viz Obrázek 68) jsem zahájila tím, že jsem si rozmyslela, jak velký úsek systému je nutný modelovat. Jako počáteční bod jsem zvolila ZV Kačice. Dle informací od provozovatele je ZV Kačice v dobrém technickém stavu a nejsou s ním provozní potíže.

Původně jsem chtěla namodelovat pouze vodojemy a přivaděč, který je spojuje. Ale pro ověření tlakových podmínek ve spotřebištích jsem do modelu zařadila i je. Některé připojené obce si stěžují na problémy s nízkým tlakem. Nyní je v lokalitě i nemožnost připojení se na vodovodní síť. Voda z VV Smečno teče do spotřebiště Smečno odkud pokračuje do AŠ Hrdlív, bylo tedy nutné namodelovat i toto spotřebiště. Spotřebiště Smečno provozní potíže spíše nemá.

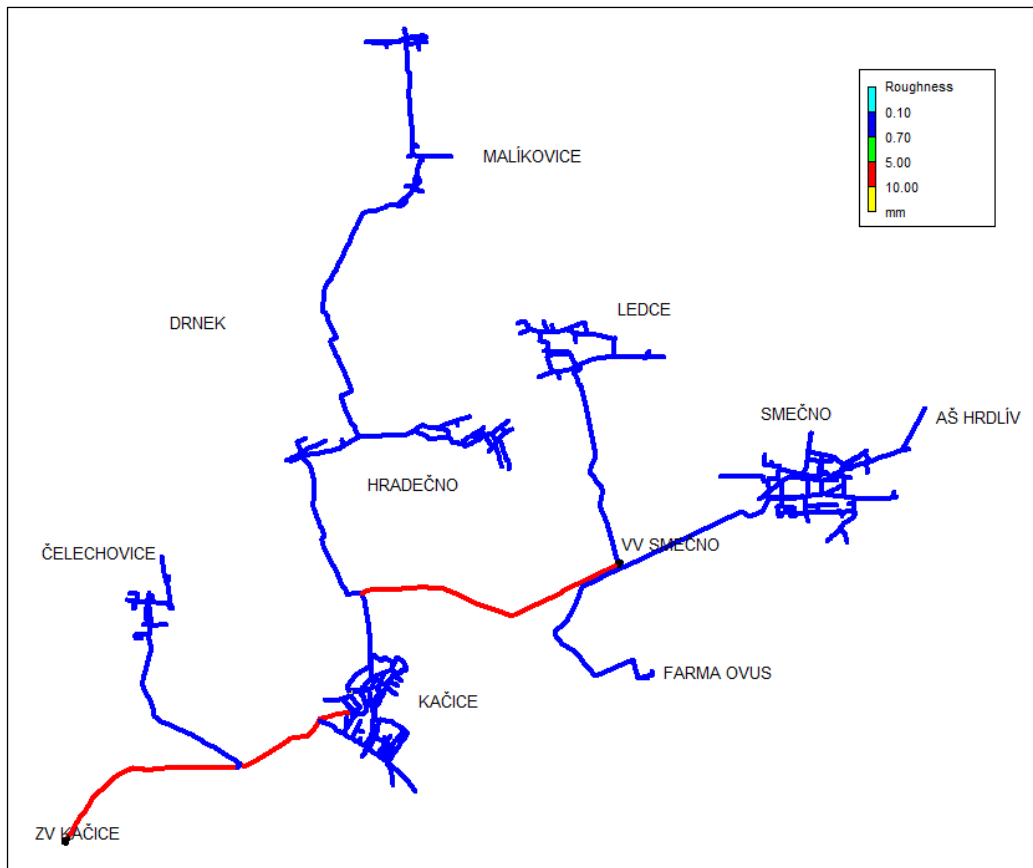


Obrázek 68. Řešený model vodovodního systému

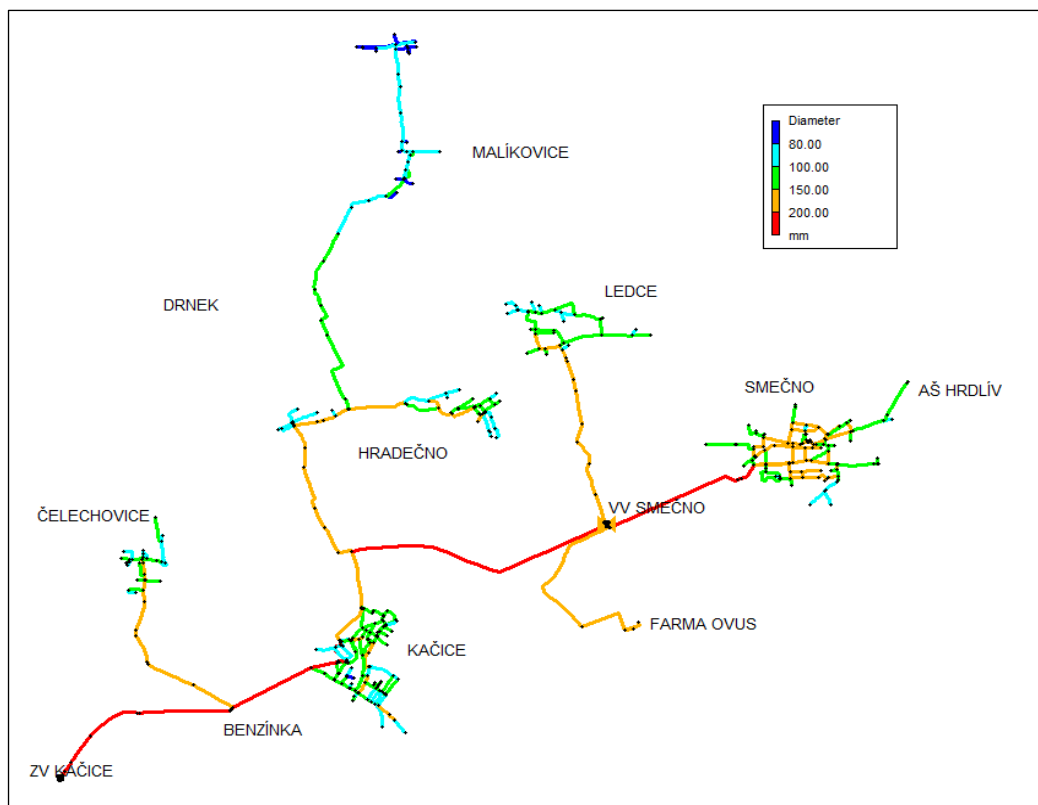
Model je zakončen v AŠ Hrdlív. Další odtoky z tohoto bodu jsou v modelu sečteny a počítány jako jeden, protože pro zvolenou oblast nejsou důležité. Pro stávající odběry z AŠ Hrdlív byly použity stejné zátěžové stavy jako pro zbytek spotřebišť. Pro výhledový odběr z AŠ Hrdlív byly použity informace z mé bakalářské práce a další budou zohledněny poměrově vůči velikosti obcí.

Pro sestavení sítě byl použit doplňkový program EpaCAD, který dokáže vložit soubor z AutoCADU do Epanetu a zachovat délky potrubí. Vodovodní síť z GIS mi byla dodána techniky útvaru GIS ve formátu *.dgn*. Tu jsem právě pomocí EpaCADU vložila do modelu. Poté jsem jednotlivým uzlům vložila nadmořskou výšku. Ta byla určena z výškopisu a snížena o 1,5 m pod úroveň terénu. Každému potrubí jsem vložila jeho dimenze (Obrázek 70) a drsnost dle materiálu. Pro ocel a litinu jsem zvolila 5 mm, pro plastové trouby 0,6 mm. (Obrázek 69). Přivaděč je z většiny tvořen ocelovým potrubím, spotřebišťe jsou z plastového potrubí (PE). V oblasti Hvězda v Malíkovcích jsou velmi malé dimenze potrubí převážně o dimenzi De 50, ale i menší.

Nevýhodou použití EpaCADU pro vložení sítě do modelu je, že importuje síť tak, jak byla původně zakreslena a jsou zde i malé úseky potrubí pro uzávěry nebo duplicitní uzly. Je nutné dát parametry i těmto malým úsekům a vyhledat přebytečné prvky, které je nutné odstranit.



Obrázek 69. Drsnost potrubí



Obrázek 70. Dimenze potrubí

Další krok byl vložit do modelu vodojemy a zadat jim technické parametry. Jejich nadmořskou výšku, maximální a minimální výšku hladiny, objemovou funkci nebo křivku plnění. Kromě toho byly v modelu doplněny uzávěry, o kterých víme, že jsou uzavřené nebo mají nějakou řídicí funkci. Redukční ventily ve spotřebištích nebyly řešeny. Redukční ventily ve Smečně se nachází mimo hlavní průtok vody směrem na Hrdlív.

Nutné bylo přiřadit uzlům odběr vody. Pro jednotlivé spotřebiště jsem si spočítala množství domů napojených na řad. Domy byly následně přiděleny k uzlům. Pro oblast Kačice byly zvoleny 4 pásma odběrů, protože jsou zde napojeny na přivaděč ve čtyřech místech a mezi sebou jsou uzavřeny (Obrázek 71). Celkové odběry pro jednotlivé posuzované varianty jsou uvedené v Tabulka 17.



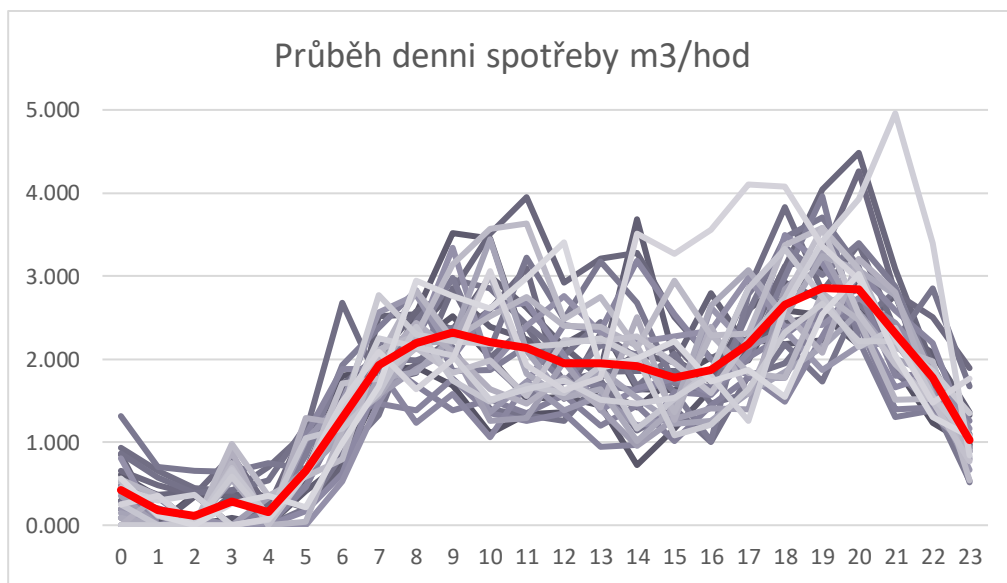
Obrázek 71. Tlaková pásma Kačice

Pro zjištění denní nerovnoměrnosti ve spotřebištích byla použita data v krátkém časovém kroku z dálkového přenosu dat ve vodojemu. K dispozici byla data za měsíc červenec 2021. Pro tento měsíc jsem měla k dispozici odtoky do spotřebišť Smečno a Ledce. Data nejsou ve stejném časovém kroku ani v pravidelných intervalech měření. Pomocí integrace byly jednotlivé dny rozděleny do hodin a jejich aktuální průtoky sečteny. Oranžová barva na Obrázek 72 znázorňuje původní data. Na Obrázek 73 a Obrázek 74 je znázorněna rozkolísanost hodinových odběrů pro jednotlivé dny za červenec 2021.

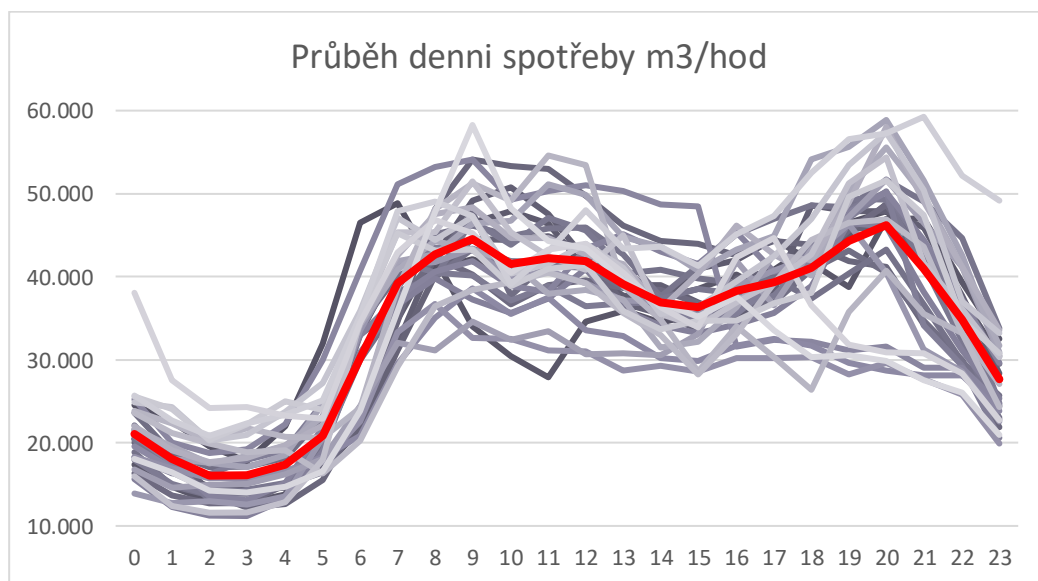
Červený průběh znázorňuje jejich průměr.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	
1																					
2		Time		Hodnota [l/s]	ΔT	ΔV			klíč součtu:		Spotřeba dle hodiny [m3/hod]										
3		Abs	Rel. (dn)		sekundy	m3			hodina		den \	hodina	0	1	2	3	4	5	6	7	8
4		7/1/2021 0:00	0.000000	0.1	1127	0.1127			0		1		0.187	0.015	0.360	0.000	0.028	0.935	1.972	1.706	1.899
5		7/1/2021 0:18	0.013044	0.0	392	0			0		2		0.295	0.349	0.000	0.000	0.200	0.560	1.594	2.048	2.176
6		7/1/2021 0:25	0.017581	0.2	373	0.0746			0		3		0.612	0.345	0.000	0.084	0.000	0.411	0.762	1.612	2.551
7		7/1/2021 0:31	0.021898	0.0	1709	0			0		4		0.454	0.000	0.343	0.362	0.358	0.420	0.683	2.036	2.353
8		7/1/2021 1:00	0.041678	0.0	3445	0			1		5		0.849	0.000	0.000	0.361	0.358	0.208	0.693	2.512	2.539
9		7/1/2021 1:57	0.081551	0.1	155	0.0155			1		6		0.895	0.006	0.401	0.362	0.049	0.657	1.695	2.043	2.578
10		7/1/2021 2:00	0.083345	0.1	3600	0.36			2		7		0.653	0.482	0.360	0.835	0.214	1.199	1.604	1.620	1.943
11		7/1/2021 3:00	0.125012	0.0	3623	0			3		8		1.014	0.573	0.445	0.408	0.702	1.114	2.882	1.511	1.829
12		7/1/2021 4:00	0.166944	0.0	3298	0			4		9		0.984	0.461	0.389	0.427	0.539	1.197	0.897	1.950	1.983
13		7/1/2021 4:55	0.205116	0.1	278	0.0278			4		10		0.286	0.199	0.075	0.000	0.000	0.199	0.853	1.321	2.458
14		7/1/2021 5:00	0.208333	0.1	190	0.019			5		11		1.312	0.703	0.655	0.643	0.752	0.678	1.365	1.867	2.274
15		7/1/2021 5:03	0.210532	0.3	1901	0.3903			5		12		0.532	0.000	0.000	0.000	0.097	0.913	1.423	2.188	2.270
16		7/1/2021 5:24	0.225590	0.3	317	0.0951			5		13		0.401	0.000	0.000	0.000	0.000	0.834	1.923	2.372	2.831
17		7/1/2021 5:30	0.229259	0.3	166	0.0498			5		14		0.083	0.000	0.000	0.000	0.172	0.468	1.290	2.012	1.683
18		7/1/2021 5:32	0.231181	0.2	425	0.085			5		15		0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.461	1.320	1.461	1.388
19		7/1/2021 5:39	0.236100	0.3	418	0.1254			5		16		0.483	0.000	0.000	0.000	0.000	1.080	2.082	1.686	1.231
20		7/1/2021 5:46	0.240937	0.1	475	0.0475			5		17		0.459	0.329	0.000	0.000	0.000	0.171	0.682	1.686	2.141
21		7/1/2021 5:54	0.246435	0.4	308	0.1232			5		18		0.805	0.000	0.083	0.000	0.000	0.000	0.531	1.480	2.218
22		7/1/2021 6:00	0.250000	0.4	203	0.0812			6		19		0.191	0.000	0.000	0.000	0.030	1.022	1.487	2.559	2.772

Obrázek 72. Příklad výpočtu spotřeby vody



Obrázek 73. Průběh denních spotřeb Ledce

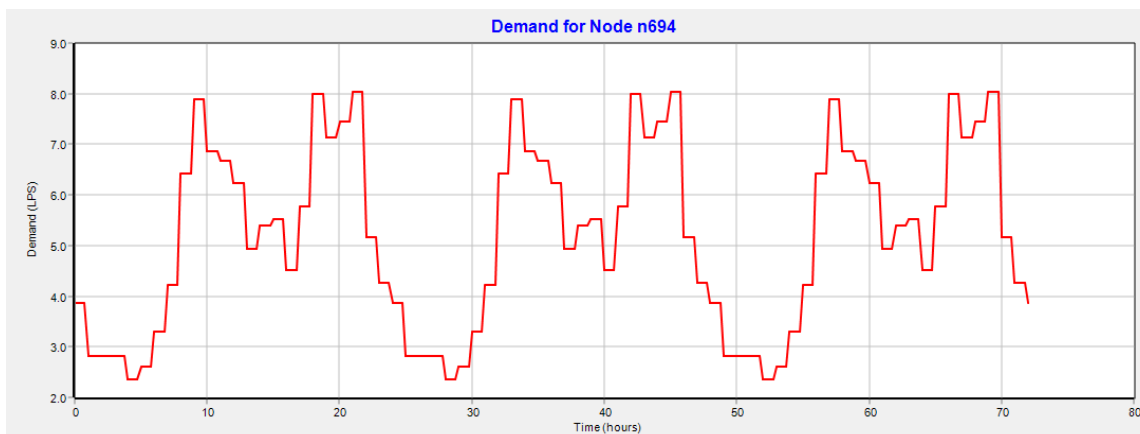


Obrázek 74. Průběh denních spotřeb Smečno + odtok na Hrdlív

Spočítalo se, jaké množství odteklo v jednotlivých hodinách. Tento způsob se použil pro všechny dny v měsíci červenci. Poměrem hodinové a denní spotřeby byly zjištěny hodnoty kh pro jednotlivé dny. Tyto parametry se zadají jako Demand Pattern (denní nerovnoměrnost v Epanetu) do modelu. Takto byly vytvořeny Demand Pattern pro Ledce, Smečno a Hrdlív.

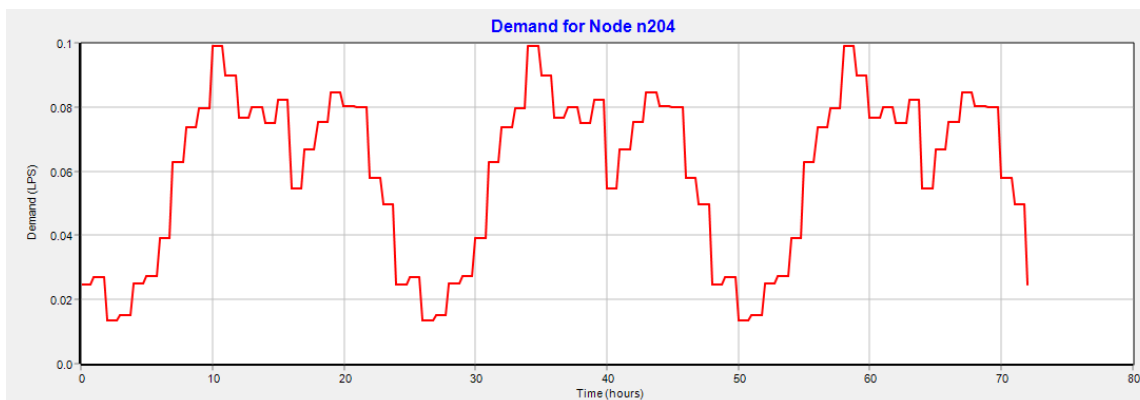
Z odtoku do Smečna a přítoku do AŠ Hrdlív bylo možné zjistit aktuální spotřebu ve Smečně, a tedy i její denní nerovnoměrnost. Demand Pattern byl sestaven zvlášť pro Smečno a Hrdlív z důvodu následné kalibrace. V denní nerovnoměrnosti je drobný rozdíl a mohl by způsobovat potíže při kalibraci.

Na Obrázek 75 je odběr vody z AŠ Hrdlív pro tři dny s Demand Pattern „Hrdlív“



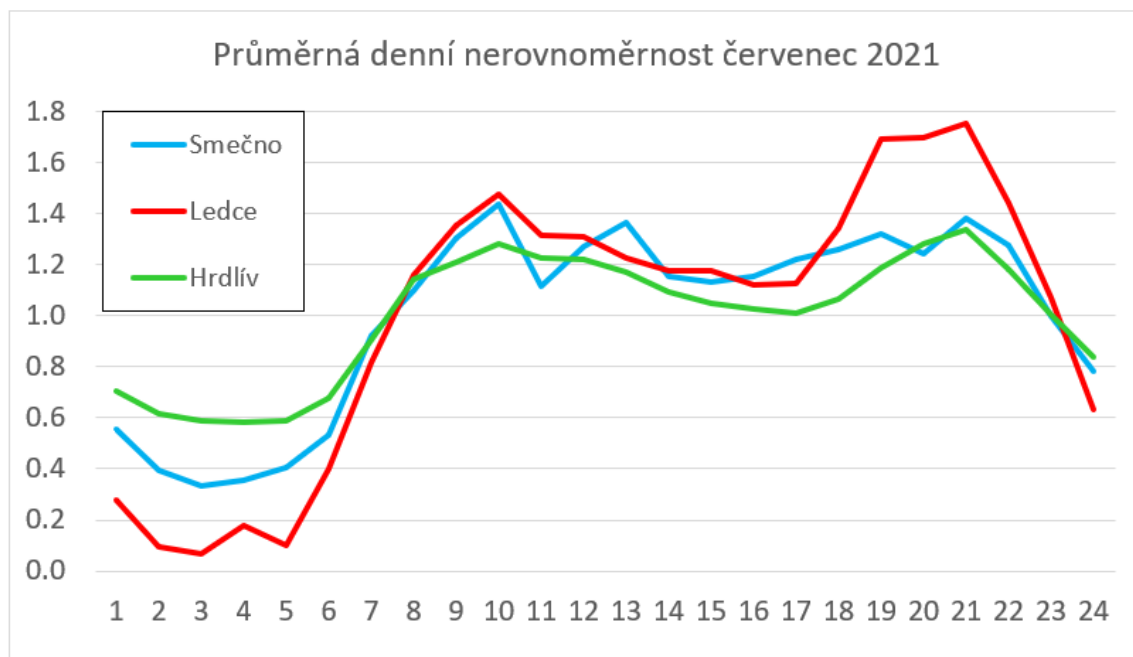
Obrázek 75. Demand Pattern Hrdlív

Na Obrázek 76 je odběr vody z uzlu ve Smečně pro tři dny s Demand Pattern „Smečno“. Je zřejmé, že nerovnoměrnost se liší a nastaly by potíže při kalibraci.



Obrázek 76. Demand Pattern „Smečno“

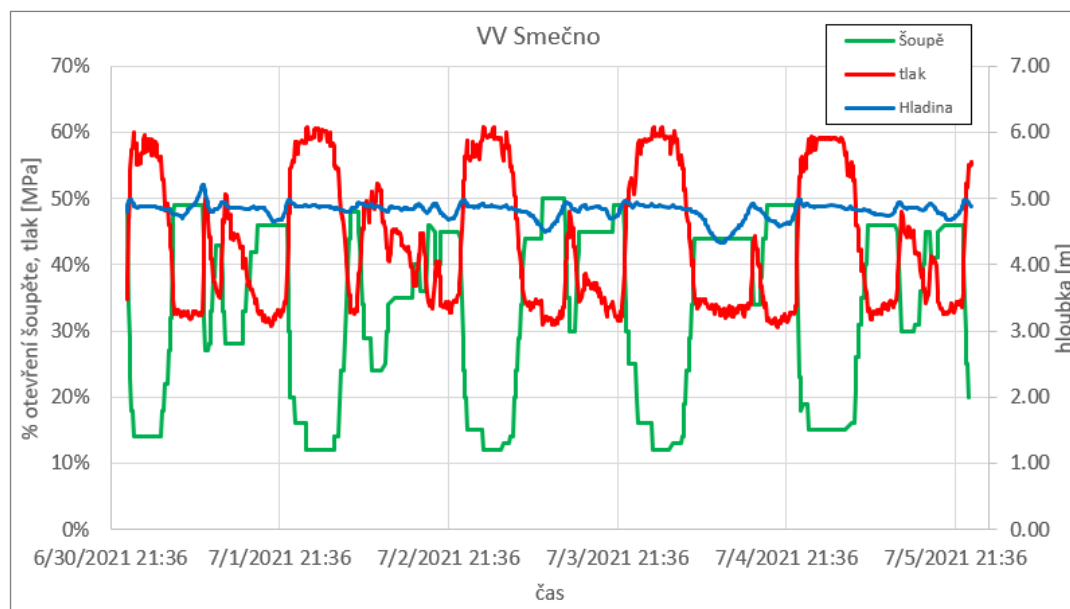
Na Obrázek 77 je průměrná denní nerovnoměrnost za měsíc červenec 2021 pro všechny tři spotřebišť. Největší nerovnoměrnost vykazuje obec Ledce, protože je nejmenší. Obcím s malým počtem obyvatel, přibližně stejným jako má obec Ledce, byl vložen její graf denní nerovnoměrnosti. Konkrétně byl vložen obcím Malíkovice, Čelechovice, Drnek, Hradečno. Nerovnoměrnost „Smečno“ byla přidělena Kačici a Smečnu. Hrdlív má svou vlastní nerovnoměrnost.



Obrázek 77. Průměrná denní nerovnoměrnost červenec 2021

Poslední částí tvorby modelu bylo nastavení řízení přítoku do VV Smečno. Na přítoku do vodojemu je dálkově řízené šoupě. Požádala jsem provoz o naměřené otevření šoupěte pro stejný časový úsek, jako data o hodnotě přítoku do vodojemu, průběhu hladiny ve vodojemu a tlaku na přítoku do vodojemu. Tato data jsem porovнала a snažila se zjistit jakým způsobem je vodojem řízený.

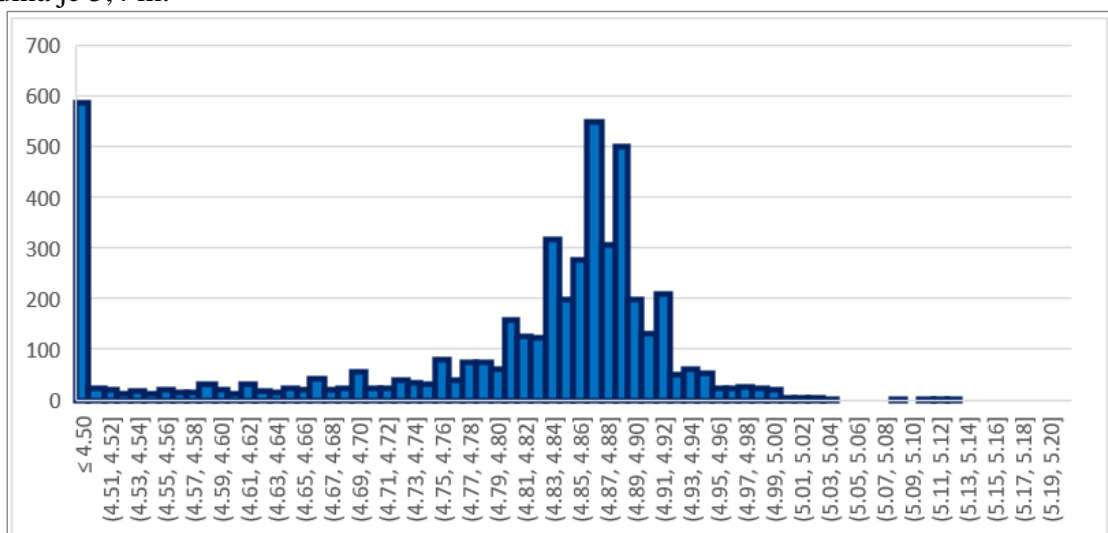
Do grafu jsem vložila hladinu vody ve vodojemu, tlak na přítoku a % otevření šoupěte (Obrázek 78).



Obrázek 78. Průběh tlaku, hloubky a % otevření šoupěte na VV Smečno

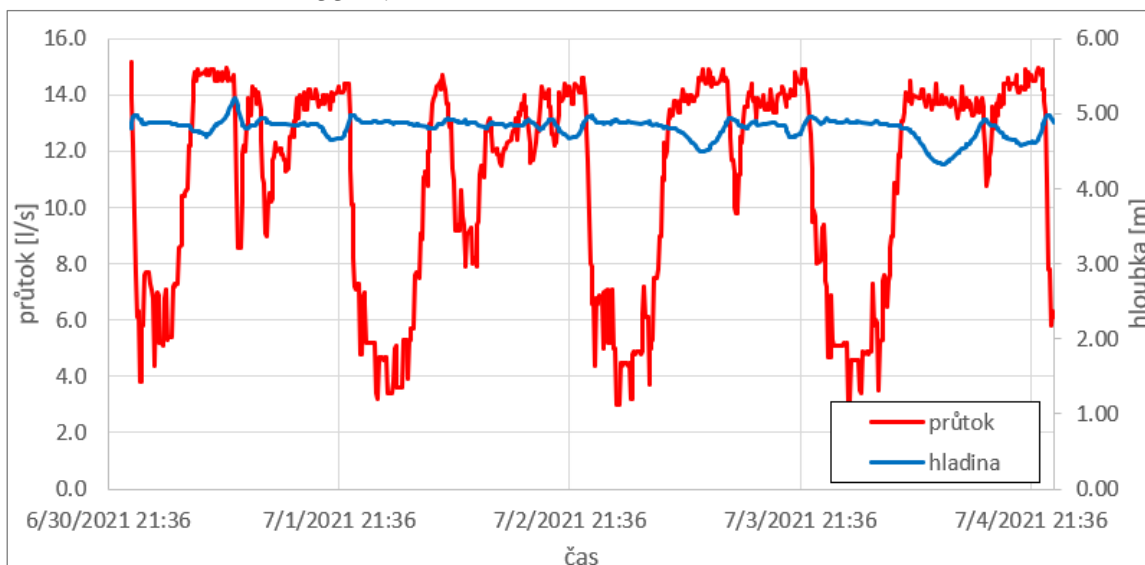
Tlak na přítoku neklesne pod hodnotu 0,33 MPa. Když by byl tlak nižší na síti by docházelo k nebezpečným podtlakům, zejména v potrubí vedoucím do Hradečna. Šoupě se otevírá od cca 14 % do 50 %. Šoupě není nikdy úplně uzavřené, protože by v potrubí docházelo k hydraulickému rázu. Při otevření na 14 % je na přítoku v podstatě statický tlak. Hodnota tlaku udává přibližně rozdíl kót hladin ve vodojemu ZV Kačice a VV Smečno. Při otevření šoupěte na vyšší hodnotu tlak rychle klesá. Poloha šoupěte na řízení hladiny příliš velký vliv nemá, převážně nejspíš řídí tlak v přivaděči.

Abych zjistila, jaká je běžná hladina napuštění vodojemu, udělala jsem histogram (Obrázek 79). Vodojem se napouští nejčastěji kolem 4,9 m i přes to, že jeho maximální hladina je 5,4 m.



Obrázek 79. Histogram četnosti plnění

Další krok bylo zjistit jaké průtoky do vodojemu přitékají pro otevřené a uzavřené šoupě (Obrázek 80). Když je šoupě otevřeno na cca 14 % průtok se pohybuje kolem 4 l/s a tlak je maximální, při otevření na cca 50 % průtok vystoupá na 15 l/s a v síti se udržuje minimální hodnota tlaku na 33 m.



Obrázek 80. Příkladové hodnoty průtoku do vodojemu a hladina

Díky těmto informacím můžeme vložit do modelu pravidla pro regulaci a řízení. Pro automatické ovládání ventilu na přítoku do vodojemu, který chci v modelu dosáhnout není příliš dobré, že je ovládán ručně dispečerem. Ten z dlouhodobých zkušeností řídí nátok do vodojemu podle svého uvážení a potřeby. Namodelovat lidskou činnost je prakticky nemožné a možnosti Epanetu jsou rovněž omezeny.

Z grafů o přítoku, tlaku a otevření ventilu byl zjištěn způsob ovládání ventilu. Z grafu Obrázek 78. Průběh tlaku, hloubky a % otevření šoupěte na VV Smečno je zřejmé, že tlak na přítoku není menší než 0,33 MPa. Tento tlak je nutné v soustavě před vodojemem udržet z důvodu funkčnosti systému. Při nižším tlaku nastává v přivaděči v oblasti kolem Kačice velmi nízký tlak i podtlak. Takto nízký tlak je i v potrubí vedoucí vodu do Hradečna a v závadní části obce Hradečno.

Pro zajištění tohoto pravidla jsem na přítok vložila ventil PSV (Pressure Sustaining Valve). Tlakový udržovací ventil se používá k udržení nastaveného tlaku v určitém bodě potrubní sítě.

Další pravidlo pro řízení bylo závislost přítoku do vodojemu na hladině vody ve vodojemu. Při otevření šoupěte na 14 % činí přítok přibližně 4 l/s a tlak před vodojemem je přibližně roven statickému tlaku mezi vodojemy. Vodojem má dostatečnou hladinu vody. Při otevírání ventilu se zvyšuje přítok až na cca 16 l/s. tento přítok je omezen ponecháním minimálního potřebného tlaku pro funkčnost soustavy 0,33 MPa. Vodojem se napouští, dokud nedosáhne potřebné hladiny.

Toto pravidlo řízení bylo nastaveno pomocí druhého ventilu TCV (Throttle Control Valve). Regulační ventil škrticí klapky simuluje částečně uzavřený ventil úpravou koeficientu místní tlakové ztráty ventilu.

Reálně vodojem řídí pouze jeden uzávěr, ale Epanet neumí vlastnosti ventilů kombinovat. Z tohoto důvodu jsou v modelu dva ventily v sérii.

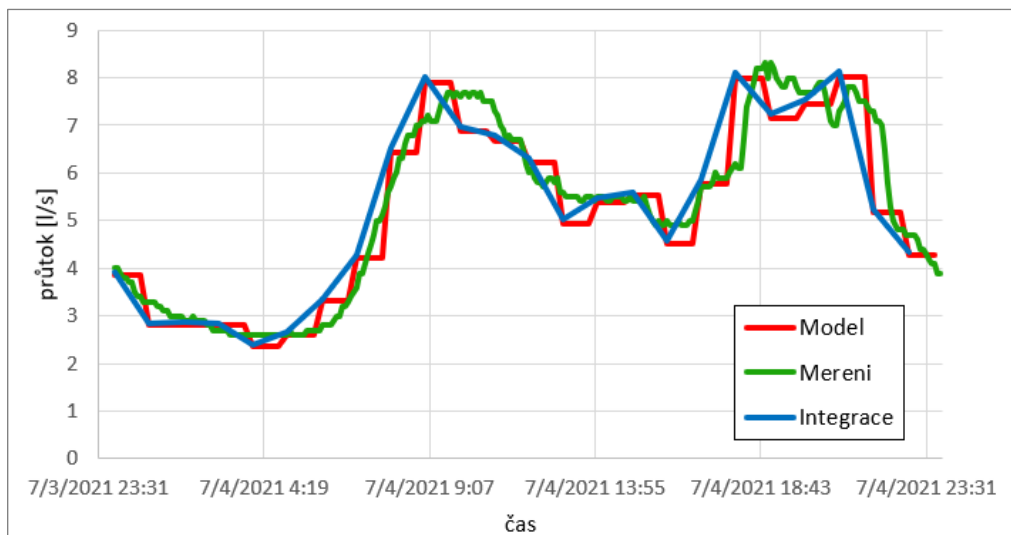
3.4.3 Kalibrace

Po vytvoření geometrie sítě a pravidel řízení vodojemu bylo nutné provést kalibraci modelu. Pro kalibraci jsem náhodně vybrala jeden den z dálkově přenášených dat. Konkrétně 4.7.2021. Tento den připadl na neděli. Pro tento den jsem vytvořila Demand Pattern pro odběry vody ve spotřebištích a přiřadila je jednotlivým obcím. Odběry vody ve spotřebištích byly zvoleny jako průměrná hodnota v červenci. Následně byla určena počáteční hladina vody ve vodojemu v tento den a vytvořila jsem křivku denního průběhu změny hladiny vody v ZV Kačice. Po těchto přípravách byl model spuštěn.

První pokus o kalibraci nebyl příliš zdařilý. Průtoky měřené těsně na začátku či konci časového intervalu (1 hodina), nebyly vždy přiřazeny správně. Chyba byla důsledkem špatného zaokrouhlení při výpočtu s čísly s plovoucí desetinnou čárkou.

V důsledku této chyby můžeme pozorovat, že průtok modelu byl spočten menší než lokální minimum, či větší než lokální maximum, viz Obrázek 81.

Po tomto zjištění byla funkce v excelu upravena a následný pokus o kalibraci průtoku již vyšel příznivě.



Obrázek 81. Porovnání výsledných průtoků v AŠ Hrdlív 4.7.2021

Poté bylo nutné upravit objemovou křivku (závislost hladiny na objemu vody v nádrži) ten je ve skutečnosti kulovitý, ale v modelu se lépe osvědčil válcový tvar. Lépe odpovídal tvaru hladiny během dne. Dále se změnila drsnost ocelového potrubí z 5 mm na 3 mm. Dál se upravilo řízení TCV ventilu. Byla vytvořena hystereze při vypouštění a napouštění vodojemu. Za zvýšeného odběru vody ve spotřebišti dochází k poklesu hladiny vody ve vodojemu Smečno. Při denních špičkách potřebují spotřebišť před i za vodojmem více vody. Rychlým napouštěním vodojemu můžeme ohrozit spotřebišť před vodojmem. Při zvýšení přítoku do vodojemu by se nám snížil tlak v přivaděči a mohla by nastat potíž se zásobováním spotřebišť před vodojmem. Reakce ventilu vodojemu na vypouštění je tedy záměrně pomalejší.

Při napouštění vodojemu je požadavek na vodu ve spotřebištech za vodojmem i před ním menší a můžeme si dovolit vodojem napouštět rychleji, aniž bychom omezili spotřebišť před ním.

Proto bylo nastaveno řízení tak, že vodojem se vypouští pomaleji a rychleji se napouští. Toto řízení bylo zajištěno pomocí změny místní ztráty na TCV ventilu. Tento způsob řízení i lépe odpovídá řízení obsluhy.

```

RULE 1
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 5
THEN VALVE 23 SETTING IS 999999

RULE 2
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 4.91
THEN VALVE 23 SETTING IS 20000

RULE 3
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 4.9
AND VALVE 23 SETTING ABOVE 10000
THEN VALVE 23 SETTING IS 10000
RULE 4
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 4.9
AND VALVE 23 SETTING BELOW 3000
THEN VALVE 23 SETTING IS 3000

```

```

RULE 5
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 4.85
AND VALVE 23 SETTING ABOVE 5000
THEN VALVE 23 SETTING IS 5000
RULE 6
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 4.85
AND VALVE 23 SETTING BELOW 1400
THEN VALVE 23 SETTING IS 1400

RULE 7
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 4.8
AND VALVE 23 SETTING ABOVE 3000
THEN VALVE 23 SETTING IS 3000
RULE 8
IF TANK 4 LEVEL ABOVE 4.8
AND VALVE 23 SETTING BELOW 1000
THEN VALVE 23 SETTING IS 1000

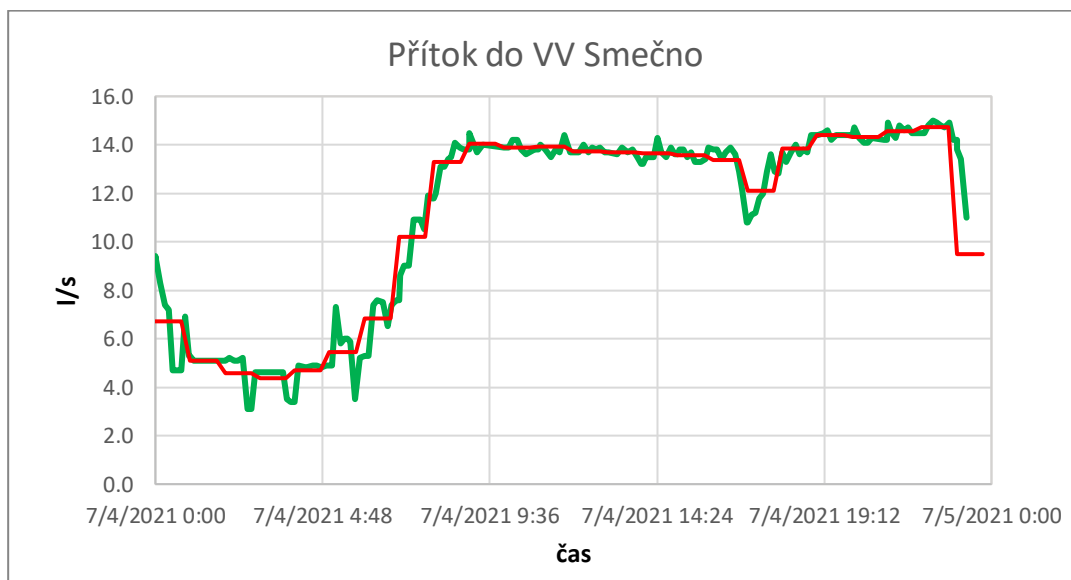
```

Obrázek 82. Řízení VV Smečno při plnění a prázdnění (vč. hystereze)

Porovnání reálných a modelovaných dat

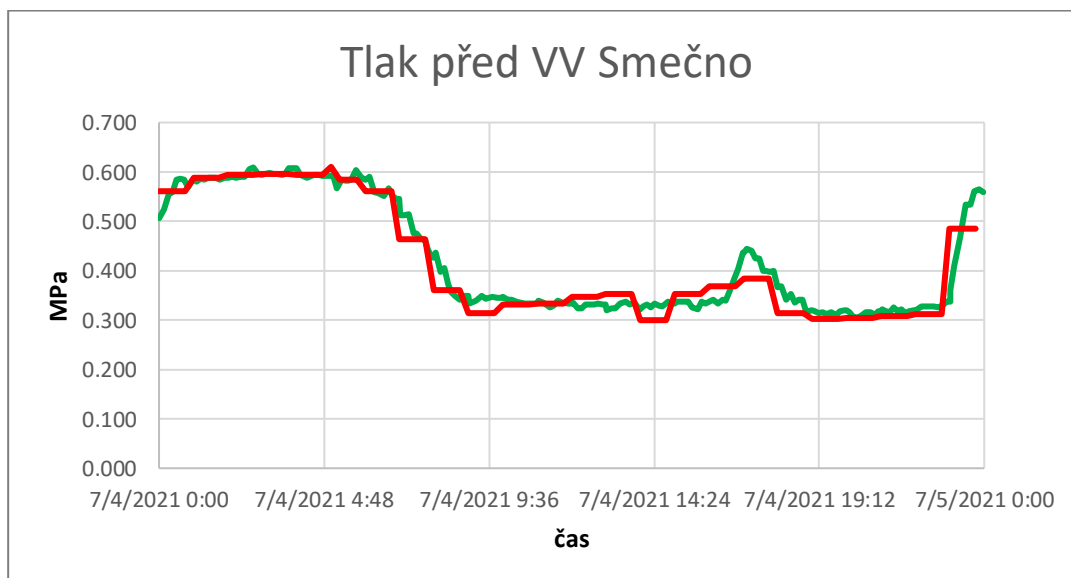
Posouzení dat pro VV Smečno. Porovnávají se měřená a modelovaná data pro přítok do vodojemu, tlak na přivaděči před vodojemem a hladina vody ve vodojemem. Data se posuzují pouze na základě vizuální shody.

V následujících grafech je měřená veličina zobrazena zeleně, modelovaná veličina červeně.



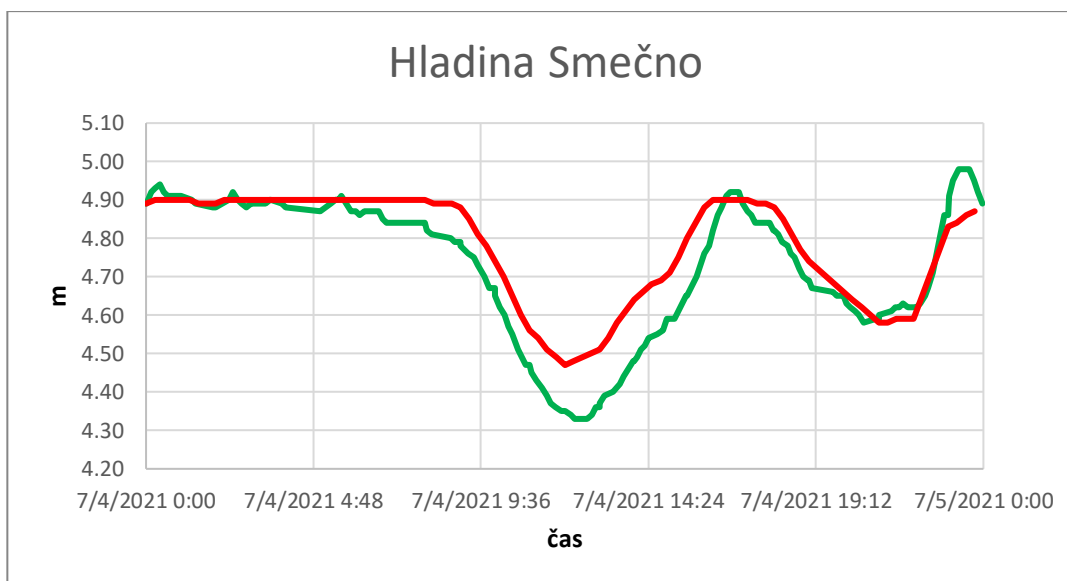
Obrázek 83. Přítok do VV Smečno modelová/měřená data 4.7.2021

Na Obrázek 83 je porovnání dat na přítoku do vodojemu. Musíme vzít v potaz, že modelová data jsou zprůměrovaná do jednotlivých hodin denní nerovnoměrnosti. Špičky v přítoku jsou tedy zprůměrované. V tento den byl značně vysoký přítok vody do vodojemu po značnou délku dne.



Obrázek 84. Tlak na přivaděči před VV Smečno 4.7.2021

Tlak na přivaděči Obrázek 84 má minimální hodnotu 0,33 MPa. Tento nízký tlak je udržován po značnou část dne. Hodnota koresponduje s Obrázek 83, kde je patrný vysoký přítok do vodojemu ve stejnou dobu jako jsou měřené nízké tlaky na přivaděči. Můžeme říct, že namodelovaná data korespondují s daty měřenými.

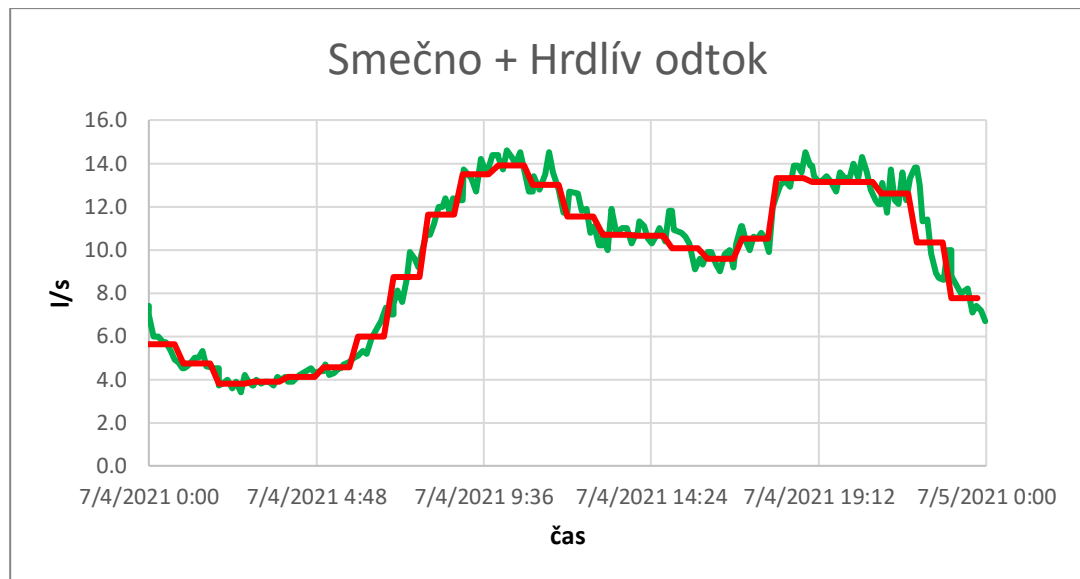


Obrázek 85. Hladina vody ve VV Smečno 4.7.2021

Po nastavení hystereze pro napouštění a vypouštění vody z vodojemu se modelovaná hladina velmi podobá hladině reálné. V potaz je nutné brát to, že vodojem je řízen lidskou obsluhou a v modelu je těžké její řízení namodelovat. V podstatě jsme se snažili namodelovat chování obsluhy. Ta se může v denní dobu měnit a je nestálá. Bez hysterezní křivky by se vodojem vypouštěl i napouštěl mnohem rychleji, než jak je řízen v reálném čase.

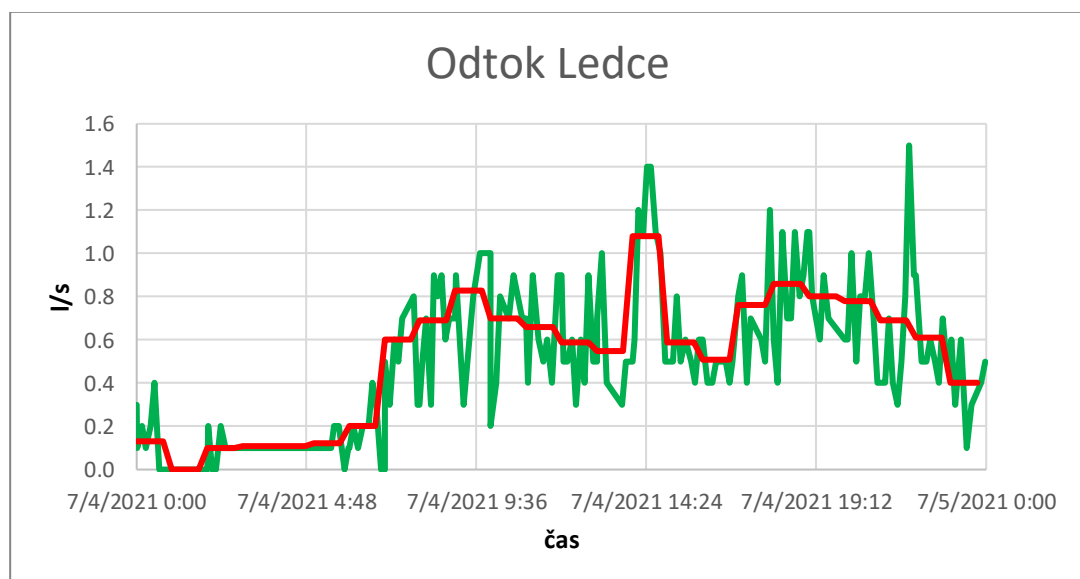
Posouzení odběrů z VV Smečno

Na Obrázek 86 je znázorněn odtok do města Smečna a do následujících spotřebišť. Průtok je řízen dle Demand Pattern, který byl zadán jednotlivým odběrům. Hodnota odběrů je brána jako průměrná hodnota v měsíci červenci.



Obrázek 86. Odtok do Smečna 4.7.2021

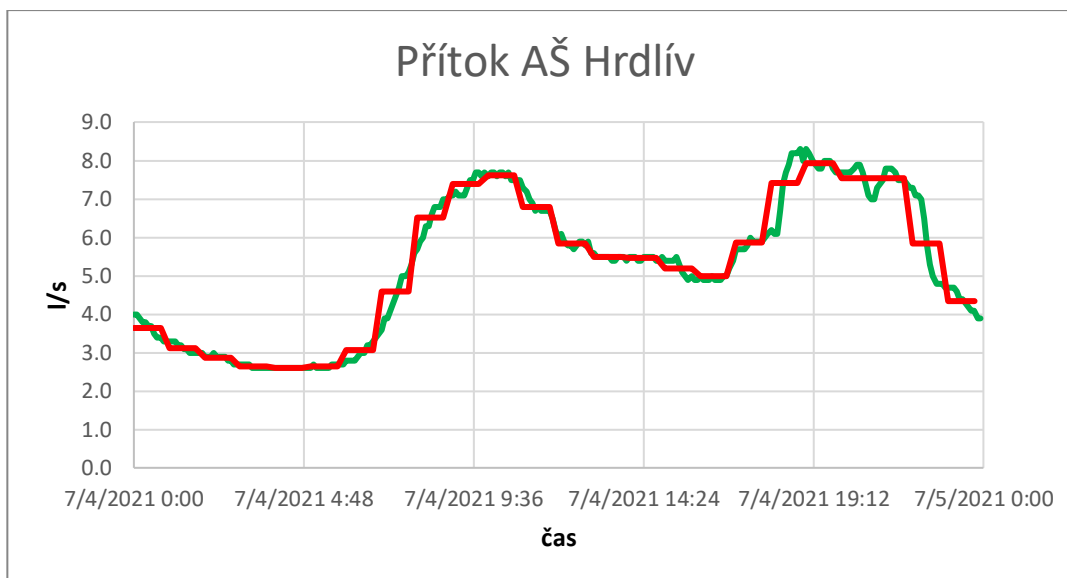
Dalším odtokem z VV Smečno je odběr do spotřebiště Ledce. Spotřebiště je malé a denní nerovnoměrnost je velice rozkolísaná. Namodelovaná data jsou hladší, protože vychází z průměrovaných hodnot. Velké výkyvy odtoku nejsou v modelu zaznamenány. Pro větší přesnost by musela být denní nerovnoměrnost rozdělena po kratších intervalech, než je 1 hodina. Přesto je zřejmé, že křivky korespondují. (Obrázek 87)



Obrázek 87. Odtok do spotřebiště Ledce 4.7.2021

Posouzení přítoku a tlaku v AŠ Hrdlív

Odběr z AŠ Hrdlív má přidělenou vlastní denní nerovnoměrnost. Na Obrázek 88 je přítok do šachty.



Obrázek 88. Přítok do AŠ Hrdlív 4.7.2021

Na Obrázek 89 je tlak před AŠ Hrdlív. Voda do AŠ Hrdlív teče skrz spotřebič Smečno. Tlak v nízkých průtocích na začátku dne příliš nesedí, důvodů může být několik. Tím, že voda protéká spotřebičem je možné, že některý ventil může být přiškrácený. Někde může být jiná dimenze potrubí, než je mi známá. Tlak za vyšších průtoků sedí. Je pro nás důležité, aby tlak seděl v momentě, kdy protéká větší průtok.

Zdrsněním potrubí jsme lepšího výsledku nedosáhli.



Obrázek 89. Tlak před AŠ Hrdlív 4.7.2021

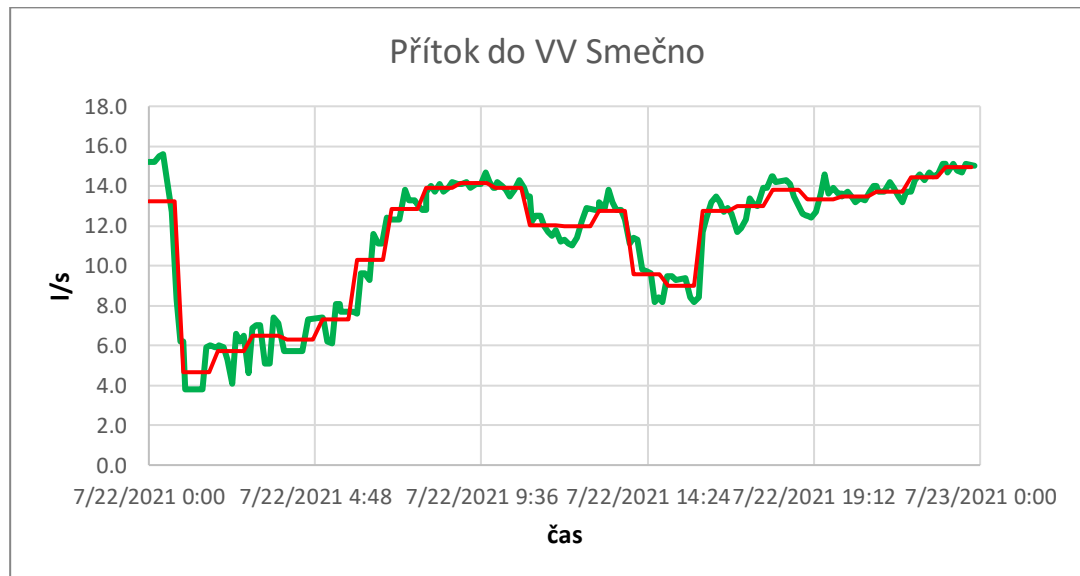
3.4.4 Verifikace

Po úspěšné kalibraci byl model použit pro jiný den v červenci 2021, aby byl zvalidován. Náhodně jsem vybrala 22.7.2021. tento den vychází na čtvrtek.

V modelu byl změněn Demand Pattern odběrům pro den 22.7.2021. Jinak zůstalo vše stejné.

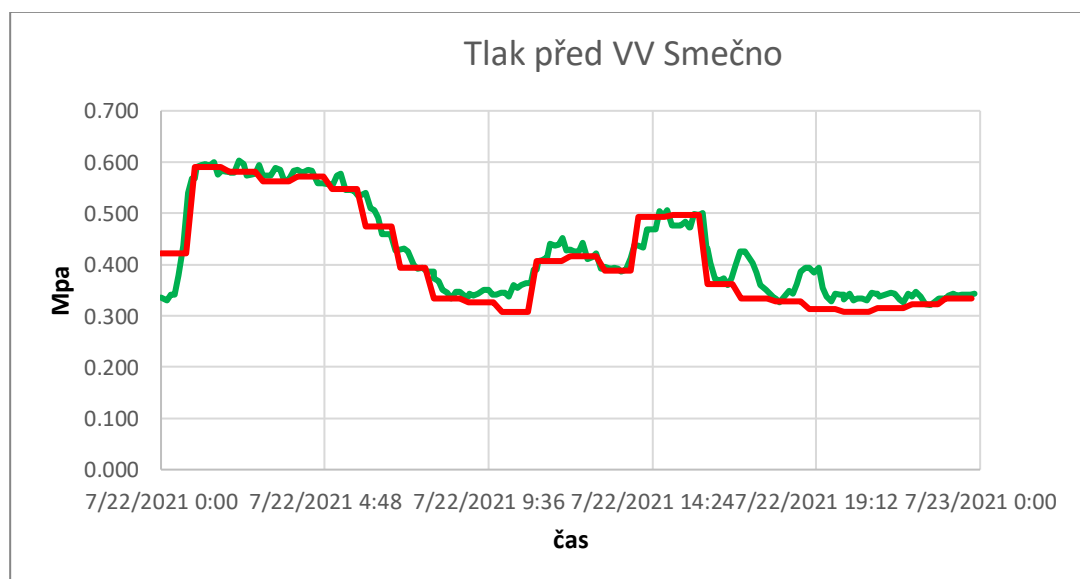
Porovnání reálných a modelovaných dat

Posouzení dat pro VV Smečno. Posuzují se stejné veličiny jako při kalibraci. Na Obrázek 90 je přítok do vodojemu.



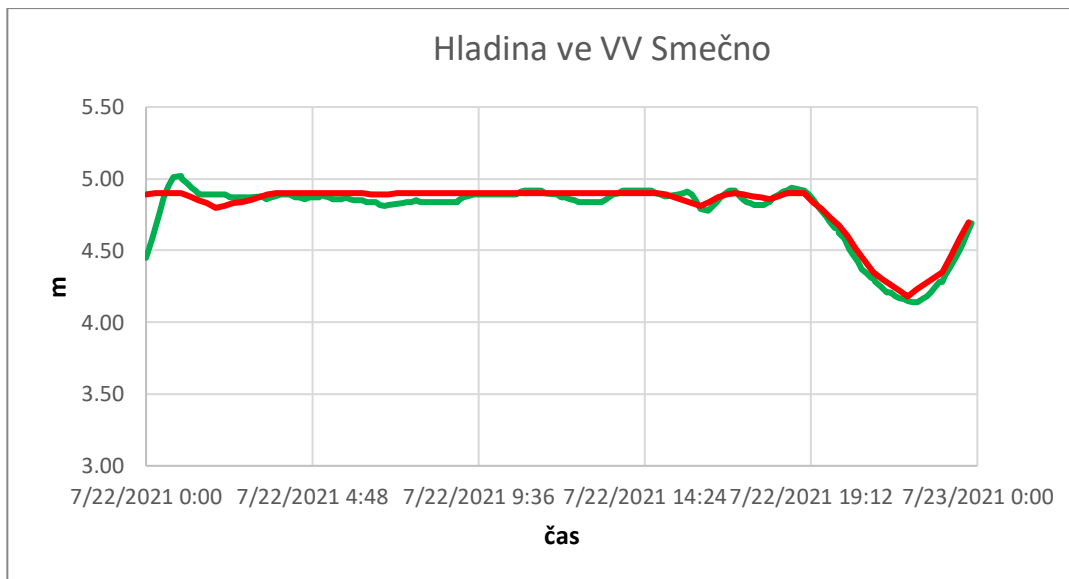
Obrázek 90. Přítok do VV Smečno 22.7.2021

Na Obrázek 91 je zobrazen tlak před vodojemem VV Smečno.



Obrázek 91. Tlak v přivaděči před VV Smečno 22.7.2021

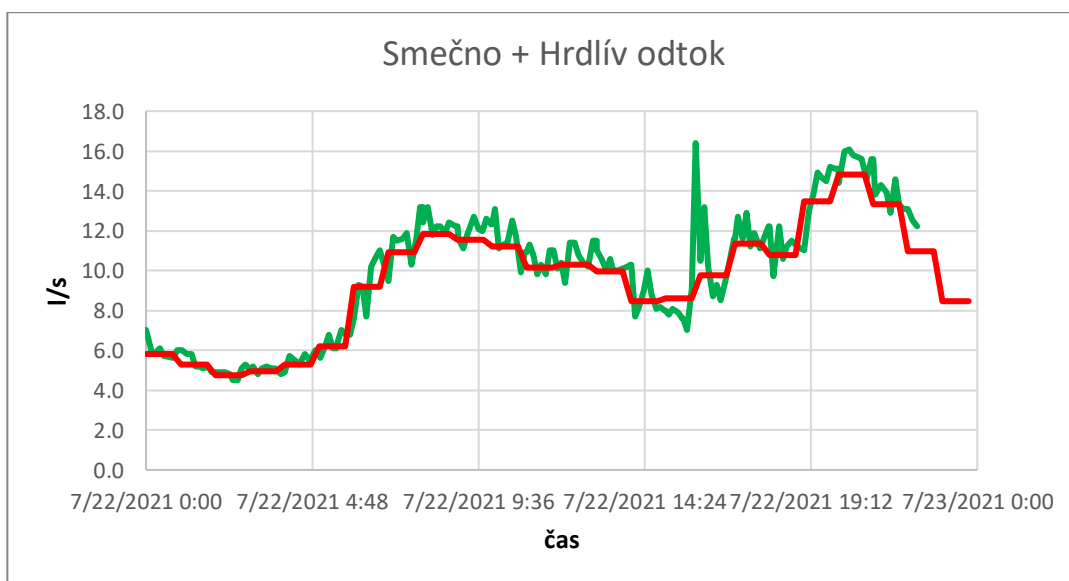
Hladina ve vodojemu reálně naměřená a modelovaná jsou téměř totožné.



Obrázek 92. Hladina ve VV Smečno 22.7.2021

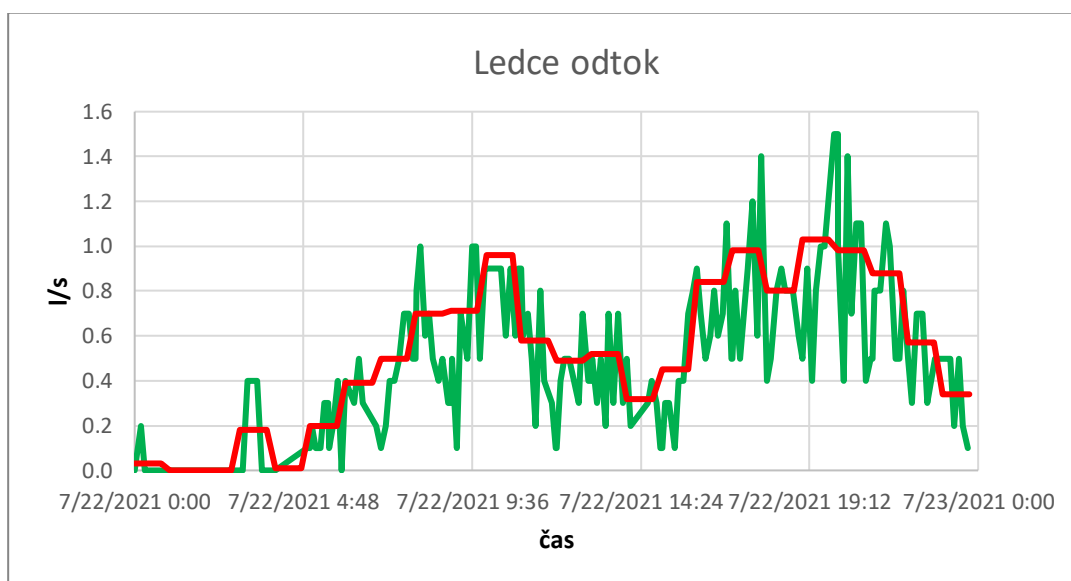
Posouzení odběrů z VV Smečno

Na Obrázek 93 je odtok do města Smečna a následujících spotřebišť.



Obrázek 93. Odtok do spotřebišť Smečno a Hrdlív 22.7 2021

Na Obrázek 94 je znázorněn odtok do obce Ledce.



Obrázek 94. Odtok do spotřebiště Ledce 22.7.2021

Na Obrázek 95 je přítok do AŠ Hrdlív.



Obrázek 95. Přítok do AŠ Hrdlív 22.7.2021

Tlak v AŠ Hrdlív je stejně jako v kalibraci zasažena neznámou chybou. Bylo by na místě další prověření sítě. Tlak při vysokém průtoku sedí s naměřenými daty. To je pro nás důležité.



Obrázek 96. Tlak v AŠ Hrdlív 22.7.2021

3.1 Posouzení přivaděče a VV Smečno

Po kalibraci a verifikaci modelu bylo možné přejít k jeho používání. Posoudila se celá soustava, hlavně tedy přivaděcí řad a vodojem Smečno.

3.1.1 Posouzení stávajícího stavu

Pro posouzení stávajícího stavu se použili hodnoty průměrného měsíčního odběru v červenci 2021 Q_p červenec viz Tabulka 17. odběrům se vložil průměrný Demand Pattern pro měsíc červenec.

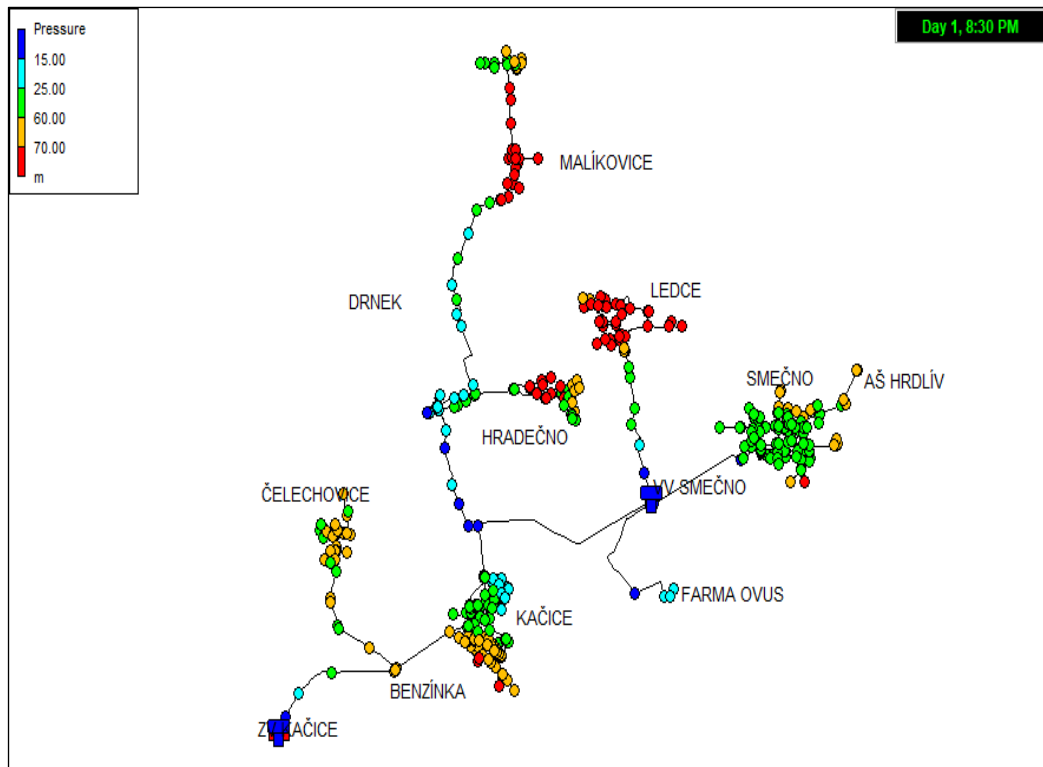
Soustava je posuzována v 20:30 hodin z důvodu největších odběrů.

Na Obrázek 97 je tlak v soustavě v 20:30 hodin. Tmavě modrá barva zobrazuje body, kde je tlak menší než 15 m vodního sloupce. Z obrázku je zřejmé, že potrubí přivaděčící vodu do obcí Hradečno má velmi nízké tlaky. I severní část obce Kačice má potíže. Toto jsou rovněž části, kde by při snížení tlaku před VV Smečno o více jak 0,33 MPa docházelo k podtlakům. Ostatní spotřebišť by problém s tlakem mít neměly, jak ukazuje simulace.

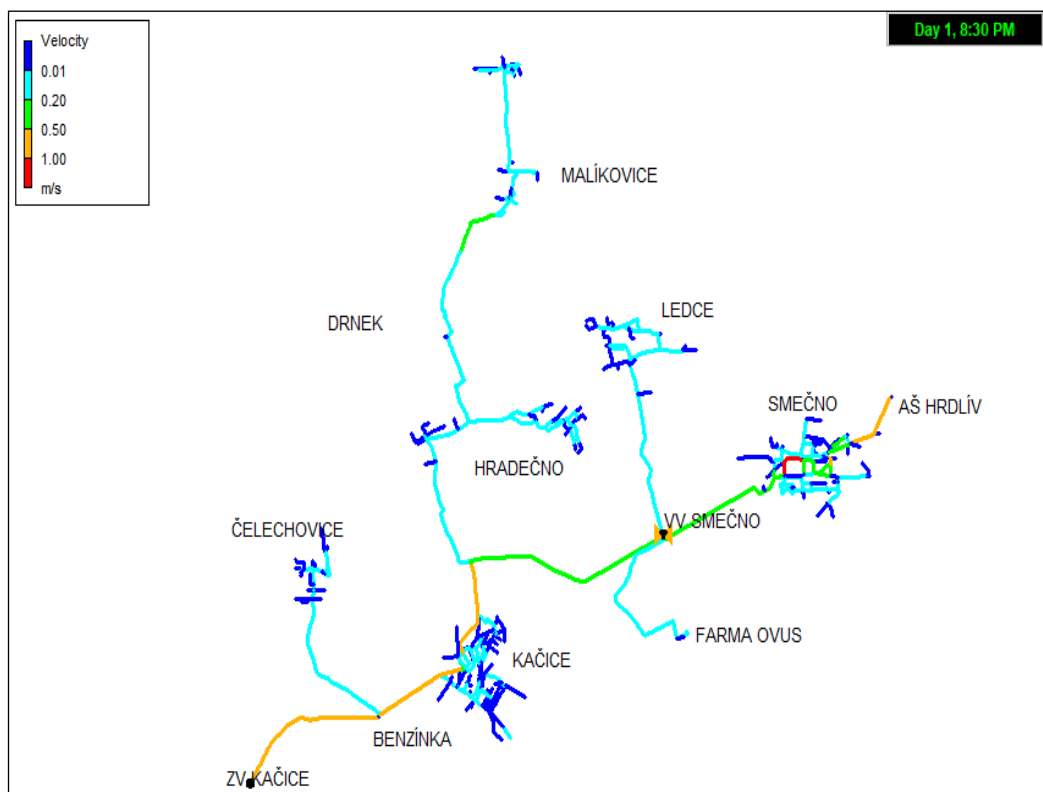
Rychlosti v první části přivaděče se pohybují kolem 1 m/s. dále se rychlost snižuje na 0,5 m/s. Rychlosti ve spotřebišťích se pohybují převážně pod 0,2 m/s.

Tlaková ztráta v m/km je nejvýznamnější v úseku přivaděče s dimenzí PE 160 (Obrázek 99). Zde je ztráta větší než 9 m/km. Další kritický úsek je přítok do AŠ Hrdlív zde je dimenze potrubí PE 110 a tlaková ztráta zde činí přes 13 m/km.

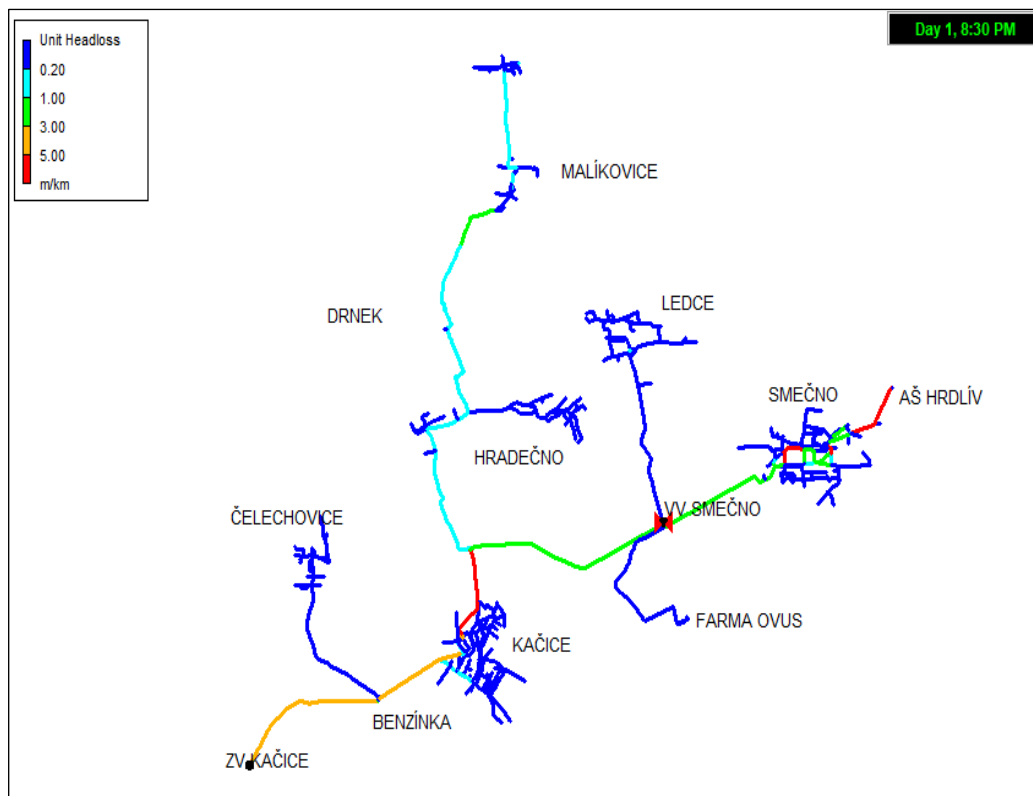
Poslední namáhaný úsek se nachází ve spotřebišti Smečno, kde protéká největší průtok, který dále pokračuje do AŠ Hrdlív. Zde je tlaková ztráta dokonce 21 m/km.



Obrázek 97. Tlak ve stávající soustavě 20:30 hod



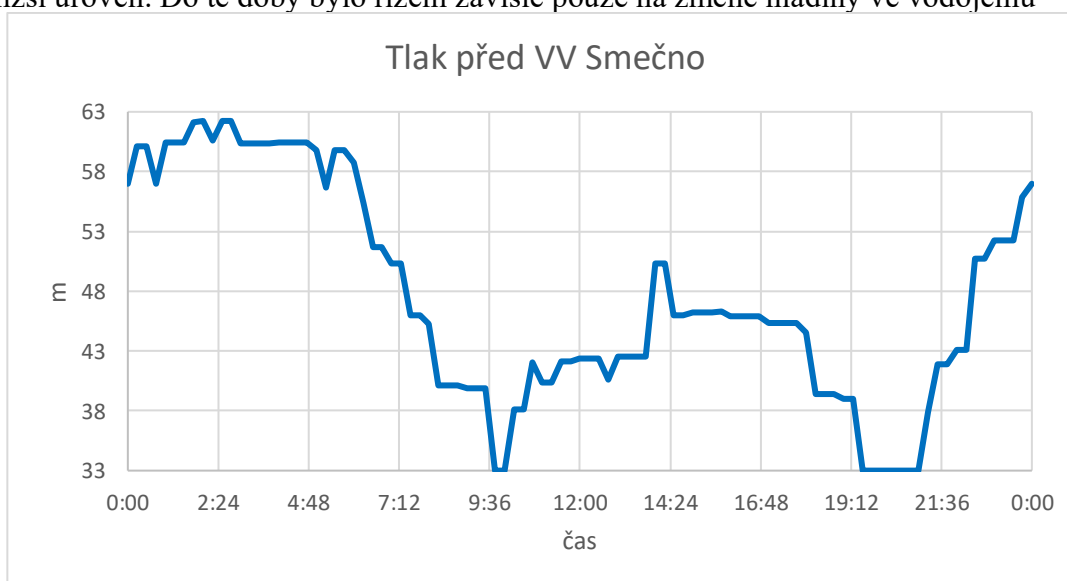
Obrázek 98. Rychlosti v soustavě ve 20:30 hod



Obrázek 99. Tlakové ztráty v m/km

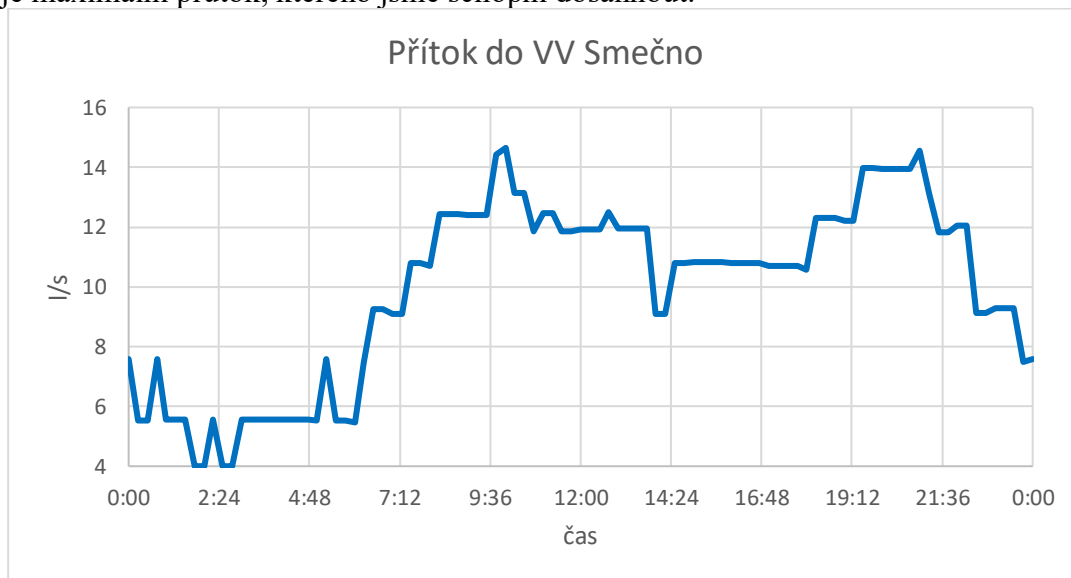
Pro průměrný den byly vytvořeny grafy tlaku před VV Smečno, přítoku do vodojemu a hladiny vody ve vodojemu.

Na Obrázek 100 je znázorněn denní průběh tlaku pro průměrný den. Na začátku dne během nízkých odběrů vody je tlak roven přibližně statickému tlaku. Hladina v ZV Kačice se bere jako maximální. Během dne dojde jen ke dvěma intervalům, kde tlak spadne na nejnižší úroveň. Do té doby bylo řízení závislé pouze na změně hladiny ve vodojemu



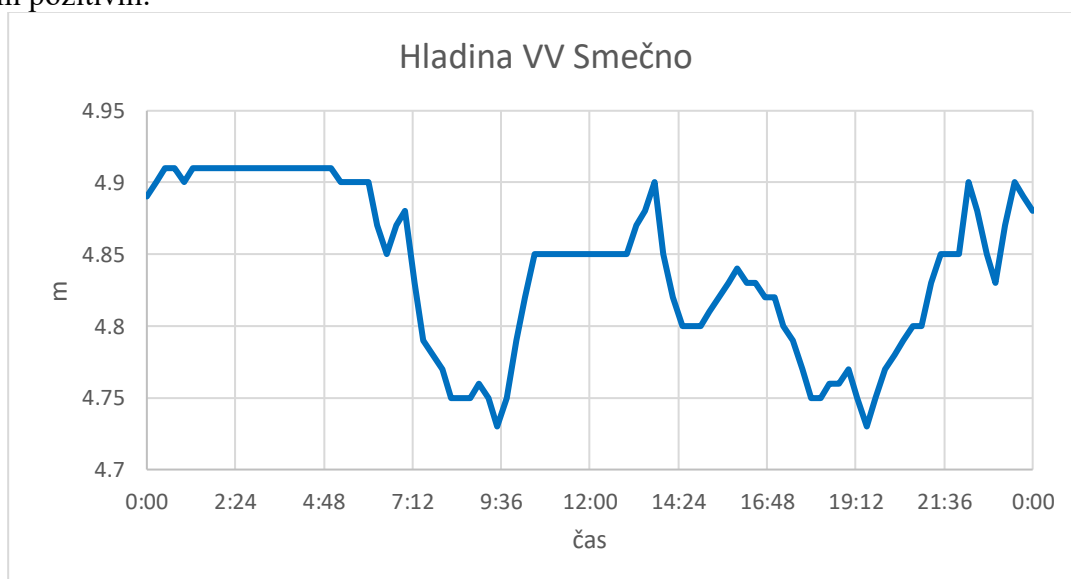
Obrázek 100. Průběh tlaku před VV Smečno pro průměrný den

Na Obrázek 101 je vidět přítok do vodojemu během dne. Během noci je nátok nízký, hladina ve vodojemu je plná. Během denních špiček přítok naroste až na průtok 14,6 l/s, což je maximální průtok, kterého jsme schopni dosáhnout.



Obrázek 101. Přítok do vodojemu pro průměrný den

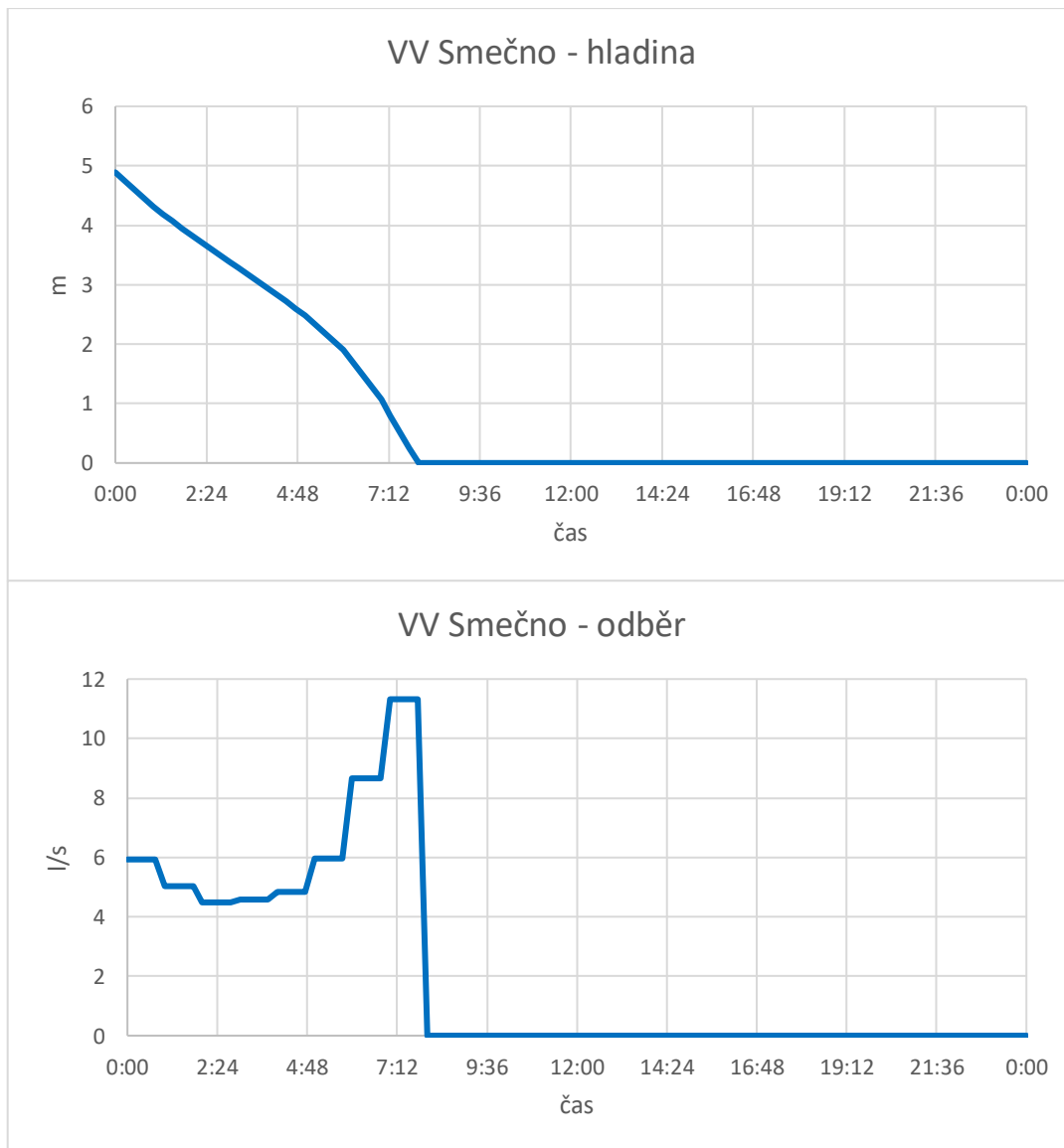
Na Obrázek 102 je vidět měnící se hladina vody ve vodojemu Smečno během dne. Vodojem během dne neklesne více jak pod 14 cm od úrovně naplnění. Toto zjištění je velmi pozitivní.



Obrázek 102. Hladina ve vodojemu pro průměrný den

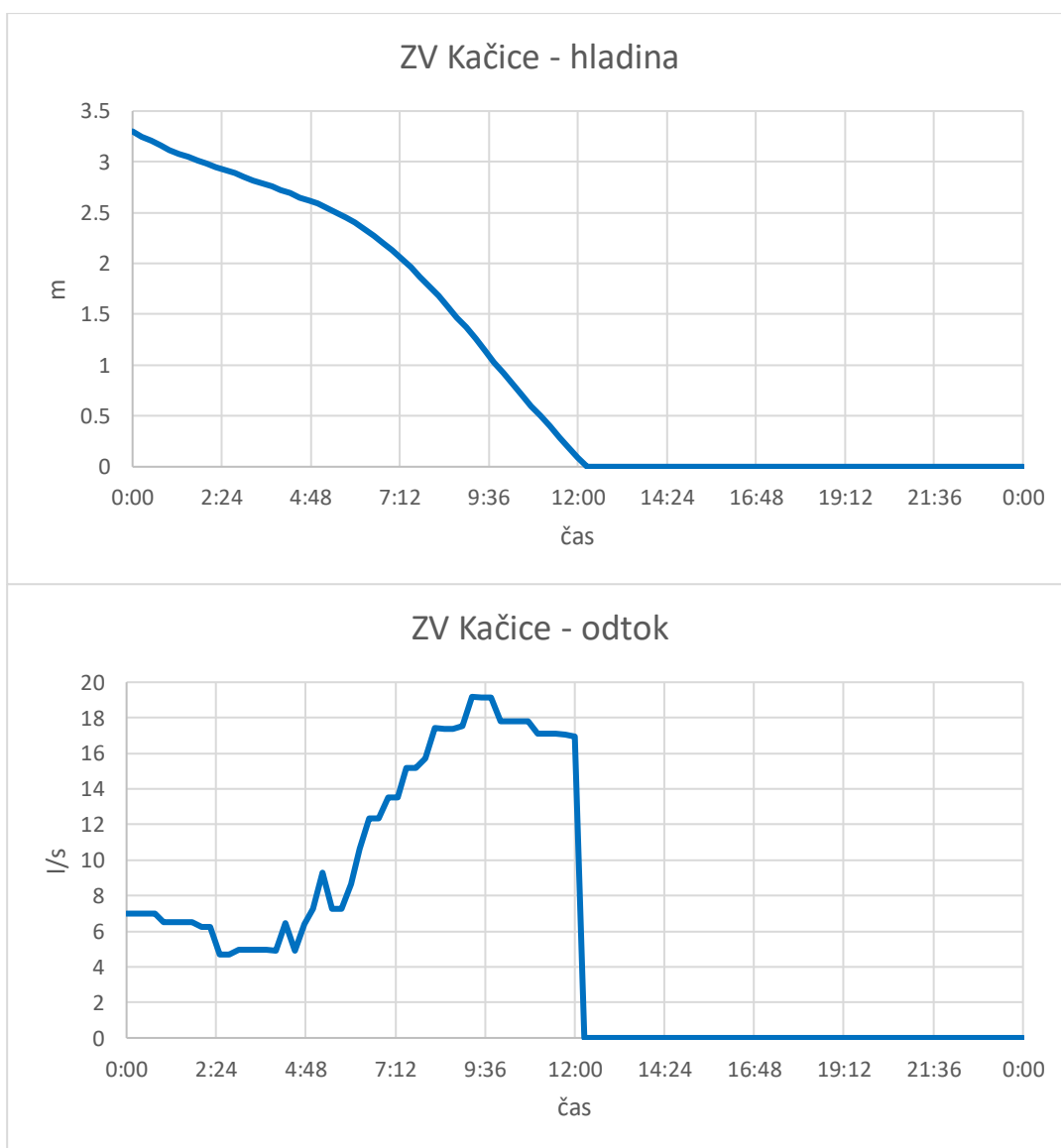
Na Obrázek 103 je zobrazen průběh vypouštění vodojemu Smečno v případě přerušení dodávky vody do vodojemu. Čas poruchy začíná o půlnoci. V tuto dobu jsou odběry nejmenší a výsledný čas, za který se vodojem vyprázdní je nejdelší. V jiných denních dobách se čas zkracuje.

Vodojem by měl být bez vody v 8:15 ráno. Pak nastanou provozní potíže.



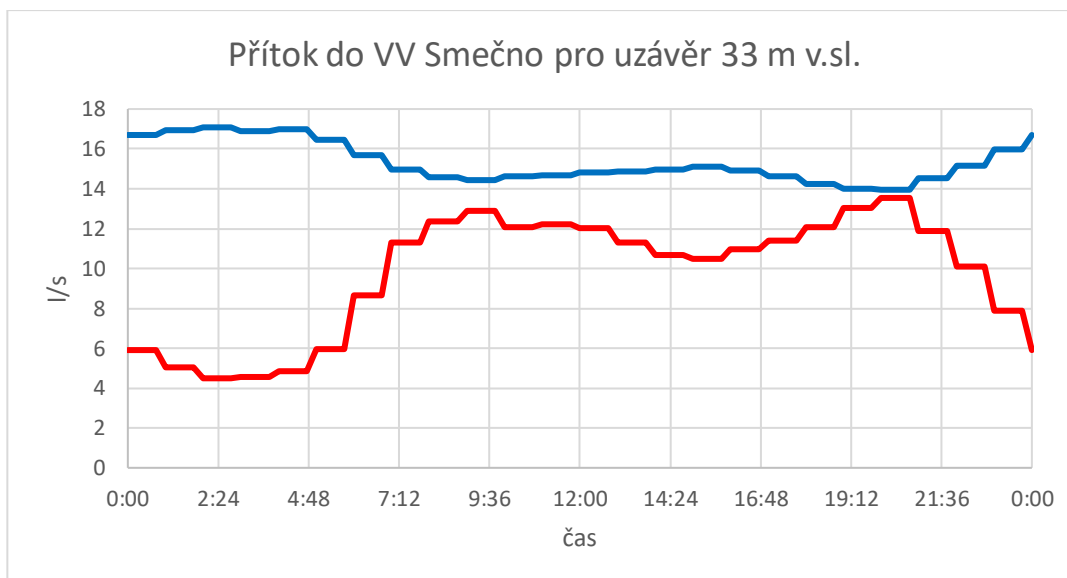
Obrázek 103. Změna hladiny a odběr z VV Smečno – vypouštění vodojemu

Stejný zátěžový stav byl použit i pro ZV Kačice. Kdyby vypadly oba přítoky do vodojemu. Vodojem se vyprázdní ve 12:15. Rovněž se se simulací začalo o půlnoci a čas vyprázdnění vodojemu je nejdelší.



Obrázek 104. Změna hladiny a odběr ze ZV Kačice – vypouštění vodojemu

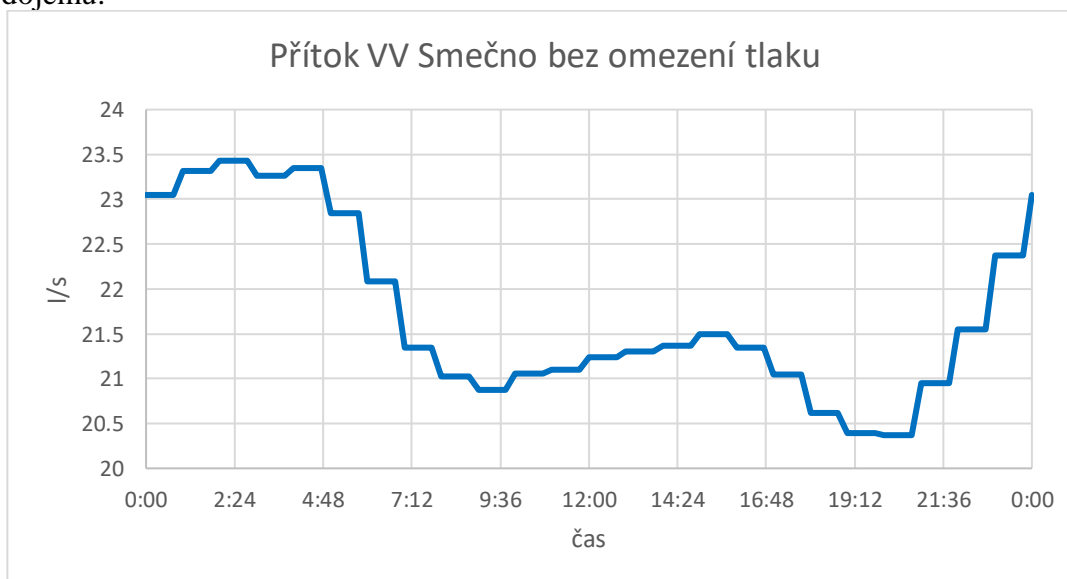
Následně byl posouzen přivaděč a jeho kapacita. Ve VV Smečno se nastavila maximální hladina na 0, abychom získali hodnoty pro přivaděč neovlivněné hladinou.



Obrázek 105. Kapacita přivaděče pro stávající stav

Na Obrázek 105 je modrou barvou znázorněn maximální přítok do VV Smečno během dne. Z přivaděče je odebírána voda pro spotřebiště. Nejvyšší hodnota přítoku je 17 l/s ve 2:00 ráno. Tento přítok je limitován hodnotou tlaku 0,33 MPa před vodojemem, aby soustava byla provozuschopná.

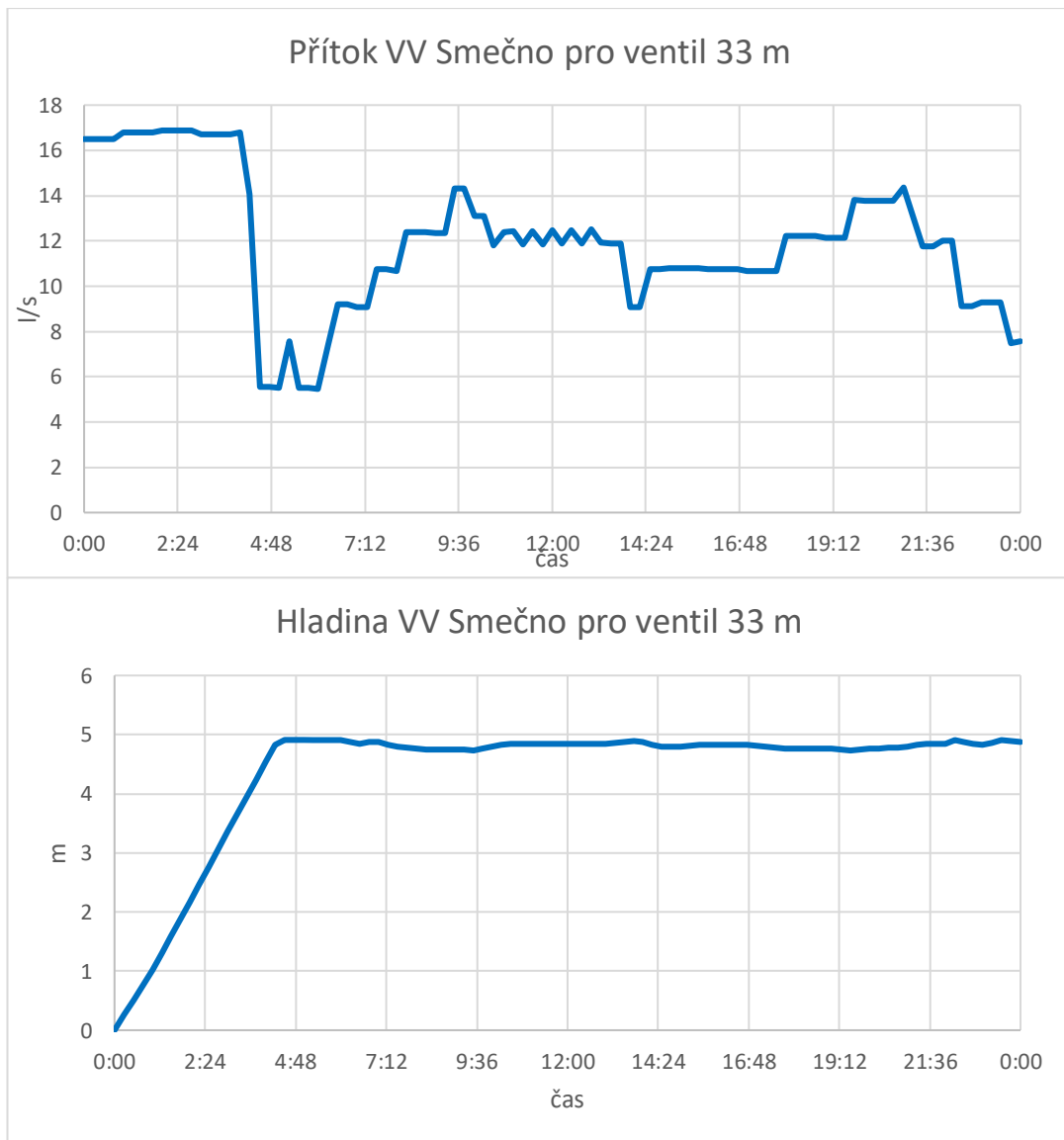
Červenou barvou je znázorněn odtok do spotřebišť Ledce, Smečno a další. Na tomto grafu je vidět, že pro průměrný den je přivaděč kapacitnější než voda odebíraná z vodojemu.



Obrázek 106. Kapacita přivaděče na přítoku do vodojemu bez omezení tlaku

Na Obrázek 106 je maximální kapacita přivaděče před VV Smečno bez omezení tlaku na přítoku do vodojemu. V soustavě tedy dochází k nebezpečným podtlakům.

Další stav je zobrazen na Obrázek 107 kde je ukázáno dopouštění vodojemu. Čas dopouštění začíná od půlnoci, průtok je zde největší a vodojem se dopustí nejrychleji. Nejrychlejší doba dopouštění je ve 4:45 ráno.



Obrázek 107. Plnění VV Smečno a hladina ve vodojemu pro stávající stav

Shrnutí

Průměrný den pro stávající stav vodovodní sítě vyšel z hlediska posouzení příznivě. Kapacita přivaděče je dostatečně velká, aby pokryla odtok do spotřebiště z vodojemu. Hladina vody ve vodojemu neklesne v průběhu dne o víc než 14 cm. Vodojem je rovněž schopný být v nejlepším případě až 8 hodin bez vody, za předpokladu, že porucha dodávky vody začne o půlnoci. Přítok je řízen dle hladiny. Tlak jen ve dvou intervalech dosáhne svého minima. V nejlepším případě je vodojem schopný se dopustit do 5 hodin.

Pro tento stav není nutné navrhovat jakékoli opatření.

3.1.2 Posouzení stávajícího stavu pro maximální odběr Q_{max}

Pro tento zátěžový stav se všechny hodnoty odběru navýšily o 20 %. Toto má simulovat nadprůměrný odběr. Demand Pattern zůstal stejný jako při posouzení stávající stavu s průměrným odběrem. Soustava je rovněž posuzována pro čas 20:30 hodin, kdy dochází k nejvyšším odběrům.

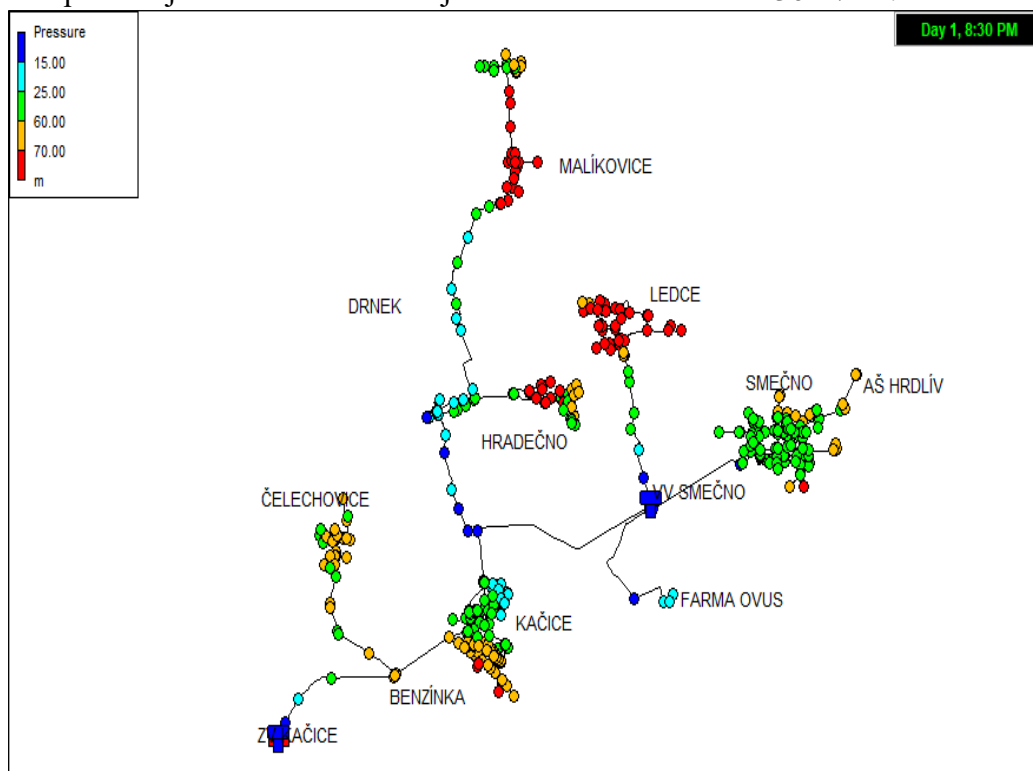
Soustava na modelu je posuzována době nejvyšších odběrů. Tedy v modelovém čase 20:30 hodin.

Na Obrázek 108 je tlak v soustavě v 20:30 hodin při navýšení odběrů o 20 % viz Tabulka 17. Tmavě modrá barva zobrazuje body, kde je tlak menší než 15 m vodního sloupce. Situace je obdobná pro stávající stav, který byl již posuzován.

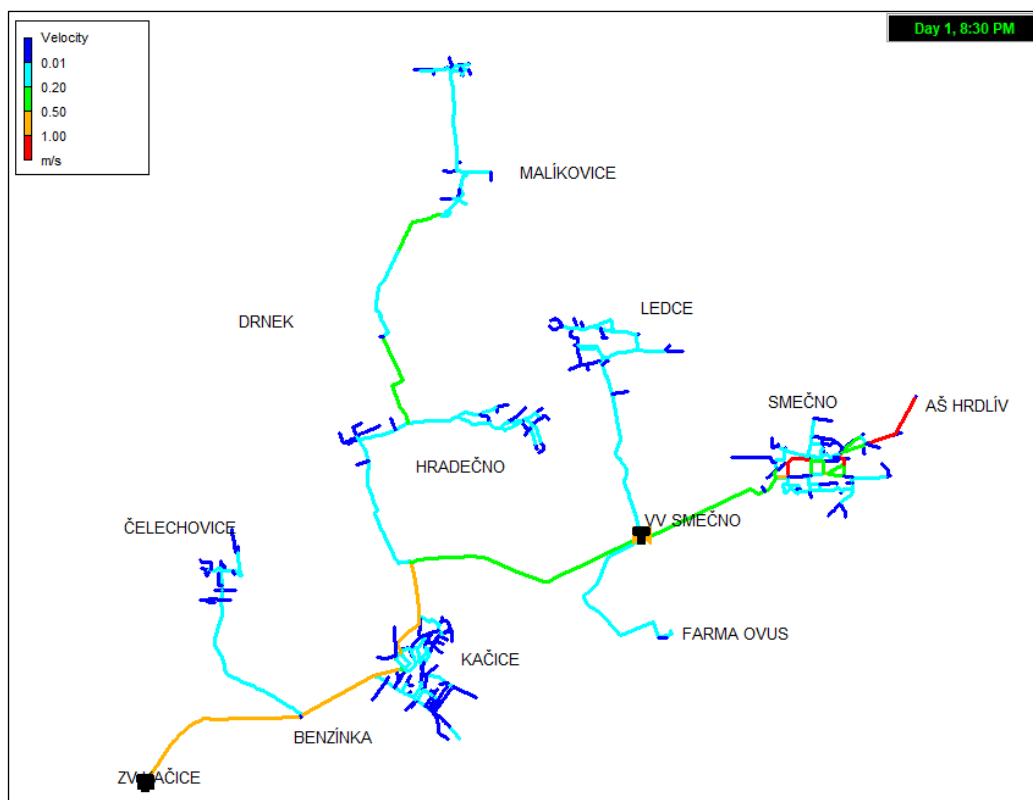
Rychlosti v první části přivaděče se pohybují kolem 1 m/s. dále se rychlost snižuje na 0,5 m/s. Rychlosti ve spotřebištích se pohybují převážně pod 0,2 m/s.

Tlaková ztráta v m/km je nejvýznamnější v úseku přivaděče s dimenzí PE 160. Zde je ztráta větší než 9 m/km. Další kritický úsek je přítok do AŠ Hrdlív zde je dimenze potrubí PE 110 a tlaková ztráta zde činí přes 19,5 m/km.

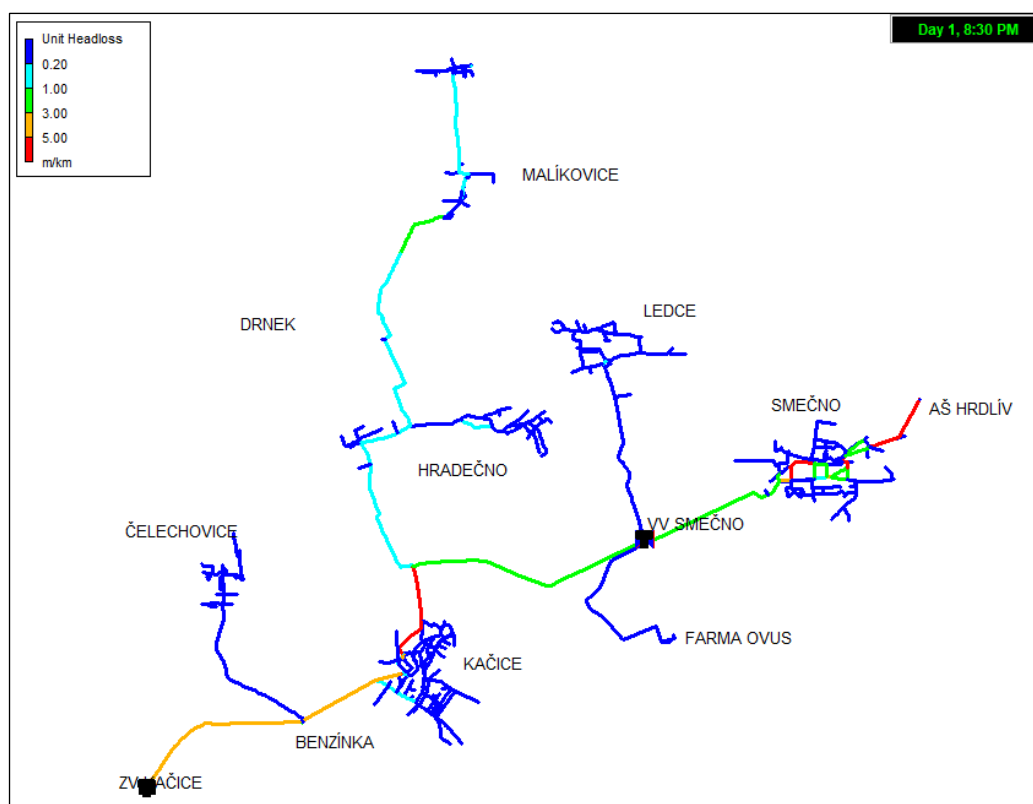
Poslední namáhaný usek se nachází ve spotřebišti Smečno, kde protéká největší průtok, který dále pokračuje do AŠ Hrdlív. Zde je tlaková ztráta dokonce 30 m/km.



Obrázek 108 Tlak ve stávající soustavě x1,2 v 20:30 hod



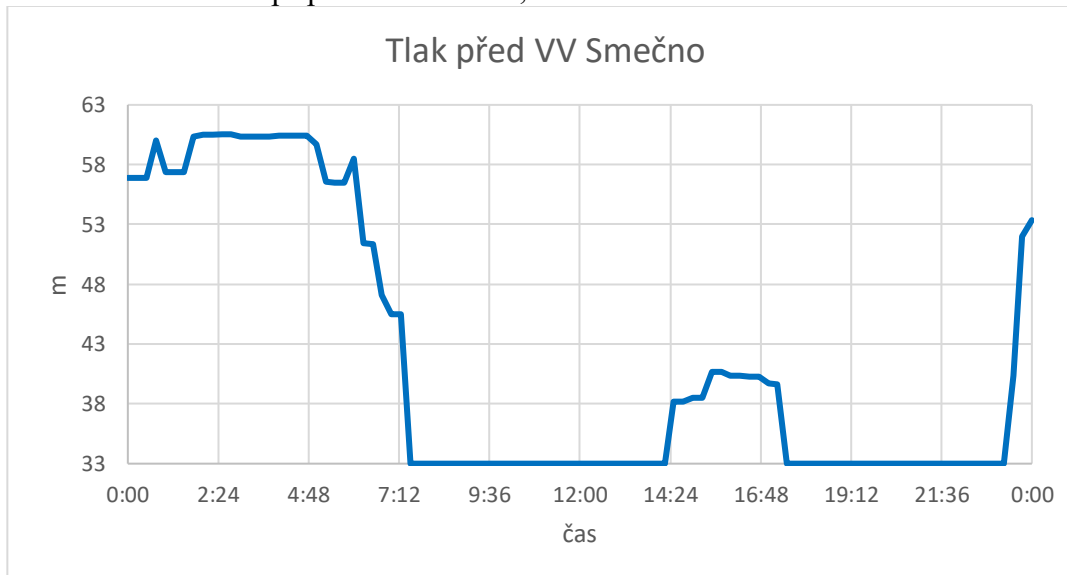
Obrázek 109. Rychlosti v soustavě x1,2 ve 20:30 hod



Obrázek 110. Plakové ztráty v m/km ve stávající soustavě x1,2

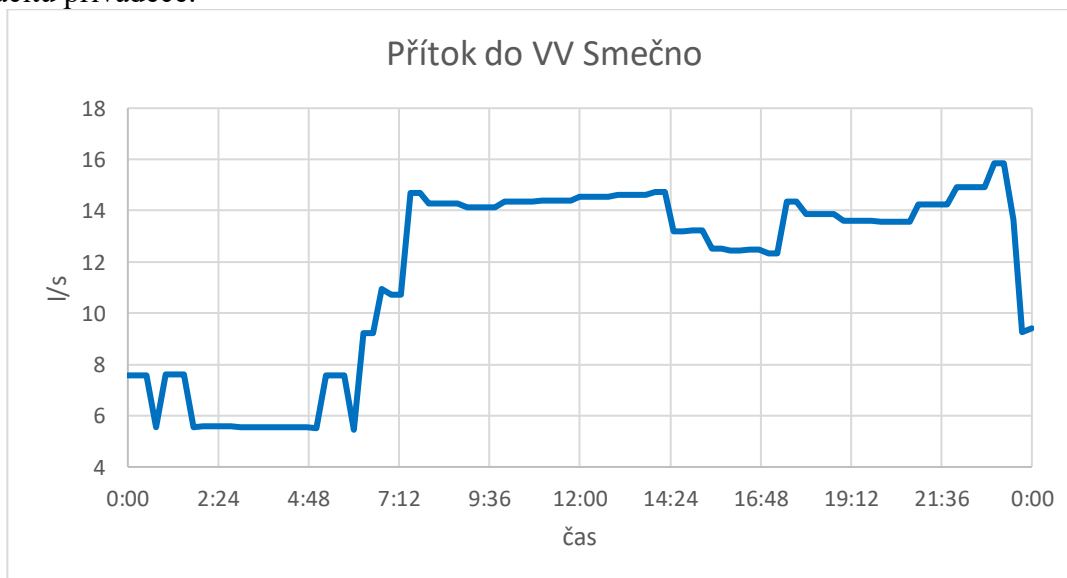
Pro průměrný den byly vytvořeny grafy tlaku před VV Smečno, přítoku do vodojemu a hladiny vody ve vodojemu.

Na Obrázek 111 je znázorněn denní průběh tlaku pro nadprůměrný den. Na začátku dne během nízkých odběrů vody je tlak roven přibližně statickému tlaku. Hladina v ZV Kačice se bere jako maximální. Během dne je napouštění VV Smečno řízeno převážně podmínkou minimálního přípustného tlaku 0,33 MPa.



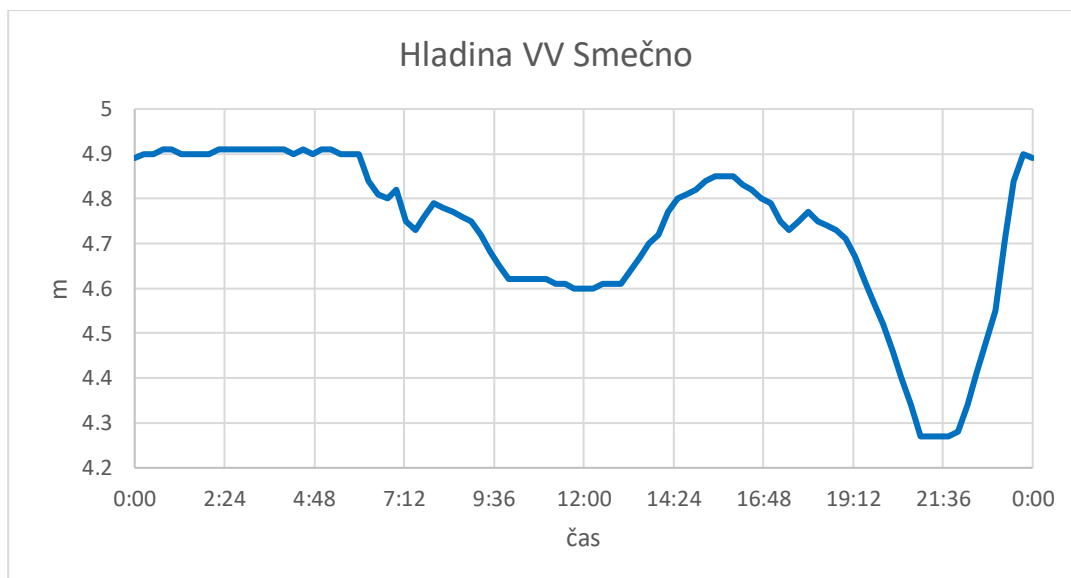
Obrázek 111. Průběh tlaku před VV Smečno pro Q max

Na Obrázek 112 je vidět přítok do vodojemu během dne. Během noci je nátok nízký, hladina ve vodojemu je plná. Během denních špiček přítok naroste až na maximální kapacitu přivaděče.



Obrázek 112. Průběh přítoku do VV Smečno pro Q max

Na Obrázek 102 je vidět měnící se hladina vody ve vodojemu Smečno během dne. Voda ve vodojemu během dne zaklesne o 63 cm na hodnotu 4,27 m. maximální pokles hladiny vody v červenci 2021 byl na hodnotu 3,38 m. Tento pokles hladiny je však ojedinělý. Nasimulovaná změna hladiny je častější.

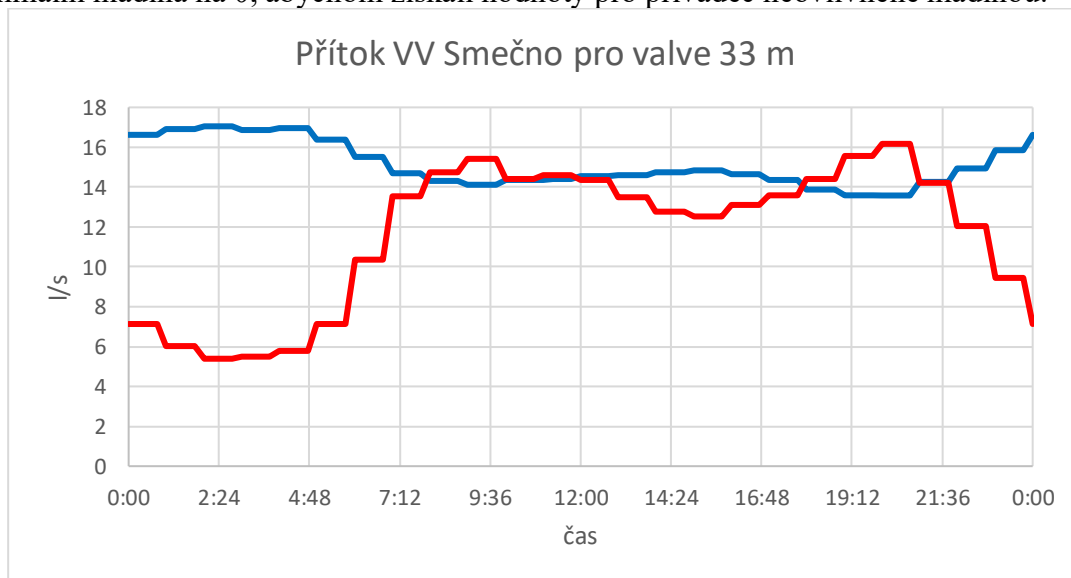


Obrázek 113. Průběh hladiny ve VV Smečno pro Q max

Průběh vypouštění vodojemu Smečno v případě přerušení dodávky vody do vodojemu při navýšení odběru o 20 % se zkrátí o 45 minut v případě, že porucha začne o půlnoci. V tuto dobu jsou odběry nejmenší a výsledný čas, za který se vodojem vyprázdní je nejdelší. V jiných denních dobách se čas zkracuje.

Vodojem by měl být bez vody v 7:30 ráno. Pak nastanou provozní potíže.

Následně byl posouzen přivaděč a jeho kapacita. Ve VV Smečno se nastavila maximální hladina na 0, abychom získali hodnoty pro přivaděč neovlivněné hladinou.



Obrázek 114. Kapacita přivaděče a Q max odběr z vodojemu

Na Obrázek 114 je modrou barvou znázorněn maximální přítok do VV Smečno během dne. Kapacita je shodná se stávající kapacitou. Z přivaděče je odebírána voda pro spotřebiče. Nejvyšší hodnota přítoku je 17 l/s ve 2:00 ráno. Tento přítok je limitován hodnotou tlaku 0,33 MPa před vodojemem, aby soustava byla provozuschopná.

Červenou barvou je znázorněn odtok do spotřebišť Ledce, Smečno a další. Na tomto grafu je vidět, že v nadprůměrný den nastanou situace, kdy je přivaděč méně kapacitní, než je množství vody odebírané z vodojemu.

Shrnutí

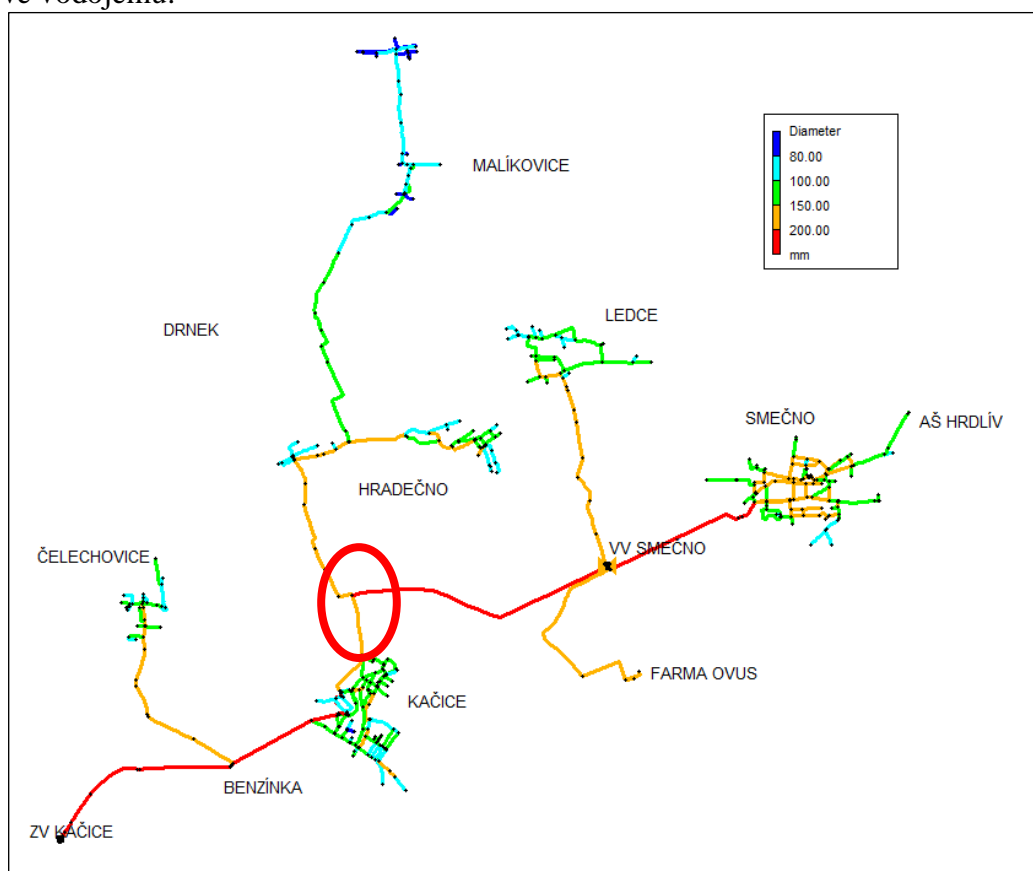
Pro stávající průměrný odběr navýšený o 20 % dochází k velkým tlakovým ztrátám na přivaděči a ve spotřebišti Smečno. Dále je odběr z vodojemu v denních špičkách vyšší než kapacita přivaděče. To dokazuje důležitost vodojemu před spotřebištem.

Ve značnou část dne je tlak v přivaděči před vodojemem udržován na minimální možné hodnotě tlaku pro funkčnost sítě 0,33 MPa. Přítok do vodojemu je po většinu dne shodný s maximální kapacitou přivaděče. Z toho plyne, že vodojem by se mohl dopouštět vyššími průtoky, ale kvůli zachování funkčnosti soustavy to není možné. Hladina ve vodojemu poklesne hlavně při denních špičkách z důvodu menšího přítoku do vodojemu, než je odtok do spotřebišť.

Na základě tohoto shrnutí byla navržena opatření, která by měla zlepšit kapacitu přivaděče a snížit provozní problémy. Jako první opatření navrhuji upravit dimenzi v úseku obce Kačice až k odbočce na obec Hradečno, kde je nyní PE 160, která bude nahrazena dimenzí 200. tato dimenze je shodná se zbylým potrubím přivaděče.

Opatření pro stávající stav

V úseku přivaděče mezi spotřebištem Kačice a odbočkou na spotřebišť Hradečno byla změněna dimenze potrubí z PE 160 na vnitřní průměr potrubí DN 200 (Obrázek 115). předpokládá se navýšení kapacity přivaděče a tím zlepšení přítoku do vodojemu a hladiny vody ve vodojemu.

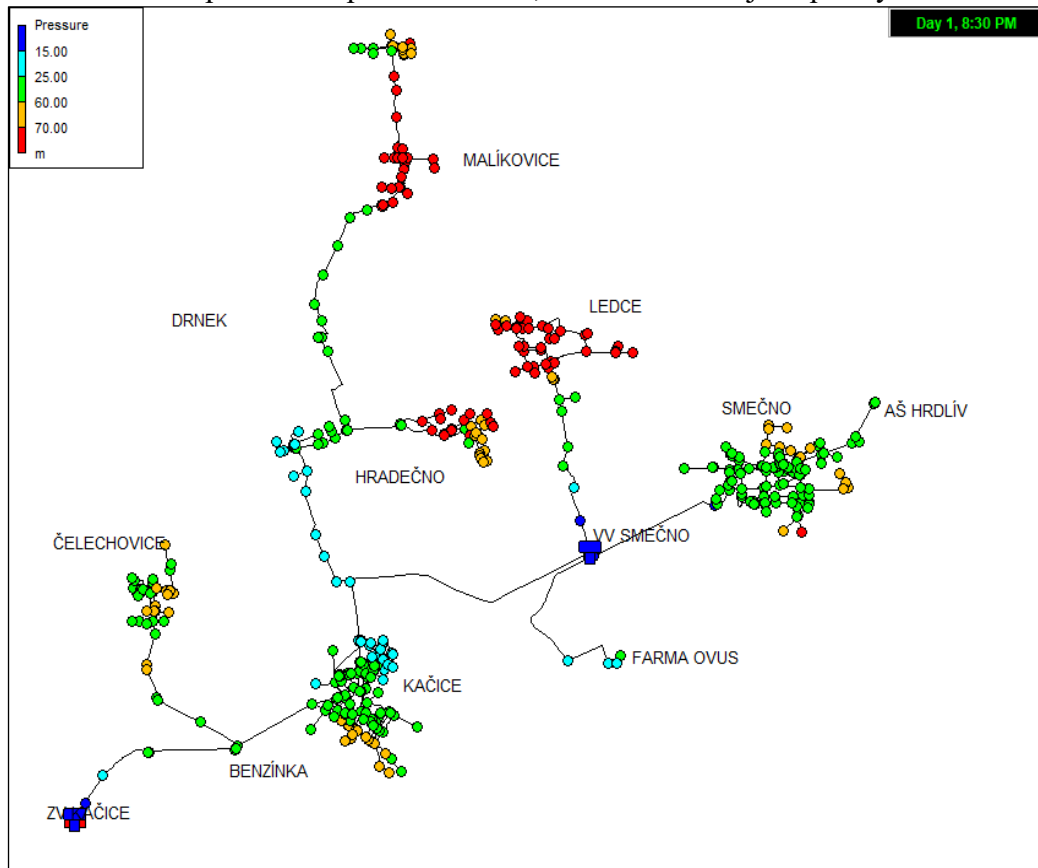


Obrázek 115. Oblast, kde je navrženo zvýšení dimenze potrubí

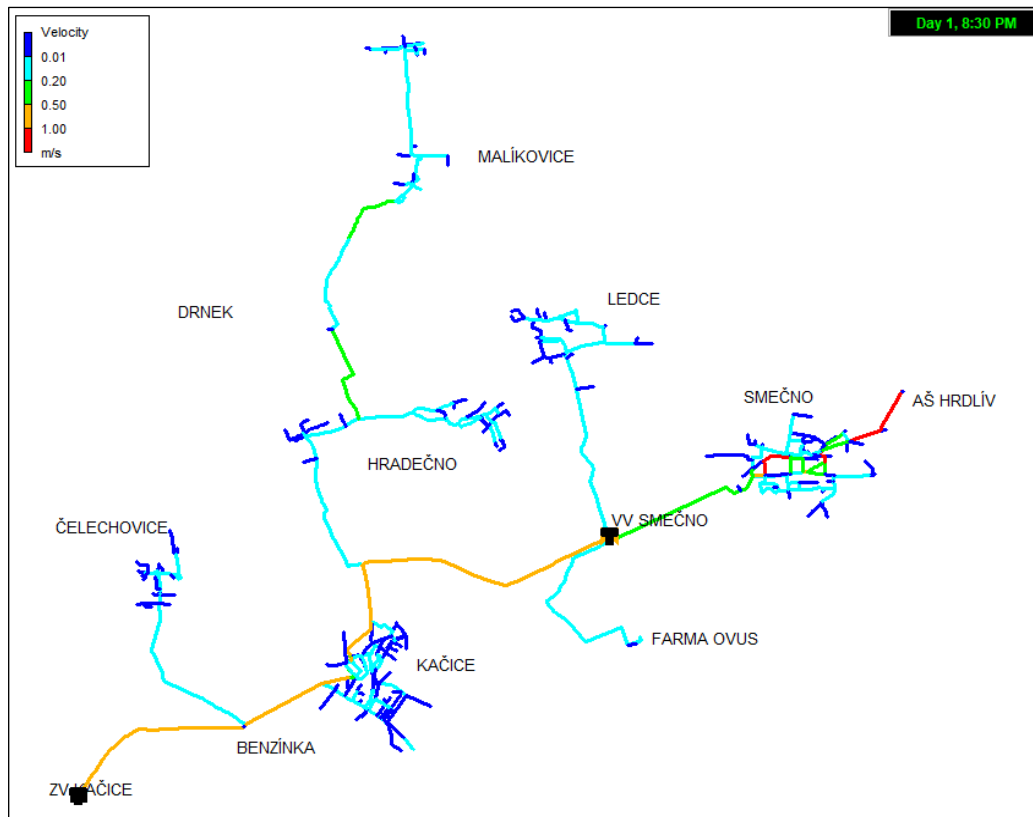
Na Obrázek 116 je zobrazen tlak v řešené oblasti v 20:30 hodin. Po zvýšení dimenze potrubí se tlakové poměry značně zlepšily. Tlak na odbočce na Hradečno se pohybuje kolem 20 m v.sl. Tlaky v západní části obce Hradečno jsou na nejnižší hodnotě 22 m v.sl. Zlepšily se i tlaky v obci Kačice v tlakovém pásmu „bytovky“ v severní části obce.

Rychlost se při nejvyšších odběrech pohybuje v celém přivaděči od 0,5 do 0,7 m/s (Obrázek 117)

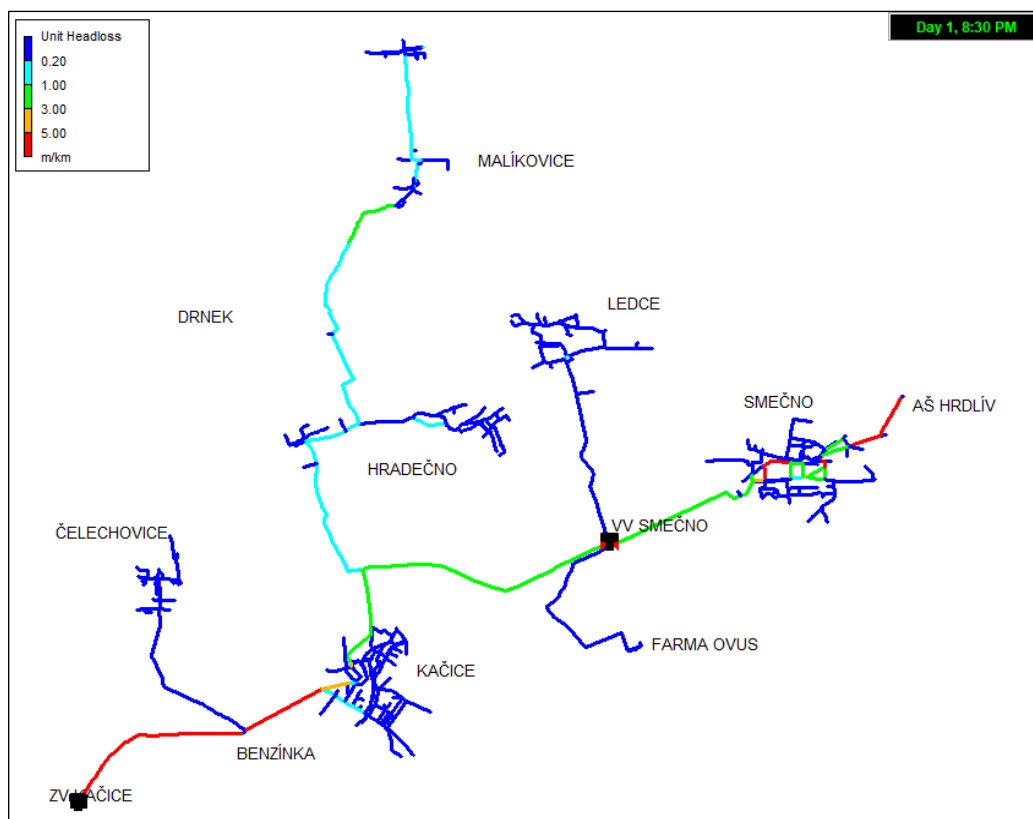
Ztráta na přivaděči se v úseku Kačice – Hradečno snížila na hodnotu 2,6 m/km. Došlo k menšímu nárůstu v první části přivaděče na 5,5 m/km. Nárůst je nepatrný.



Obrázek 116. Tlak ve stávající soustavě x1,2 po zvětšení dimenze v Kačici na DN 200

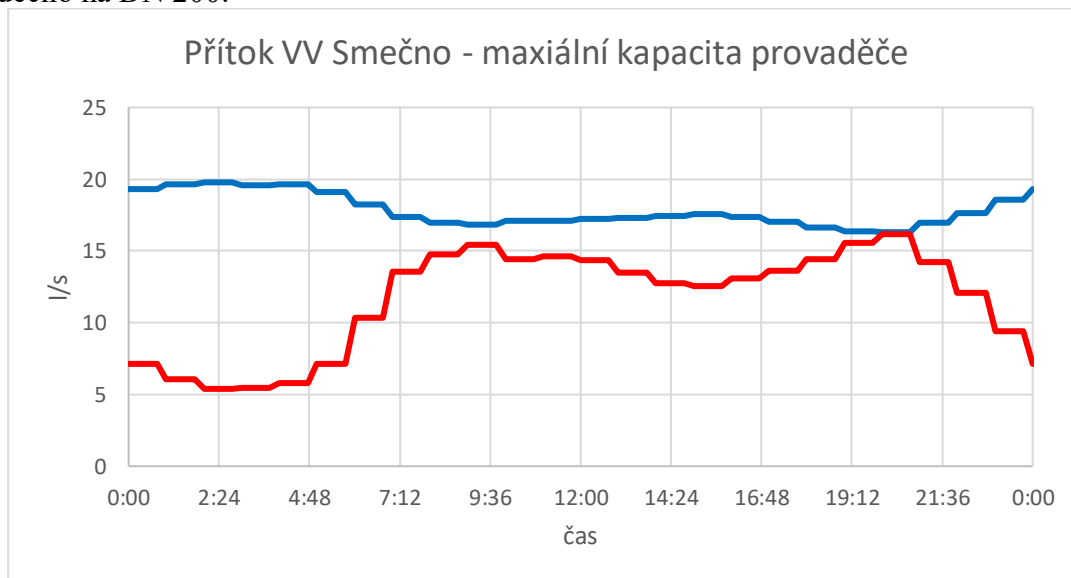


Obrázek 117. Rychlost ve stávající soustavě x1,2 po zvětšení dimenze v Kačici na DN 200



Obrázek 118. Tlakové ztráty ve stávající soustavě x1,2 po zvětšení dimenze v Kačici na DN 200

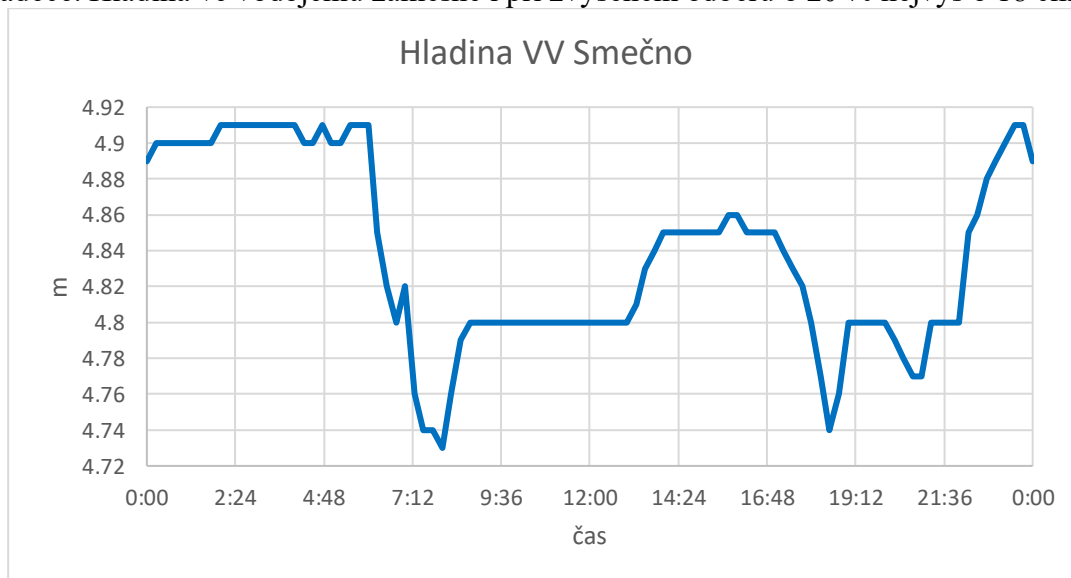
Na Obrázek 119 je zobrazen přítok do VV Smečno pro hladinu ve vodojemu rovnou 0. Jedná se o maximální kapacitu přivaděče při navýšení kapacity v úseku Kačice – Hradečno na DN 200.



Obrázek 119. Kapacita přivaděče po navýšení dimenze na DN 200 v Kačici a odběr Q_{max}

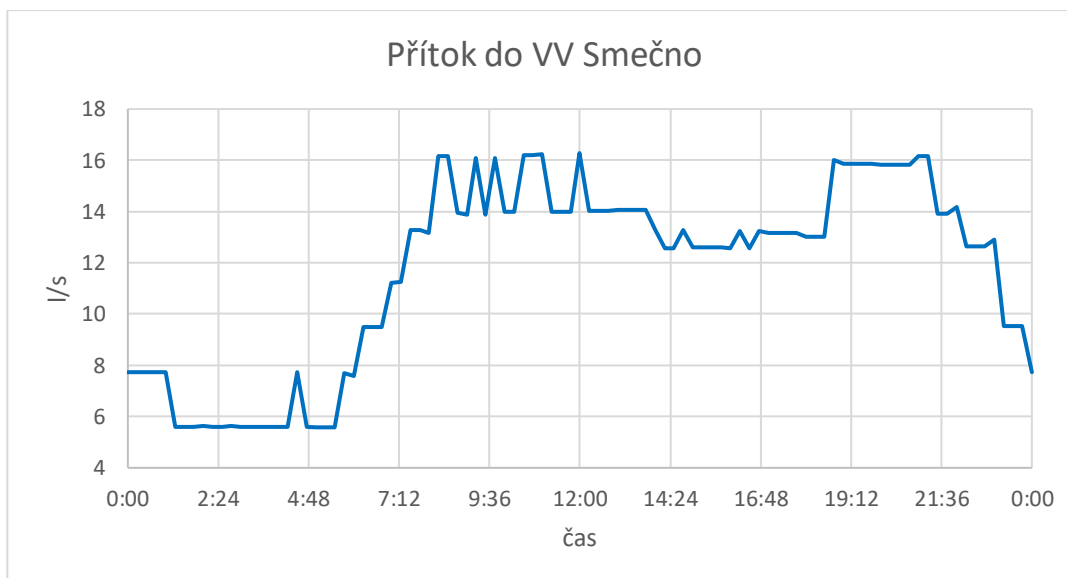
Modrá čára zobrazuje kapacitní přítok do vodojemu. Červená čára je odběr z vodojemu pro stávající odběr navýšený o 20 %. z obrázku je patrné, že navýšení dimenze potrubí pomohlo ke zkapacitnění přivaděče a přítok do vodojemu je vyšší než odtok do spotřebiště.

Na Obrázek 120 je hladina vody ve vodojemu během dne po navýšení kapacity přivaděče. Hladina ve vodojemu zaklesne i při zvýšeném odběru o 20 % nejvýš o 18 cm.



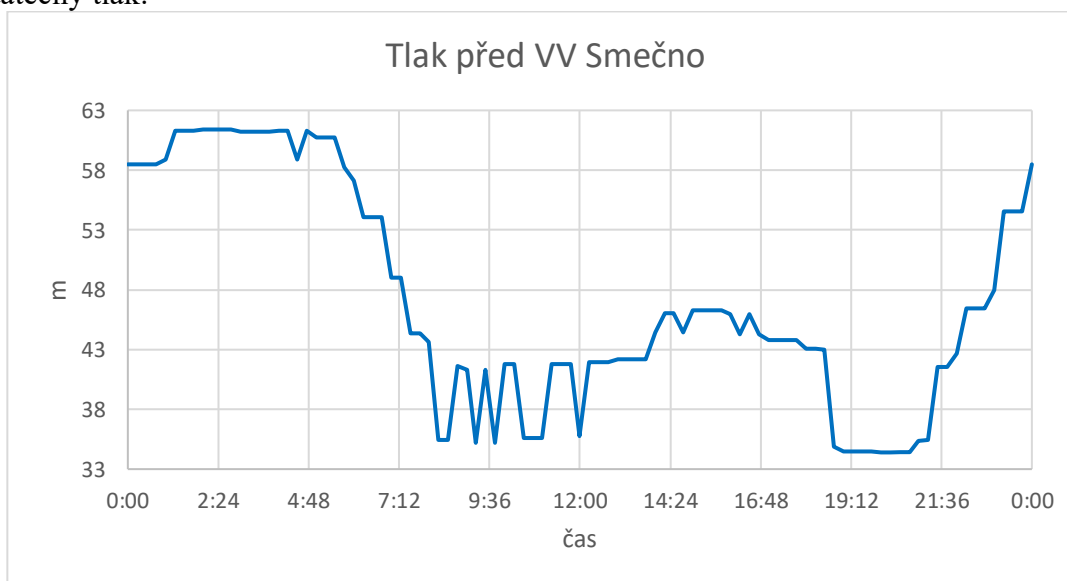
Obrázek 120. Hladina vody ve vodojemu pro DN 200 Kačice a odběr Q_{max}

Na Obrázek 121 je přítok do vodojemu během dne po zkapacitnění přivaděče. Maximální hodnoty přítoku dosáhne jen v 20:30 kdy je největší spotřeba vody.



Obrázek 121. Přítok do vodojemu DN 200 Kačice a odběr Q max

Na Obrázek 122 je tlak na přivaděči před vodojemem po navýšení kapacity přivaděče. Tlak neklesne na minimální hodnotu 0,33 MPa. Ve spotřebišti před vodojemem je dostatečný tlak.



Obrázek 122. Tlak před vodojemem pro DN 200 Kačice a odběr Q max

3.1.1 Posouzení výhledového stavu

Z Tabulka 18 víme, jak se zvýší počet obyvatel v řešené lokalitě. Díky tomu jsme byli schopni spočítat výhledovou potřebu vody v jednotlivých obcích a v soustavě celkem. Do modelu byly vloženy uzly v bodech, kde dle územního plánu je možné stavět domy. Spotřeba vody v m³/os za rok pro výhledový počet obyvatel je shodná se stávající spotřebou 29,99 m³/os za rok. Navýšení spotřeby vody je v Tabulka 20.

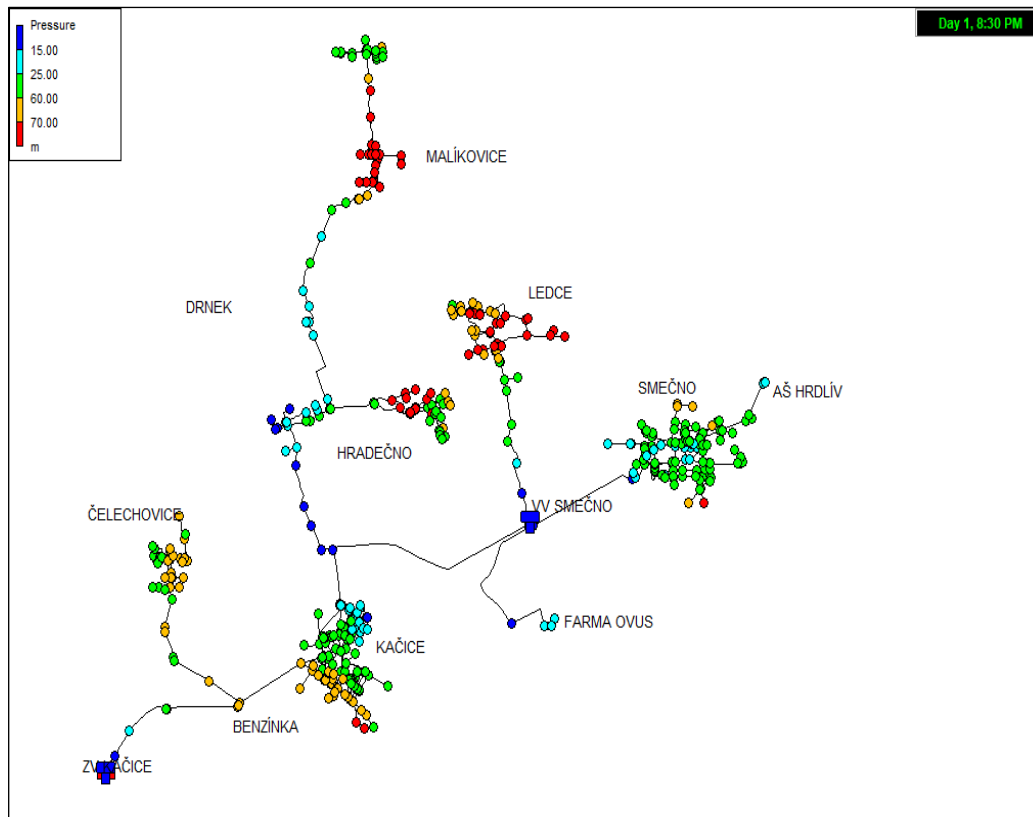
Tabulka 20. Navýšení spotřeby vody pro výhledový počet obyvatel

	spotřeba vody			
	stávající m ³	stávající l/s	navýšení o m ³	navýšení o l/s
	2021		2030	
Kačice	37 428	1.187	40 385	1.281
Čelechovice	9 867	0.313	6 417	0.203
Hradečno	14 486	0.459	14 868	0.471
Malíkovice	11 067	0.351	5 410	0.172
Drnek	5 338	0.169	8 465	0.268
Ledce	14 066	0.446	7 559	0.240
Smečno	58 482	1.854	22 558	0.715
Třebichovice	17 545	0.556	8 709	0.276
Libušín	96 300	3.054	41 828	1.326
Svinařov	21 803	0.691	15 031	0.477
ostatní (Hrdlív + Slaný) cca	139 464	4.422	41 839	1.327

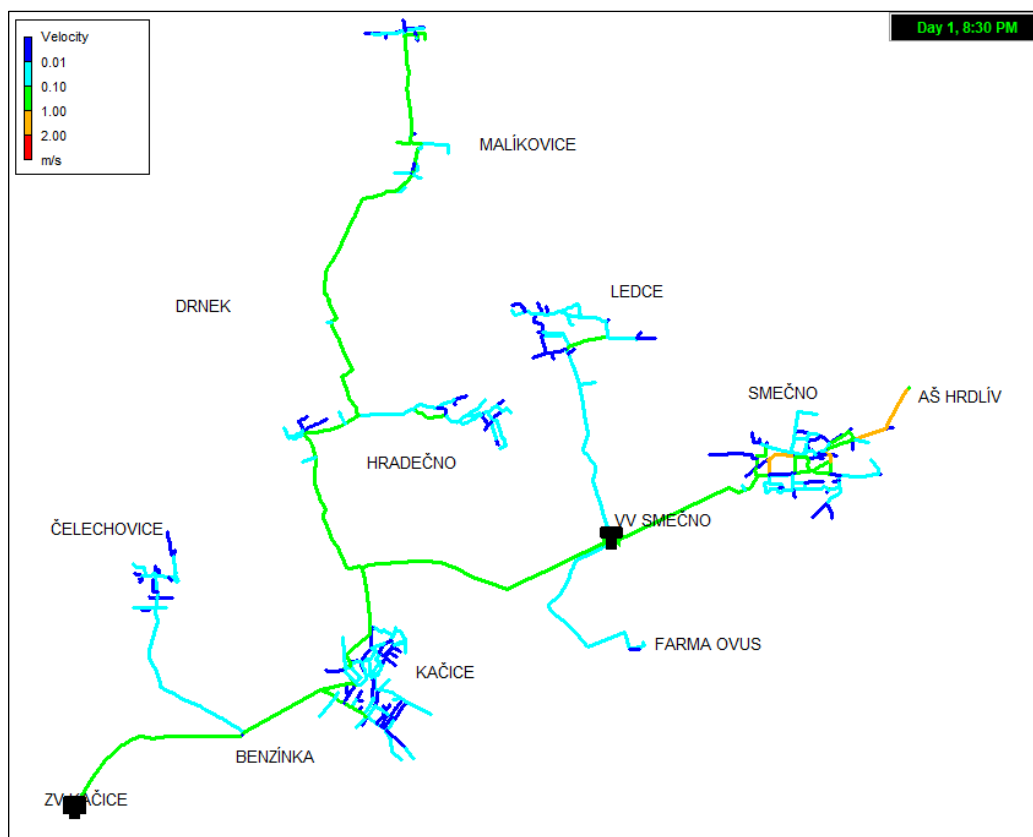
Při navýšení potřeby vody pro výhledový počet obyvatel se v čase 20:30 dostáváme na nízké tlaky v části přivaděče v Kačici a směrem na Hradečno tlaky jsou zde po hodnotou 15 m v.sl. V severní části obce Kačice nejsou tlaky vyšší než 17 m v.sl.

Rychlosti v přivaděči se pohybují od 0,35 do 0,7 m/s (Obrázek 124).

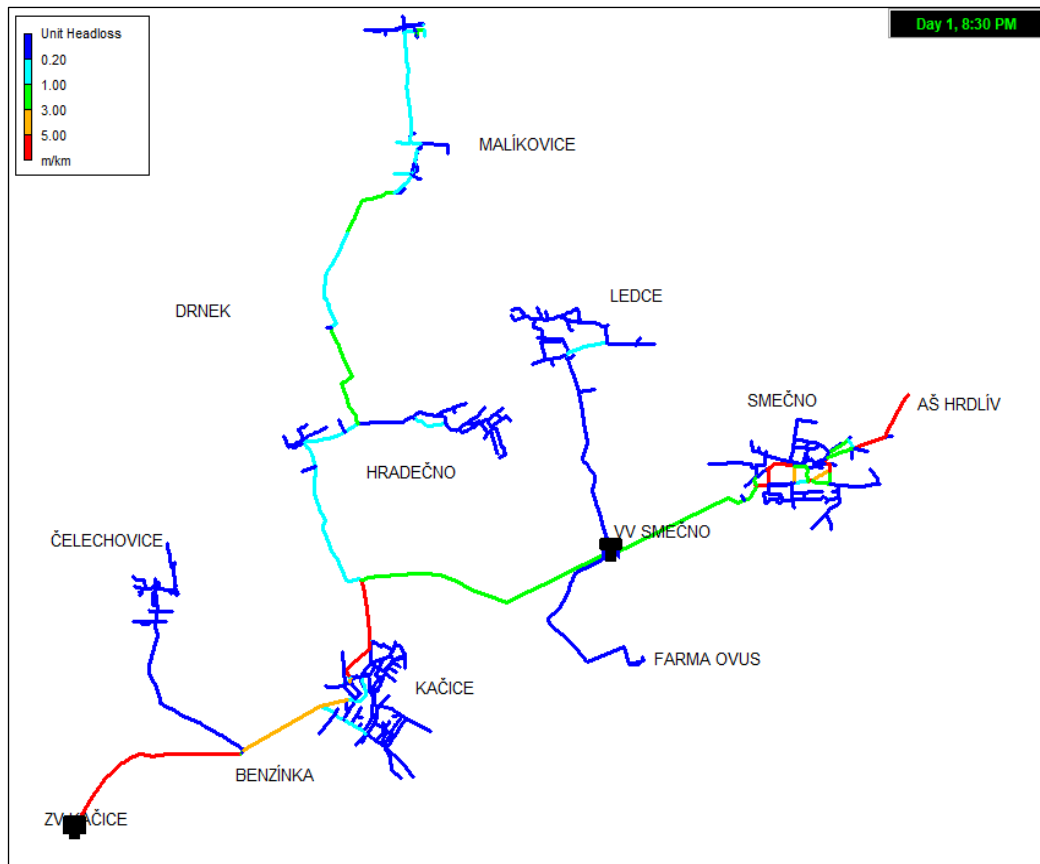
Tlakové ztráty na přivaděči jsou nejvýznamnější v části přivaděče mezi Kačicí a Hradečnem, kde je hodnota ztráty 9,59 m/km. Dále je ztráta 5,49 m/km na začátku přivaděče a dále ve spotřebišti Smečno, kde se ztráty pohybují od 47 do 35 m/km kvůli vysokým průtokům směrem na Hrdlív.



Obrázek 123. Tlak v soustavě pro výhledový počet obyvatel ve 20:30

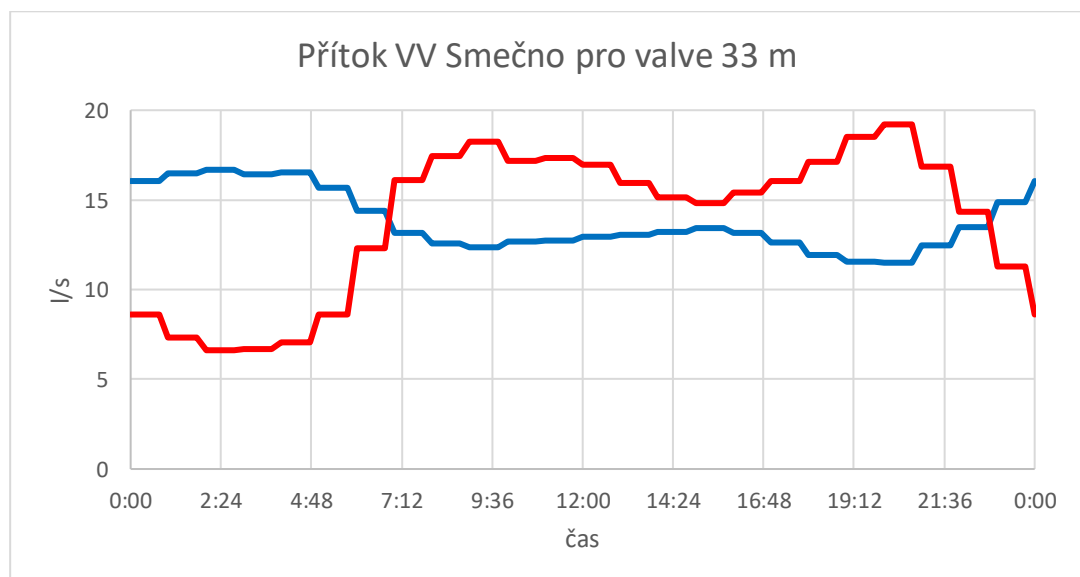


Obrázek 124. Rychlost v soustavě pro výhledový počet obyvatel ve 20:30



Obrázek 125. Tlakové ztráty v soustavě pro výhledový počet obyvatel ve 20:30

Kapacitní přítok do vodojemu je nižší než pro stávající počet obyvatel. Na Obrázek 126 je modrou barvou znázorněn kapacitní přítok do vodojemu během dne. Červenou barvou je znázorněn odtok z vodojemu do spotřebiště.

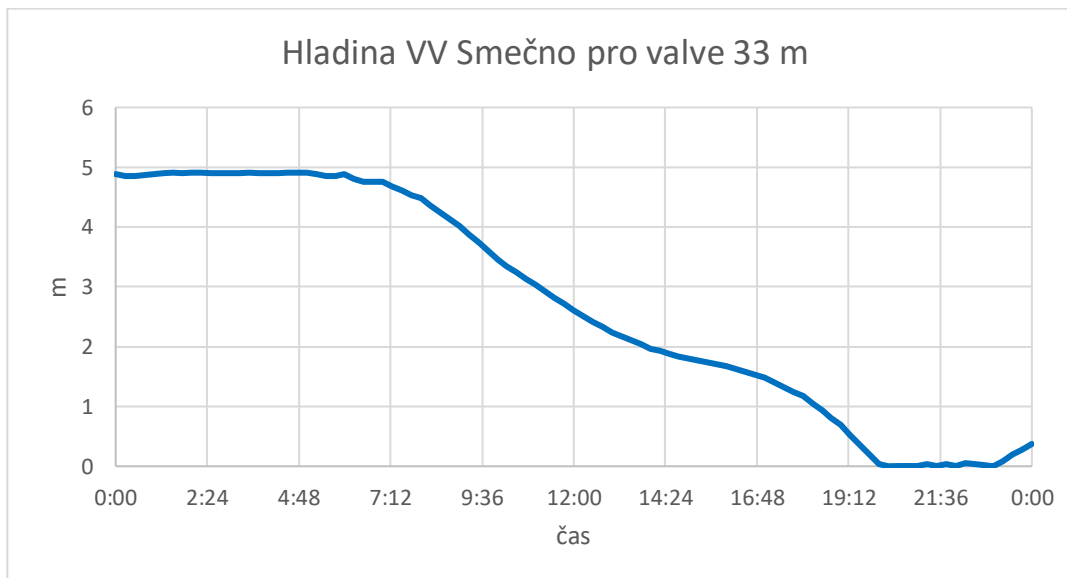


Obrázek 126. Kapacitní přítok do VV Smečno a odběr do Spotřebiště pro výhledový počet obyvatel

Je zřejmé, že pro stávající stav sítě je přivaděč nedostatečný a přítok do vodojemu je mnohem menší než odtok z něj.

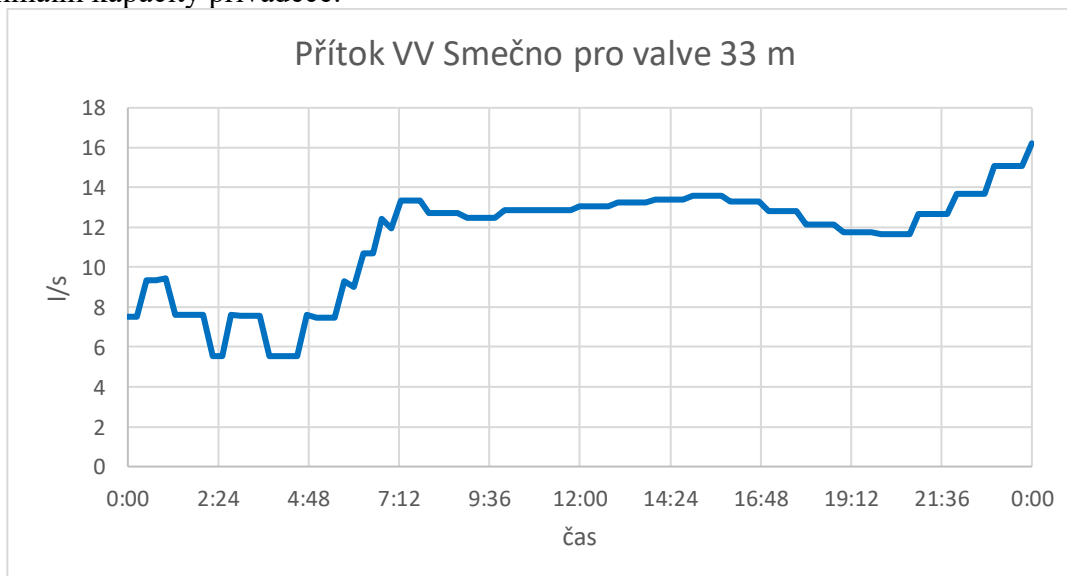
Na Obrázek 127 je hladina vody ve vodojemu během dne pro výhledový počet obyvatel. Vodojem je v 20:00 prázdný.

Z dlouhodobého hlediska je tento stav neúnosný (včetně nezobrazeného napouštění v ranních hodinách), protože dle denní bilance bude každý den stav ve vodojemu nižší o 18 m³, pokud nechám přivaděč ve stavu, který je.



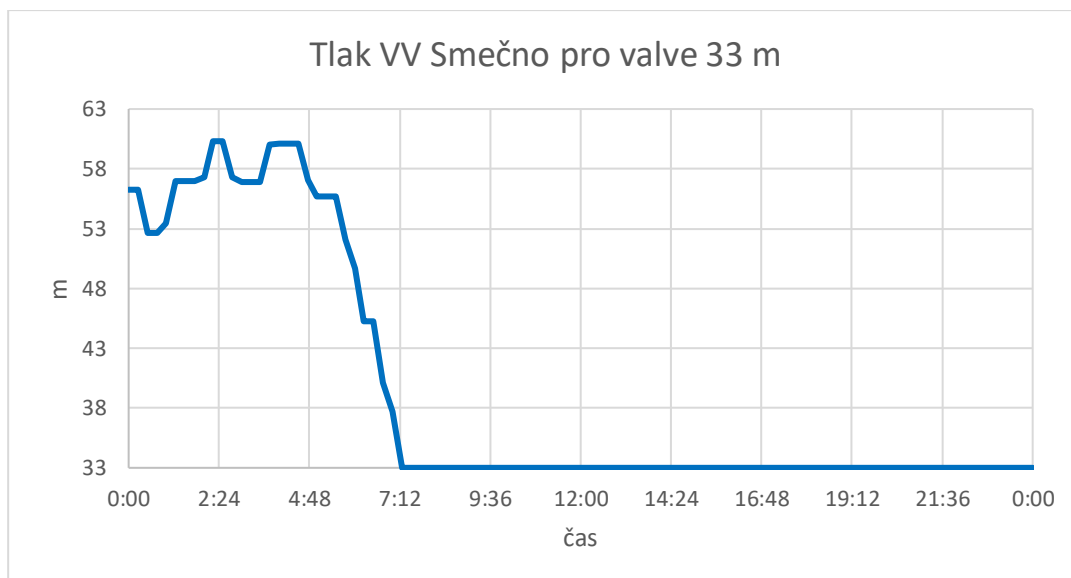
Obrázek 127. Hladina vody ve vodojemu pro výhledový počet obyvatel

Na Obrázek 128 je přítok vody do vodojemu během dne. Přítok koresponduje s hladinou vody ve vodojemu a v 7:30 ráno začne křivka napouštění kopírovat křivku maximální kapacity přivaděče.



Obrázek 128. Přítok do VV Smečno pro výhledový počet obyvatel

Na Obrázek 129 je tlak před VV Smečno. V 7:15 dojde k snížení tlaku na 0,33 MPa, aby byla zachována provozuschopnost spotřebičů před vodojemem.



Obrázek 129. Tlak v přivaděči před VV Smečno pro výhledový počet obyvatel

Shrnutí

Výhledový počet obyvatel zvýší spotřebu vody v systému o 213 069 m³/rok. Ze stávající potřeby vody pro spotřebiště 13,5 l/s se spotřeba navýší o 6,75 l/s. Při spotřebě 29,99 m³/osoba za rok. Z grafů o průběhu hladiny vody ve vodojemu a maximální kapacity přivaděče je zřejmé, že vodojem, ani přivaděč není dostatečně kapacitní, aby umožnil funkčnost soustavy. Dle bilance přítoku a odtoku chybí na konci dne ve vodojemu 18 m³, které není přivaděč schopný dodat.

Navrhla jsem proto opatření, která by mohla situaci zlepšit. Opatření jsou: zvýšení dimenze potrubí v úseku Kačice – Hradečno na DN 200, kompletní zrušení odběru vody z AŠ Hrdlív a zrušení pouze odběru do ZV Libušín.

Opatření pro výhledový stav

V úseku přivaděče mezi spotřebištěm Kačice a odbočkou na spotřebiště Hradečno byla změněna dimenze potrubí z PE 160 na vnitřní průměr potrubí DN 200 (Obrázek 115). Předpokládá se navýšení kapacity přivaděče a tím zlepšení přítoku do vodojemu a hladiny vody ve vodojemu. Dál byly vyzkoušeny varianty přerušení zásobování vodou spotřebiště za AŠ Hrdlív. Pro variantu úplného přerušení a pro variantu přerušení odtoku do ZV Libušín. Tato varianta je možná z toho důvodu, že ZV Libušín je zásoben vodou ze dvou směrů. Přivaděč do ZV Libušín projde rekonstrukcí, aby byl dostatečně kapacitní pro zásobení vodojemu jen z jedné větve.

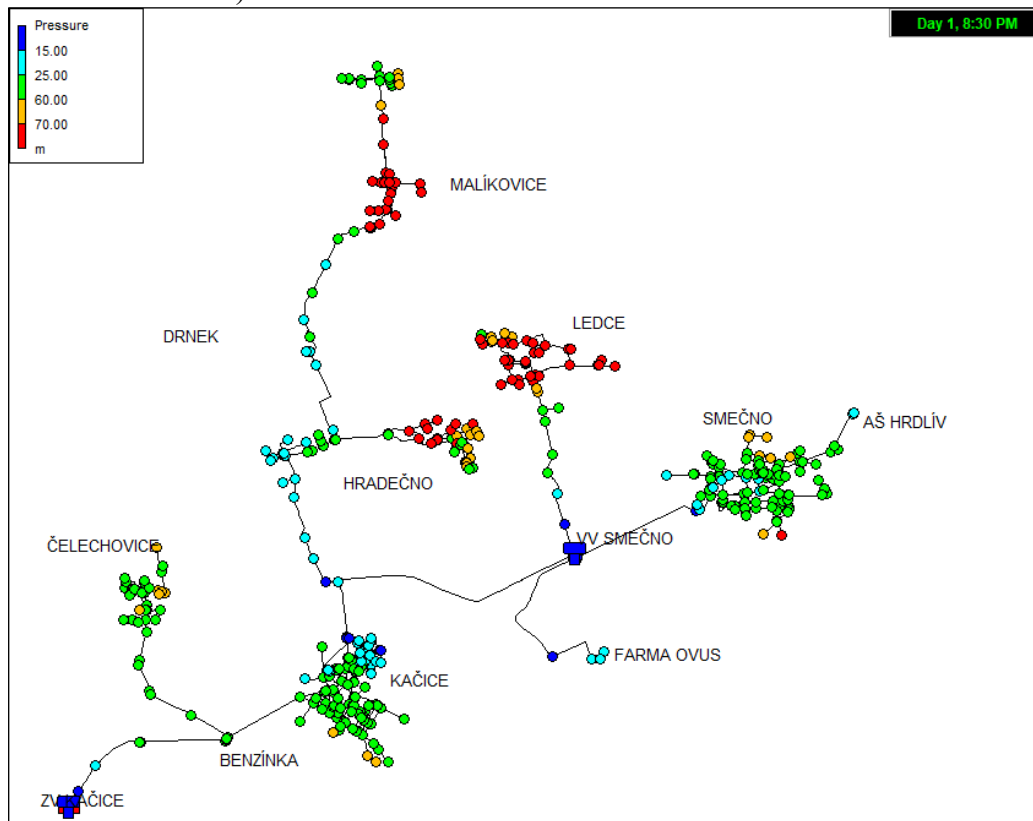
Na Obrázek 130 je tlak v soustavě v 20:30 pro výhledový počet obyvatel při navýšení kapacity přivaděče v Kačici. Tlak se mírně zlepšil, ale stále tu zůstávají místa s tlakem pod 15 m v.sl.

Na Obrázek 131 je tlak v soustavě, za předpokladu, že by se zrušil odběr z AŠ Hrdlív. Toto opatření velmi příznivě ovlivní tlak ve spotřebištích před vodojmem. Zejména v severní části obce Kačice a v přivaděči do Hradečna a západní části Hradečna.

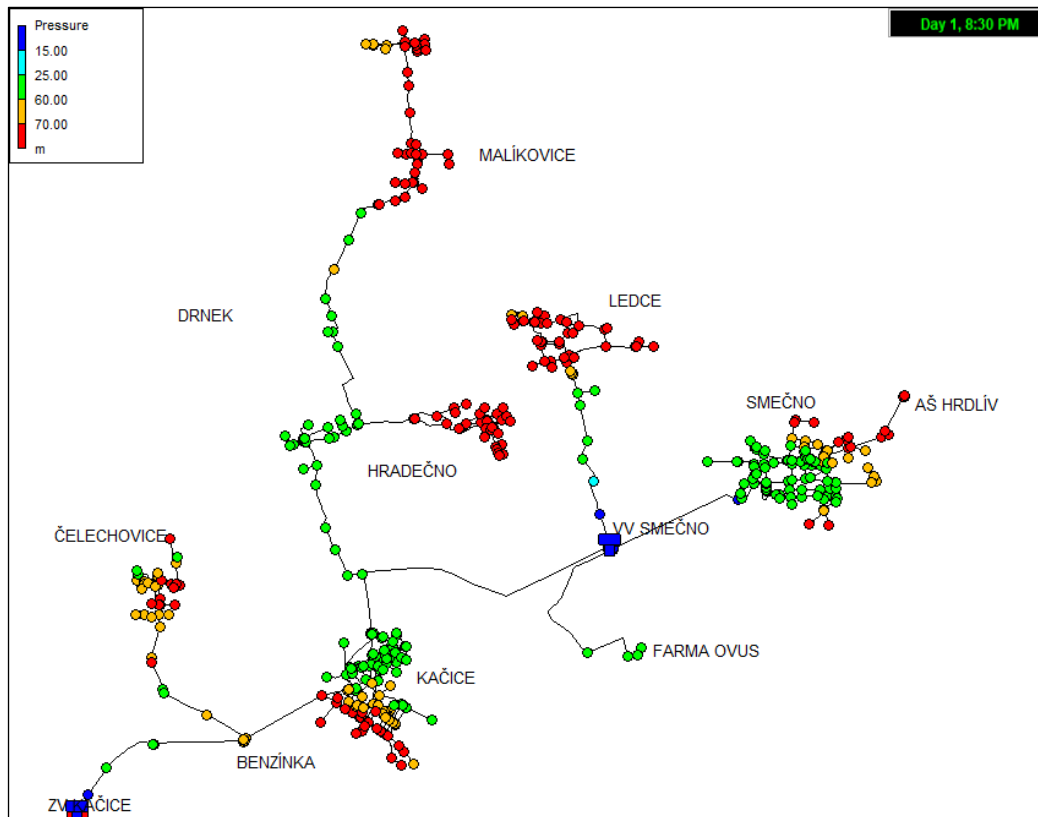
Při úplném odstavení odtoku z AŠ Hrdlív by se hodnota z výhledového odběru soustavy snížila z 638 914 m³/rok na 256 395 m³/rok.

Na Obrázek 132 je stejná situace, ale pro zrušení odtoku pouze do ZV Libušín. Na tlaky ve spotřebištích před vodojmem toto opatření příliš velký vliv nemá, ale pomůže to

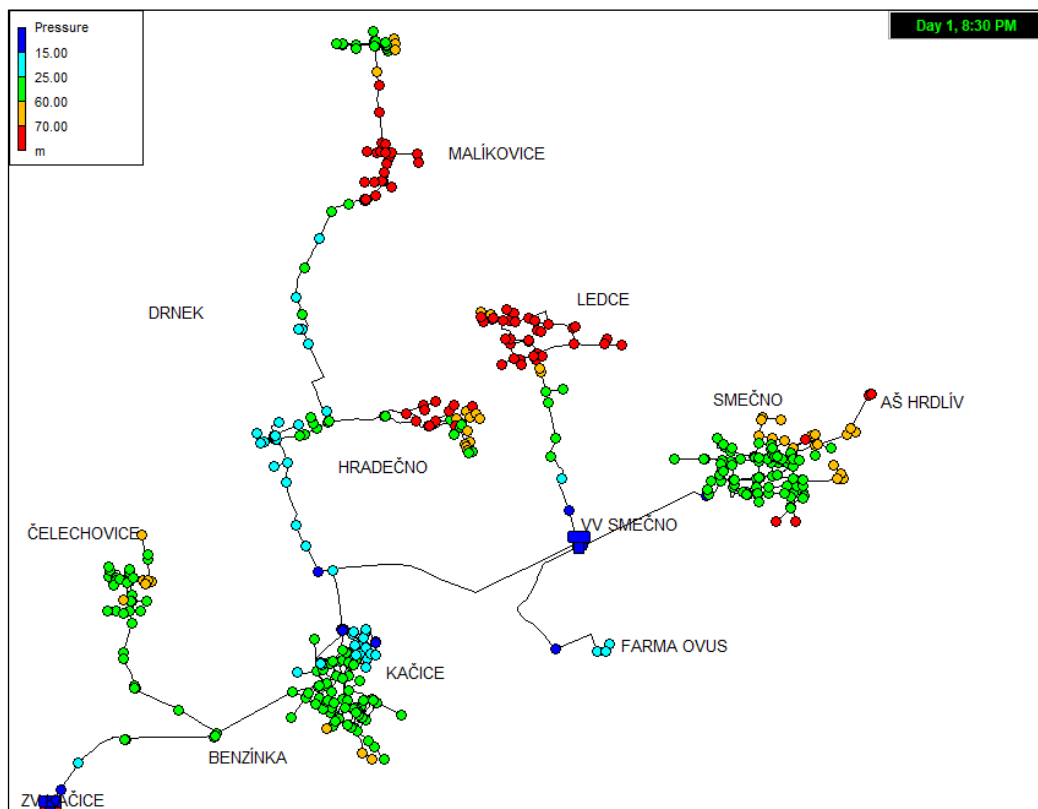
zvýšit tlak v Hradečnu. Při odstavení odtoku pouze do ZV Libušín by se hodnota z výhledového odběru soustavy snížila z 638 914 m³/rok na 437 698 m³/rok (včetně odtoku na město Slané a Hrdlív).



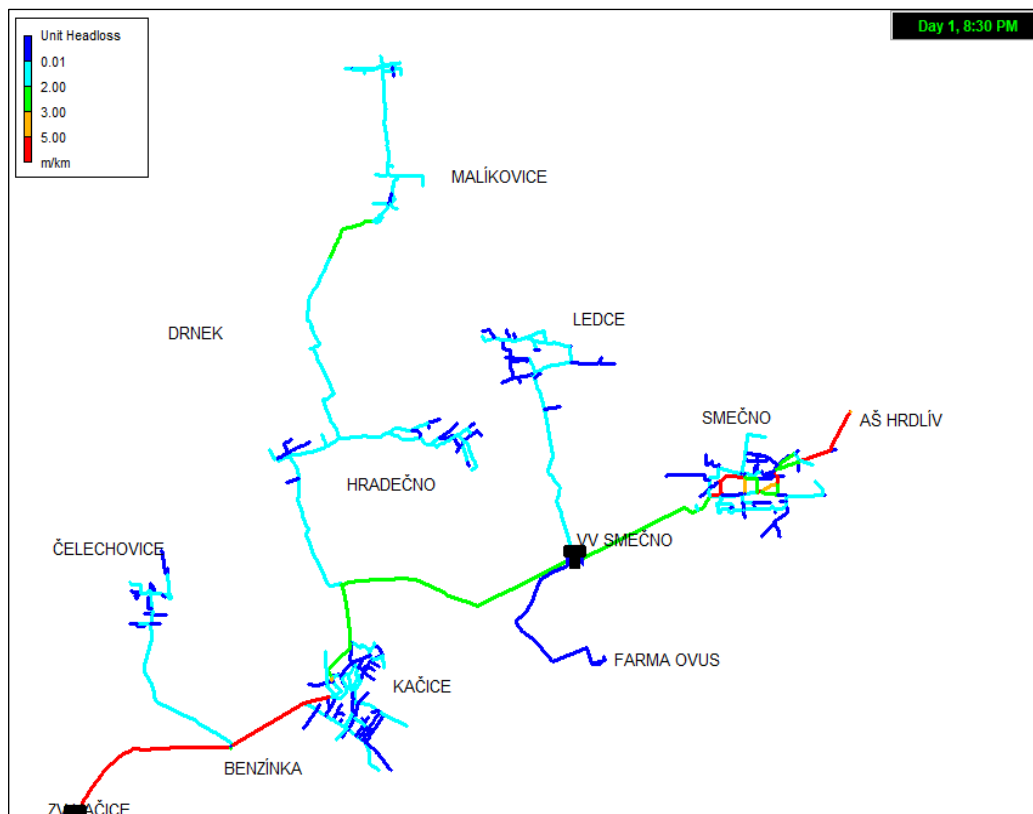
Obrázek 130. Tlak pro výhledový počet obyvatel při navýšení DN 200 Kačice



Obrázek 131. Tlak v soustavě při výhledovém počtu obyvatel, zvýšení DN 200 v Kačici a zrušení odtoku z AŠ Hrdlív



Obrázek 132. Tlak v soustavě pro výhledový počet obyvatel, zvýšení DN 200 v Kačici a zrušení odtoku do ZV Libušín

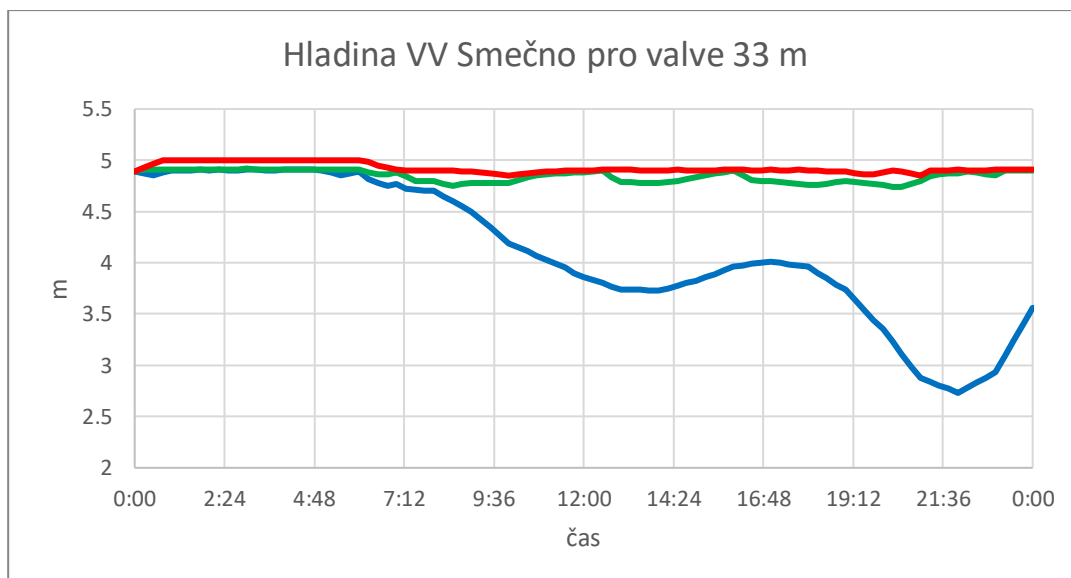


Obrázek 133. Tlakové ztráty na přivaděči pro výhledový počet obyvatel a DN 200 Kačice

Tlakové ztráty na přivaděči jsou po zkapacitnění v Kačici na začátku 6 m/km a dále 2,44 m/km (Obrázek 133).

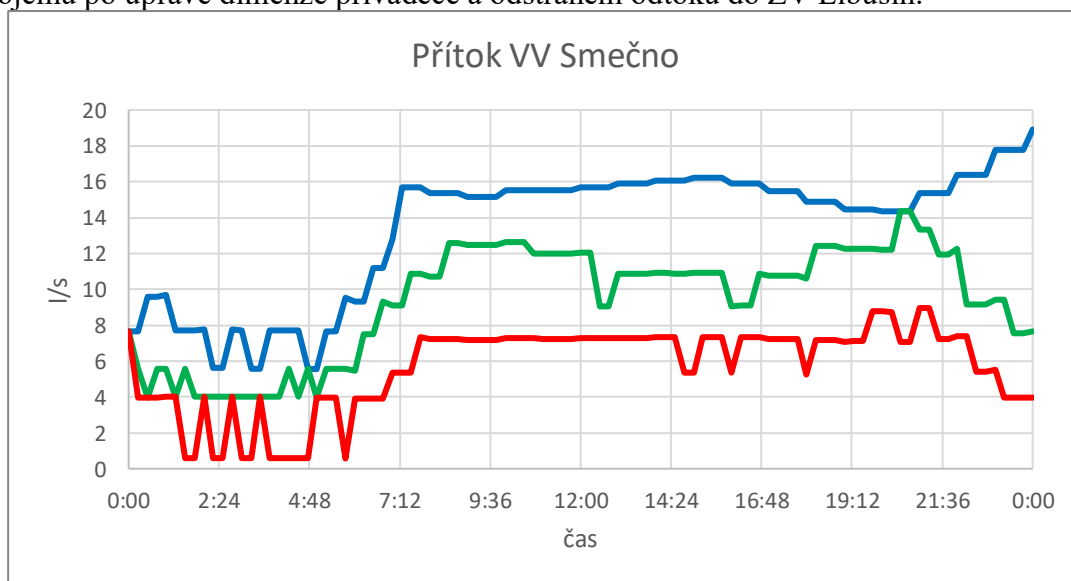
Na Obrázek 134 je zobrazena hladina ve vodojemu pro následující opatření. Modrá barva je hladina při změně dimenze přivaděče v úseku Kačice – Hradečno na DN 200. červená barva je hladina ve vodojemu pro případ úpravy dimenze přivaděče a současně odstranění odtoku z AŠ Hrdlív. Zelená barva je hladina ve vodojemu pro případ úpravy dimenze přivaděče a zrušení odtoku do ZV Libušín.

Dle bilance přítoku a odtoku z vodojemu je vodojem dostatečně kapacitní. Přítok dokáže vodojem zásobovat vodou během celého dne, díky tomu nezáleží na počáteční hladině vody ve vodojemu. Minimální objem vodojemu v tomto případě vychází 74 m³.



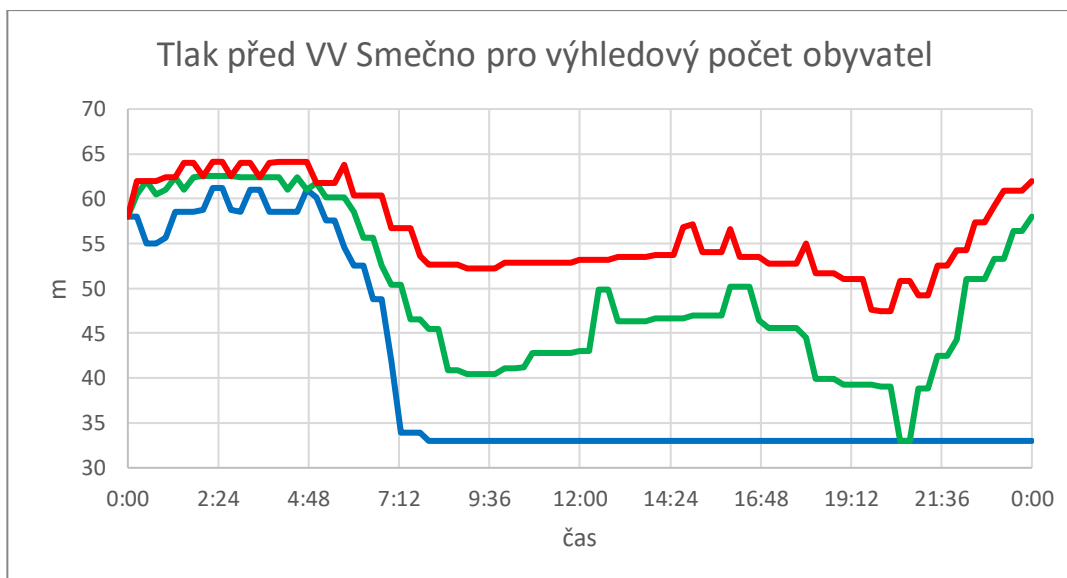
Obrázek 134. Průběh hladiny ve VV Smečno pro výhledový počet obyvatel a opatření

Na Obrázek 135. je přítok do vodojemu pro výhledový počet obyvatel a pro opatření. Modrá barva je přítok do vodojemu poté, co je zkapacitněn přivaděč. I přes to je přítok do vodojemu po většinu dne maximální kapacitní. Červená barva je přítok do vodojemu poté, co se zvýší dimenze přivaděče a co se zruší odtok z AŠ Hrdlív. Zelená barva je přítok do vodojemu po úpravě dimenze přivaděče a odstranění odtoku do ZV Libušín.



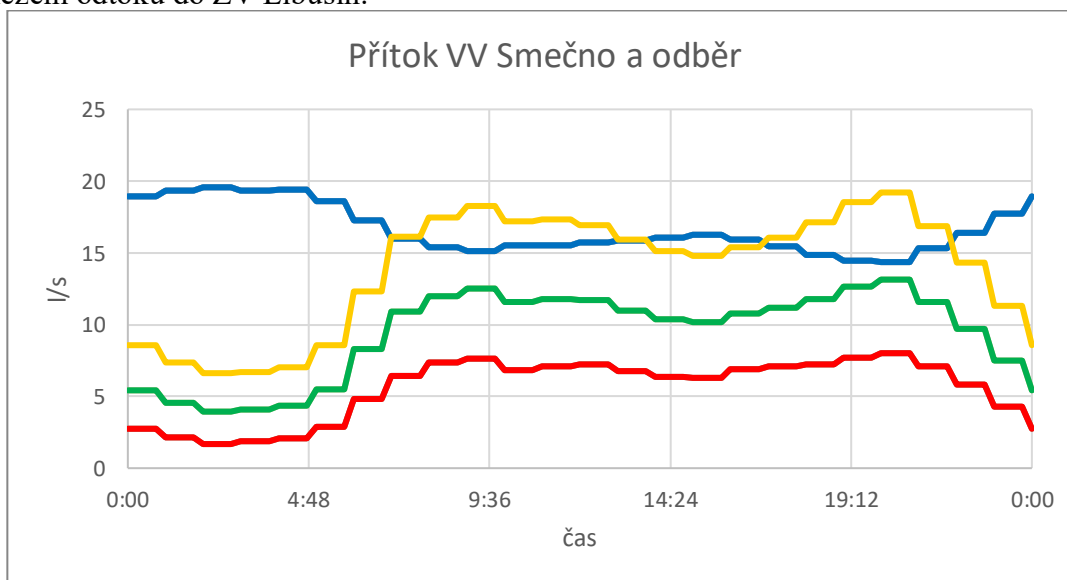
Obrázek 135. Přítok do VV Smečno pro výhledový počet obyvatel a opatření

Na Obrázek 136 je zobrazen tlak na přivaděči před VV Smečno pro výhledový počet obyvatel a opatření. Modrá barva je tlak po zvýšení dimenze přivaděče v úseku Kačice na DN 200. po většinu dne je tlak na svém minimu a přítok do vodojemu je maximální. Červená barva je tlak na přítoku do vodojemu po úpravě přivaděče a zamezení odběru vody z AŠ Hrdlív. Zelená barva je tlak před VV Smečno po úpravě dimenze přivaděče a po zamezení odtoku do ZV Libušín.



Obrázek 136. Tlak na přítoku do vodojemu pro výhledový počet obyvatel a opatření

Na Obrázek 137 je znázorněn přítok do vodojemu pro hladinu ve VV Smečno rovnu 0. Tento přítok je maximální možný. Modrá barva zobrazuje kapacitní přítok do vodojemu během dne po úpravě dimenze přivaděče v úseku Kačice – Hradečno na DN 200. Žlutá barva znázorňuje výhledový odběr vody z vodojemu. V některých částech dne je přítok do vodojemu menší než odběr z něj. Červená barva znázorňuje odtok z vodojemu pro výhledový počet obyvatel za předpokladu úplného uzavření odtoku z AŠ Hrdlív. Zelená barva znázorňuje odběr z vodojemu pro výhledový počet obyvatel za předpokladu zamezení odtoku do ZV Libušín.



Obrázek 137. Kapacitní přítok do VV Smečno a odběr z něj

3.1.2 Shrnutí

Dle bilance přítoku a odtoku je přivaděč dostatečně kapacitní, aby dokázal naplnit vodojem v kteroukoli denní dobu. Objem vodojemu je po zvětšení dimenze přivaděče v Kačici na DN 200 dostatečný, aby zásobil spotřebiště Ledce, Smečno i odtok z AŠ Hrdlív. Většinu dne je přítok do vodojemu na svém kapacitním maximu a tlak před

vodojemem na minimální hranici 0,33 MPa. V případě snížení přítoku do vodojemu na 85 %, nebude přivaděč schopný vodojem dopustit.

Za těchto předpokladů, že vodojem slouží pouze k vyrovnávací funkci mezi přítokem a odtokem a není jeho primární účel zásobení vodou pro požár či pro delší překlenutí poruchy, je vodojem i přivaděč dostatečně kapacitní.

4. Závěr

Diplomová práce je zaměřena na matematické modelování ve vodním hospodářství se zaměřením na soustavu vodojem a přivaděč vody. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část, v teoretické části byla provedena literární rešerše zadané problematiky. V praktické části této práce byl analyzován vodárenský systém a ověřena stávající a výhledová kapacita za pomoci matematického modelu. Zvolen byl skupinový vodovod ZV Kačice – VV Smečno na Kladensku. Posuzovala jsem kapacitu přivaděče, který vodojem spojuje a věžový vodojem Smečno.

VV Smečno je věžový vodojem o objemu 200 m^3 , který zásobuje vodou město Smečno a obec Ledce. Následně voda pokračuje do zemního vodojemu Libušín a na město Slaný. Přivaděč má délku více než 7 km ve dvou průměrech potrubí (DN200, de160), užší úsek je dlouhý přibližně 1 km. Práce posuzuje kapacitu stávajícího systému a navrhuje opatření v případech, kde nevyhovuje.

Z územních plánů jednotlivých obcí byl zjištěn možný nárůst počtu obyvatel v řešené oblasti. Pro některé obce se předpokládá nárůst o více než 100 %.

Sestavila jsem model soustavy v programu Epanet 2.2. Model byl zkalibrován a zvalidován. Připravila jsem také zátěžové stavy, na které jsem chtěla soustavu posoudit. Šlo o stávající stav průměrného odběru vody v červenci 2021, stav pro průměrný odběr navýšený o 20 % a předpokládaný odběr pro výhledový počet obyvatel dle územního plánu obcí.

V případě stávajícího stavu byla kapacita přivaděče i vodojemu dostatečná. Přivaděč je schopný dodávat víc vody, než je z vodojemu odebíráno. Modelovaná hladina ve vodojemu zaklesla během dne nejvýš o 14 cm. V případě průměrných odběrů se dá stávající soustava ohodnotit jako vyhovující.

Pro zatěžovací stav, ve kterém se průměrný odběr navýšil o 20 % docházelo na přivaděči v úseku Kačice – Hradečno k nízkým tlakům. Nízké tlaky byly rovněž v severní části spotřebiště Kačice. V tomto úseku přivaděče jsou i zvýšené tlakové ztráty. V denních špičkách je přítok do vodojemu nižší než odtok. Hladina vodojemu v tuto dobu zaklesla o 63 cm. Po většinu dne je nátok do vodojemu maximální kapacitní a tlak před vodojemem na svém minimu pro zachování funkčnosti soustavy.

Varianta pro odběr navýšený výhledovým počtem obyvatel zvýší spotřebu soustavy z 13,5 l/s o 6,75 l/s při spotřebě 29,99 m^3/os a rok. Přítok do vodojemu je menší než odtok z něj a vodojem se úplně vyprázdní. Přítok do vodojemu byl přitom již maximální kapacitní. V tomto případě je hlavní upravit kapacitu přivaděče, protože není schopný dodávat dostatečné množství vody do vodojemu.

Pro výše uvedené případy byla navržena následující opatření, která by napomohla zvýšení kapacity přivaděče a zlepšila funkčnost vodárenské soustavy:

- 1) Zvětšit dimenzi přivaděče v úseku Kačice – Hradečno z de 160 na DN 200.
Tato dimenze je shodná s ostatními úseky přivaděče
- 2) Odstavit odtok vody z AŠ Hrdlív do ostatních spotřebišť
- 3) Odstavit odtok vody z AŠ Hrdlív pouze do ZV Libušín

Pro zátěžový stav s průměrným navýšením odběru na Q_{max} bylo vyhodnoceno zkapacitnění přivaděče jako nejlepší řešení. Tlaky v severní části spotřebiště Kačice a v potrubí vedoucím do Hradečna, stejně jako západní část spotřebiště Hradečno při nevyšších odběrech za den neklesly pod hodnotu 15 m v.sl. V problémovém úseku se

snížily tlakové ztráty. Přítok do přivaděče převyšoval odtok z vodojemu. Díky tomu se i hladina ve vodojemu snížila o pouhých 18 cm.

V případě výhledového stavu bylo toto opatření zkapacitnění přivaděče rovněž na místě. Tlaky se v problémovém úseku přivaděče zlepšily. Hladina ve vodojemu zaklesla víc než pro stávající stav, ale vodojem nebyl úplně vyčerpán jako v případě bez opatření. Přítok do vodojemu je většinu dne maximální kapacitní, a je dostatečný, aby naplnil vodojem v kteroukoli denní dobu.

Jako doplňkové opatření je vhodné pozastavení odtoku z AŠ Hrdlív. Potřebný přítok do vodojemu se pro obě řešení pozastavení odtoku značně sníží a hladina ve vodojemu je po celý den na svém maximu. Přítok není omezován tlakovou podmínkou na přivaděči. S nižším přítokem se také docílilo nižších tlakových ztrát.

Pro stávající stav doporučuji navýšit dimenzi v úseku Kačice – Hradečno. Toto řešení je důležité pro zvýšení tlaků v obci Hradečno a v severní části spotřebiště Kačice. Současně dojde ke zkapacitnění přivaděče a neměly by nastávat provozní problémy. Doporučuji provést lokální měrnou kampaň v obcích, které mají potíže s nízkým tlakem.

Za předpokladu zkapacitnění přivaděče do ZV Libušín, je možné zrušit odtok z AŠ Hrdlív pro druhou nebo třetí variantu. Zlepší to tlakové i průtokové poměry v soustavě a nebude docházet k rozkolísanosti hladiny ve vodojemu během dne. Toto řešení je však jen nadstandartní. Pro výhledový počet obyvatel je zkapacitnění přivaděče dostatečné. Vodojem není nutné zvětšovat.

4.1 Seznam použité literatury

- [1] Tesařík I. a kol.: Vodárenství. SNTL, Praha 1987
- [2] Slavíčková, K., Slavíček, M.: Vodní hospodářství obcí 1 – Úprava a čištění vody. Skriptum ČVUT 2013
- [3] Grünwald, A., Macek, L., Šrytr, P.: Vodárenství. TKAIT, Praha 1998
- [4] přednášky Ing. Filip Horký, Ph.D. předmět vodní hospodářství obcí 2, 2020
- [5] Ing. Josef Novák a kolektiv autorů: Příručka provozovatele vodovodních sítí, Medim 2003
- [6] Robin Polický: Zdravotně technické a plynovodní instalace v administrativní budově s prodejnou, 2018 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=179874
- [7] Třídy ocelí dle ČSN [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: https://pdms-help.webnode.cz/news/tridy-oceli-dle-csn/?utm_source=copy&utm_medium=paste&utm_campaign=copypaste&utm_content=https%3A%2F%2Fpdms-help.webnode.cz%2Fnews%2Ftridy-oceli-dle-csn%2F
- [8] Technické standardy vodohospodářských staveb v působnosti vlastníka infrastruktury, společnosti Vodárny Kladno – Mělník, a.s. (VKM) a provozovatele, společnosti Středočeské vodárny, a.s. (SV), verze: 2018-1, Datum vydání leden/2018 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://www.svas.cz/res/archive/1770/219136.pdf?seek=1513759222>
- [9] zákon č. 254/2001 § 30 ochranná pásma vodních zdrojů odkaz: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-254?text=254%2F2001>
- [10] přednášky Ing. Kateřina Slavíčková, Ph.D. předmět vodní hospodářství obcí 2, 2020
- [11] vodní dílo Stanovice odkaz: <http://www.poh.cz/vodni-dilo-stanovice/d-2603>
- [12] norma ČSN 73 6005, Prostorové uspořádání sítí technického vybavení [není platná]
- [13] Historický dokument: Směrnice č. 9/1973 pro výpočet potřeby vody odkaz: https://www.vodovod.info/index.php/extra/zakony-a-vyhlasky/218-historicky-dokument-smernice-c-9-1973-vypocet-potreby-vody#.YHF_oegzZPY
- [14] DUKTUS katalog Systémy potrubí z tvárné litiny pro pitnou vodu, vonRoll hydro (cz) s.r.o. pro Českou a Slovenskou republiku, Datum vydání 2/2020 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: http://duktus.cz/katalog_voda/Duktus_Katalog_PitnaVoda.pdf
- [15] PIPELIFE katalog: TLAKOVÉ POTRUBÍ PE 100 A PE 100RC vodovodní potrubí tlaková a podtlaková kanalizace, Datum vydání 8/2014 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://www.kamody.cz/soubory/relatedfile/pepilife-potrubi.pdf>
- [16] Ing. Ivana Attlová, Wavin Ekoplastik, ČESKÝ INSTALATÉR: Provozní parametry plastových potrubních systémů pro rozvody vody a vytápění, Datum vydání 6/2013 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: https://www.wavinacademy.cz/wp-content/uploads/2015/10/19_Cesky-instalater_rozdeleni-trubek_131008.pdf

-
- [17] Ing. Jaromír Herle a kol.: Vodovodní a kanalizační tabulky. SNTL Praha 1983 nakladatelství technické literatury
- [18] V. Kolář, C. Patočka, J. Bém: Hydraulika, SNTL/ALFA, Praha 1983
- [19] přednášky Ing. Aleš Havlík, CSc. předmět Hydraulika 2, 2020. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Hydraulika a hydrologie [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/prednasky.htm>
- [20] Jiří Hřebíček, Michal Škrdla: Úvod do matematického modelování, 2006 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://is.muni.cz/el/sci/podzim2007/Bi3101/um/skripta.pdf>
- [21] Eva Náplavová: Hydraulická drsnost vodovodních potrubí, 2018 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/84613/final-thesis.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>
- [22] přednášky Dr. Ing. Ivana Kabelková. předmět Vodní hospodářství obcí 4, 2021. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Úvod do modelování a simulací
- [23] EPANET 2.2 User Manual, verze: EPA/600/R-20/133, Datum vydání 23.7.2020 [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://epanet22.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- [24] přednášky Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D. předmět Vodní hospodářství obcí 4, 2021. České vysoké učení technické, Fakulta stavební, Katedra zdravotního a ekologického inženýrství, Epanet – úvod, typické úlohy – vodárenství
- [25] DHI software, [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://worldwide.dhigroup.com/cz/dhi-software>
- [26] SWMM, [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm>
- [27] HEC, [online] cit. 16. listopadu 2021. Dostupné z: <https://www.hec.usace.army.mil/>
- [28] Geoprohlížeč: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>
- [29] Slepá mapa ČR: <https://www.ucebnicemapy.cz/blog/slepa-mapa-ke-stazeni.-20.html>
- [30] Mapy.cz oblast Kačice, Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?q=Ka%C4%8Dice&source=muni&id=3688&ds=2&x=13.9947347&y=50.1642679&z=14> mapy.cz
- [31] Oficiální stránky obce Kačice, okres Kladno, Dostupné z: <http://www.kacice.cz/>
- [32] Obyvatelé Česka, obec Kačice, okres Kladno, Dostupné z: <https://obyvateleceska.cz/kladno/kacice/532444>
- [33] Oficiální stránky města Stochov, okres Kladno, Dostupné z: <https://www.stochov.cz/>
-

- [34] Mapy.cz oblast Čelechovice, Dostupné z:
<https://mapy.cz/zakladni?source=ward&id=1249&ds=1&x=13.9555731&y=50.1725853&z=14> mapy.cz
- [35] Oficiální stránky obce Hradečna, okres Kladno, Dostupné z:
<https://www.hradecno.cz/obec/o-obci/>
- [36] Mapy.cz oblast Hradečna, Dostupné z:
<https://mapy.cz/zakladni?q=Hrade%C4%8Dno&source=muni&id=3681&ds=2&x=13.9878729&y=50.1836765&z=14> mapy.cz
- [37] Obyvatelé Česka, obec Hradečno, okres Kladno, Dostupné z:
<https://obyvateleceska.cz/kladno/hradecno/532355>
- [38] Oficiální stránky obce Drnek, okres Kladno, Dostupné z:
<https://www.obec-drnek.cz>
- [39] Mapy.cz oblast Drnek, Dostupné z:
<https://mapy.cz/turisticka?l=0&q=drnek&source=muni&id=3673&ds=2&x=13.9587803&y=50.1942436&z=13>
- [40] Rozvoj počtu obyvatel, obec Drnek, okres Kladno, Dostupné z:
mvr.cz
- [41] Oficiální stránky obce Malíkovice, okres Kladno, Dostupné z:
<https://www.malikovice.cz>
- [42] Mapy.cz oblast Malíkovice, Dostupné z:
<https://mapy.cz/turisticka?l=0&q=mal%C3%ADkovice&source=muni&id=3710&ds=2&x=13.9732321&y=50.2159099&z=14>
- [43] Obyvatelé Česka, obec Malíkovice, okres Kladno, Dostupné z:
<https://obyvateleceska.cz/kladno/malikovice/532657>
- [44] Oficiální stránky obce Ledce, okres Kladno, Dostupné z:
<https://www.obec-ledce.cz/>
- [45] Mapy.cz oblast Ledce, Dostupné z:
<https://mapy.cz/turisticka?l=0&q=ledce&source=muni&id=3699&ds=2&x=14.0074966&y=50.1996987&z=14>
- [46] Obyvatelé Česka, obec Malíkovice, okres Kladno, Dostupné z:
<https://obyvateleceska.cz/kladno/ledce/532533>
- [47] Oficiální stránky obce Smečno, okres Kladno, Dostupné z:
<https://www.smecno.cz>
- [48] Mapy.cz oblast Smečno, Dostupné z:
<https://mapy.cz/turisticka?l=0&q=Sme%C4%8Dno&source=muni&id=3727&ds=1&x=14.0344649&y=50.1820148&z=14>
- [49] Česká školní inspekce, obec Smečno, Mateřská škola Dostupné z:
<https://portal.csicr.cz/School/600043720>
- [50] Česká školní inspekce, obec Smečno, Základní škola Dostupné z:
<https://portal.csicr.cz/School/600044424>
- [51] Domov pod lipami Smečno, obec Smečno, Dostupné z:
<https://www.dpodlipami.cz/>
- [52] Obyvatelé Česka, obec Smečno, okres Kladno, Dostupné z:
<https://obyvateleceska.cz/kladno/smecno/532835>

4.2 Seznam tabulek

Tabulka 1	Specifická potřeba vody ze směrnice č.9/1973 pro bytový fond	19
Tabulka 2	Směrná čísla potřeby vody pro bytový fond z novely č. 120/2011.....	19
Tabulka 3	Specifická potřeba vody pro občanskou vybavenost	19
Tabulka 4	Specifická potřeba vody pro přímou spotřebu	19
Tabulka 5	Specifická potřeba vody pro mytí, sprchování apod.....	20
Tabulka 6	Součinitel denní nerovnoměrnosti	20
Tabulka 7	Převod PN, SDR a S pro různé PE.....	24
Tabulka 8	Tloušťka stěny pro vybrané S a dn	24
Tabulka 9	Technická vybavenost obce Kačice [31]	36
Tabulka 10	Technická vybavenost obce Hradečno [35]	41
Tabulka 11	Technická vybavenost města Smečno [47]	50
Tabulka 12	Průřezy a délky potrubí.....	54
Tabulka 13	Měsíční bilance Řad ZV Kačice – VV Smečno	64
Tabulka 14	Měsíční bilance VV Smečno – Aš Hrdlív	65
Tabulka 15	Odběry vody z přívaděče 2021.....	66
Tabulka 16	Voda fakturovaná, nefakturovaná a předaná	68
Tabulka 17	Varianty odběrů.....	70
Tabulka 18	Výhledový počet obyvatel.....	71
Tabulka 19	Roční odběr vody stávající a výhledový.....	71
Tabulka 20	Navýšení spotřeby vody pro výhledový počet obyvatel.....	107

4.3 Seznam obrázků

Obrázek 1	Schéma vodárenské soustavy.....	5
Obrázek 2	Místní vodovod s jedním zdrojem [5]	5
Obrázek 3	Místní vodovod se dvěma zdroji [5].....	5
Obrázek 4	Skupinový vodovod s jedním a více vodojemy [5]	6
Obrázek 5	Oblastní vodovod s několika zdroji [5]	7
Obrázek 6	Větvená síť [3]	8
Obrázek 7	Okružová síť [3]	8
Obrázek 8	Kombinovaná síť [3]	8
Obrázek 9	Galerie [1]	9
Obrázek 10	Odběrné zařízení věžové na vodním díle Stanovice [11].....	10
Obrázek 11	Kategorizace sítí	12
Obrázek 12	Minimální a maximální přetlak ve vodovodní síti [4].....	13
Obrázek 13	Výškové a dispoziční schéma vodárenských soustav	14
Obrázek 14	Věžový vodojem ve spotřebišti	14
Obrázek 15	Vodojem za spotřebištem.....	15
Obrázek 16	Vodojem před a za spotřebištem.....	15
Obrázek 2.17	Procentuální rozdělení součinitele hodinové nerovnoměrnosti během dne	21
Obrázek 18	Provozní živostnost typů potrubí (podle W 401 „Cech německých plynářů a vodařů“ (DGWG)).....	23
Obrázek 19	Ilustrace k SDR, S	24
Obrázek 20	Ilustrace k rovnici kontinuity	25
Obrázek 21	Schéma pro sestavení Bernoulliho rovnice [19].....	26
Obrázek 22	Ztráty v prizmatickém potrubí [19].....	27
Obrázek 23	Moodyho diagram [19].....	28
Obrázek 24	Tabulka hodnot k , n pro rovnice [18].....	29

Obrázek 25. Součinitel ztráty vtokem do potrubí a výtokem do velké nádrže [19] ...	30
Obrázek 26. Průtokové charakteristiky vnitřních uzávěrů podle Tullise (1989) [19]	30
Obrázek 27. Ztrátový součinitel ostrých kolen dle Thomy ($Re > 2.10^5$) [19]	30
Obrázek 28. Rozdělení rychlostí v oblastech proudění [19].....	31
Obrázek 29. Řešená lokalita [28,29].....	35
Obrázek 30. Poloha obce Kačice [30]	36
Obrázek 31. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2019 [31].....	37
Obrázek 32. Rozvoj obyvatelstva 2004-2022 [32].....	38
Obrázek 33. Poloha obce Čelechovice [34]	39
Obrázek 34. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2011 [33].....	40
Obrázek 35. Poloha obce Hradečno [36].....	41
Obrázek 36. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2017 [35].....	42
Obrázek 37. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [37]	43
Obrázek 38. Poloha obce Drnek [39]	43
Obrázek 39. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2006 [38].....	44
Obrázek 40. Rozvoj obyvatelstva od roku 2013-2022 [40]	45
Obrázek 41. Poloha obce Malíkovice [42].....	45
Obrázek 42. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2020 [41].....	46
Obrázek 43. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [43]	47
Obrázek 44. Poloha obce Ledce [45].....	47
Obrázek 45. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2020 [44].....	48
Obrázek 46. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [46]	49
Obrázek 47. Poloha města Smečno [48].....	49
Obrázek 48. Zastavěné a zastavitelné území dle ÚP 2021 [47].....	51
Obrázek 49. Rozvoj obyvatelstva od roku 2004-2022 [52]	51
Obrázek 50. Schéma zásobování vodou lokality	52
Obrázek 51. Zásobování vodou soustavy vodojemů ZV Kačice a VV Smečno	53
Obrázek 52. Podélný profil přivaděče	53
Obrázek 53. Řešená oblast zdroj GIS	54
Obrázek 54. Materiál potrubí přivaděče.....	55
Obrázek 55. Fotografie ZV Kačice a VV Stochov	58
Obrázek 56. Nátok vody do ZV Kačice	59
Obrázek 57. Schéma ZV Kačice a VV Stochov	60
Obrázek 58. Fotografie VV Smečno	61
Obrázek 59. Schéma VV Smečno.....	62
Obrázek 60. Armaturní šachta pro VV Smečno	62
Obrázek 61. AŠ Hrdlív	63
Obrázek 62. Schéma AŠ Hrdlív.....	63
Obrázek 63. Měsíční odběry vody z přivaděče 2019–2021	67
Obrázek 64. Měsíční odběry 2019-2021	68
Obrázek 65. Hladina ve VV Smečno – červenec 2021	69
Obrázek 66. Příklad dat měsíčních odběrů.....	72
Obrázek 67. Výstupy dálkového odečtu.....	73
Obrázek 68. Řešený model vodovodního systému.....	74
Obrázek 69. Drsnost potrubí	75
Obrázek 70. Dimenze potrubí	75
Obrázek 71. Tlaková pásma Kačice	76
Obrázek 72. Příklad výpočtu spotřeby vody	77
Obrázek 73. Průběh denních spotřeb Ledce.....	77
Obrázek 74. Průběh denních spotřeb Smečno + odtok na Hrdlív.....	77

Obrázek 75. Demand Pattern Hrdlív.....	78
Obrázek 76. Demand Pattern „Smečno“	78
Obrázek 77. Průměrná denní nerovnoměrnost červenec 2021.....	79
Obrázek 78. Průběh tlaku, hloubky a % otevření šoupěte na VV Smečno	79
Obrázek 79. Histogram četnosti plnění	80
Obrázek 80. Prítok do vodojemu a hladina	80
Obrázek 81. Porovnání výsledných průtoků v AŠ Hrdlív 4.7.2021	82
Obrázek 82. Řízení VV Smečno při plnění a prázdnění (vč. hystereze).....	82
Obrázek 83. Prítok do VV Smečno modelová/měřená data 4.7.2021	83
Obrázek 84. Tlak na přivaděči před VV Smečno 4.7.2021	83
Obrázek 85. Hladina vody ve VV Smečno 4.7.2021	84
Obrázek 86. Odtok do Smečna 4.7.2021	85
Obrázek 87. Odtok do spotřebiště Ledce 4.7.2021	85
Obrázek 88. Prítok do AŠ Hrdlív 4.7.2021	86
Obrázek 89. Tlak před AŠ Hrdlív 4.7.2021	86
Obrázek 90. Prítok do VV Smečno 22.7.2021	87
Obrázek 91. Tlak v přivaděči před VV Smečno 22.7.2021	87
Obrázek 92. Hladina ve VV Smečno 22.7.2021	88
Obrázek 93. Odtok do spotřebiště Smečno a Hrdlív 22.7 2021	88
Obrázek 94. Odtok do spotřebiště Ledce 22.7.2021	89
Obrázek 95. Prítok do AŠ Hrdlív 22.7.2021	89
Obrázek 96. Tlak v AŠ Hrdlív 22.7.2021.....	90
Obrázek 97. Tlak ve stávající soustavě 20:30 hod.....	91
Obrázek 98. Rychlosti v soustavě ve 20:30 hod	91
Obrázek 99. Tlakové ztráty v m/km	92
Obrázek 100. Průběh tlaku před VV Smečno pro průměrný den	92
Obrázek 101. Prítok do vodojemu pro průměrný den	93
Obrázek 102. Hladina ve vodojemu pro průměrný den.....	93
Obrázek 103. Změna hladiny a odběr z VV Smečno – vypouštění vodojemu	94
Obrázek 104. Změna hladiny a odběr ze ZV Kačice – vypouštění vodojemu.....	95
Obrázek 105. Kapacita přivaděče pro stávající stav	96
Obrázek 106. Kapacita přivaděče na prítoku do vodojemu bez omezení tlaku	96
Obrázek 107. Plnění VV Smečno a hladina ve vodojemu pro stávající stav	97
Obrázek 108 Tlak ve stávající soustavě x1,2 v 20:30 hod	98
Obrázek 109. Rychlosti v soustavě x1,2 ve 20:30 hod.....	99
Obrázek 110. Tlakové ztráty v m/km ve stávající soustavě x1,2.....	99
Obrázek 111. Průběh tlaku před VV Smečno pro Q max	100
Obrázek 112. Průběh prítoku do VV Smečno pro Q max	100
Obrázek 113. Průběh hladiny ve VV Smečno pro Q max.....	101
Obrázek 114. Kapacita přivaděče a Q max odběr z vodojemu	101
Obrázek 115. Oblast, kde je navrženo zvýšení dimenze potrubí.....	102
Obrázek 116. Tlak ve stávající soustavě x1,2 po zvětšení dimenze v Kačici na DN 200	103
Obrázek 117. Rychlost ve stávající soustavě x1,2 po zvětšení dimenze v Kačici na DN 200.....	104
Obrázek 118. Tlakové ztráty ve stávající soustavě x1,2 po zvětšení dimenze v Kačici na DN 200.....	104
Obrázek 119. Kapacita přivaděče po navýšení dimenze na DN 200 v Kačici a odběr Q max	105
Obrázek 120. Hladina vody ve vodojemu pro DN 200 Kačice a odběr Q max	105

Obrázek 121. Příklad do vodojemu DN 200 Kačice a odběr Q max	106
Obrázek 122. Tlak před vodojemem pro DN 200 Kačice a odběr Q max	106
Obrázek 123. Tlak v soustavě pro výhledový počet obyvatel ve 20:30	108
Obrázek 124. Rychlost v soustavě pro výhledový počet obyvatel ve 20:30.....	108
Obrázek 125. Tlakové ztráty v soustavě pro výhledový počet obyvatel ve 20:30 ...	109
Obrázek 126. Kapacitní přítok do VV Smečno a odběr do Spotřebiště pro výhledový počet obyvatel.....	109
Obrázek 127. Hladina vody ve vodojemu pro výhledový počet obyvatel	110
Obrázek 128. Příklad do VV Smečno pro výhledový počet obyvatel.....	110
Obrázek 129. Tlak v přivaděči před VV Smečno pro výhledový počet obyvatel	111
Obrázek 130. Tlak pro výhledový počet obyvatel při navýšení DN 200 Kačice	112
Obrázek 131. Tlak v soustavě při výhledovém počtu obyvatel, zvýšení DN 200 v Kačici a zrušení odtoku z AŠ Hrdlív	113
Obrázek 132. Tlak v soustavě pro výhledový počet obyvatel, zvýšení DN 200 v Kačici a zrušení odtoku do ZV Libušín	113
Obrázek 133. Tlakové ztráty na přivaděči pro výhledový počet obyvatel a DN 200 Kačice	114
Obrázek 134. Průběh hladiny ve VV Smečno pro výhledový počet obyvatel a opatření	115
Obrázek 135. Příklad do VV Smečno pro výhledový počet obyvatel a opatření	115
Obrázek 136. Tlak na přítoku do vodojemu pro výhledový počet obyvatel a opatření	116
Obrázek 137. Kapacitní přítok do VV Smečno a odběr z něj.....	116