

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**  
**FAKULTA STAVEBNÍ**  
**KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ**



**Sestavení hydraulického modelu a analýza  
tlakových poměrů vodovodní sítě městské  
části Praha Přední Kopanina**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Bc. Lucia Vachová**

**Vedoucí diplomové práce: Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.**

**Květen 2020**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Vachová</u>	Jméno: <u>Lucia</u>	Osobní číslo: <u>438982</u>
Zadávací katedra: <u>144 - Katedra zdravotního a ekologického inženýrství</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Vodní hospodářství a vodní stavby</u>		

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:	<u>Sestavení hydraulického modelu a analýza tlakových poměrů vodovodní sítě městské části Praha Přední Kopanina</u>		
Název diplomové práce anglicky:	<u>Design of hydraulic model and pressure analysis of water supply system for town district Praha Přední Kopanina</u>		
Pokyny pro vypracování:	<p>Cílem diplomové práce bude vytvoření hydraulického modelu vodovodní sítě městské části Praha Přední Kopanina. Součástí práce bude literární rešerše, ve které studentka s využitím české i zahraniční literatury popíše výpočet potřeby vody, potřebná vstupní data pro modelování, princip matematického modelování vodovodních sítí v Epanetu 2.0. a Mike Urbanu a možnosti využití těchto programů. V praktické části bude sestaven hydraulický model vodovodní sítě pomocí softwaru Epanet 2.0 nebo Mike Urban a bude popsána tvorba a kalibrace modelu. Následně budou provedeny simulace vybraných zatěžovacích stavů s vyhodnocením tlakových poměrů ve spotřebišti.</p>		
Seznam doporučené literatury:	<p>[1] Rossman, A.L., EPANET 2 Users Manual. United States Environmental Protection Agency, Water supply and Water Resources Division. USA, 2000 [2] MIKE Urban User Guide, Water Distribution, Modelling of Water Distribution Systems, DHI, 2017 [3] Cooper, James P., Computer modeling of water distribution systems, American Water Works Association, 2018</p>		
Jméno vedoucího diplomové práce:	<u>Ing. Kateřina Slavičková, Ph.D.</u>		
Datum zadání diplomové práce:	<u>18.2.2020</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>17.5.2020</u> <i>Údaj uvedte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>	
_____	Podpis vedoucího práce	_____	Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<p><i>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“.</i></p>	
<u>18.2.2020</u>	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

## **Čestné prehlásenie**

Prehlasujem, že som predloženú prácu vypracovala samostatne a že som uviedla všetky použité informačné zdroje v súlade s Metodickým pokynom o etickej príprave vysokoškolských záverečných prác.

V Prahe dňa 17.5.2020

Lucia Vachová

## **Pod'akovanie**

Rada by som sa touto cestou poďakovala vedúcej mojej diplomovej práce, Ing. Kateřině Slavíčkové, Ph.D. za odborné rady, trpezlivosť a ochotu počas celého vedenia práce. Ďalej by som sa chcela poďakovať mojej rodine a blízkym za ich podporu a porozumenie. V neposlednom rade patrí moja vďaka spoločnosti D-plus projektová a inženýrská a.s., za poskytnutie dát a podkladov potrebných k vypracovaniu tejto práce a za cenné rady a konzultácie.

## **Anotácia**

Predmetom diplomovej práce je zostavenie matematického modelu a hydraulická analýza vodovodnej siete menšieho rozsahu.

Teoretická časť je zameraná na popis zásobovania vodou od zdroja až k spotrebiteľovi, výpočet potreby vody, hydrauliku vodovodných sietí, matematické modelovanie vodovodných sietí a súhrn programov pre modelovanie distribučných systémov.

V praktickej časti je popísaná tvorba hydraulického modelu vodovodnej siete pre vybranú lokalitu a kalibrácia modelu. Pre vodovodnú sieť je navrhnutých niekoľko záťažových stavov, ktoré zahŕňajú ako aktuálny, tak aj výhľadový stav siete. Všetky varianty výpočtu sú následne posúdené a vyhodnotené z hydraulického hľadiska. Cieľom práce je vyhodnotenie tlakových pomerov vo vodovodnej sieti a návrh opatrení, ktoré by prispeli k lepšiemu fungovaniu systému.

### **Kľúčové slová:**

zásobovanie vodou, matematické modelovanie vodovodných sietí, zostavenie a kalibrácia hydraulického modelu, hydraulická analýza, tlakové pomery vo vodovodnej sieti

## **Annotation**

Subject of this diploma thesis is design of mathematical model and hydraulic analysis of water supply system of smaller size.

Theoretical part describes water supply system all the way from the source to the consumer, specification of water consumption, hydraulics of water distribution systems, mathematical modelling of water distribution systems and software that can be used to simulate these systems.

Practical part deals with the design of mathematical model of distribution system for selected town district and calibration of the model. Several scenarios are included. Some of them reflect existing distribution system, while others are focused on how distribution system will work in the future, after connection of development areas and new demands. All scenarios are computed, assessed and evaluated. The main goal of this thesis is to evaluate pressure in distribution system and to suggest possible solutions to improve distribution system.

### **Key word:**

water supply, mathematical modelling of water distribution systems, design and calibration of hydraulic model, hydraulic analysis, pressure in water distribution systems

# OBSAH

1	Úvod a ciele práce .....	10
2	Teoretická časť .....	12
2.1	Základné prvky vodovodného systému.....	12
2.1.1	Zdroj vody.....	12
2.1.2	Odberné objekty.....	13
2.1.3	Čerpacia stanica .....	13
2.1.4	Úpravňa vody.....	13
2.1.5	Privádzací vodovodný rad .....	14
2.1.6	Vodojem.....	14
2.1.7	Zásobovací vodovodný rad.....	14
2.1.8	Distribučná sieť.....	14
2.2	Potreba vody.....	14
2.2.1	Potreba vody pre obyvateľstvo .....	15
2.2.2	Potreba vody pre poľnohospodárstvo .....	15
2.2.3	Potreba vody pre priemysel .....	15
2.2.4	Požiarne voda.....	16
2.2.5	Straty vody a potreba vody vo vodárenských prevádzkach.....	16
2.2.6	Výpočet potreby vody.....	16
2.2.6.1	Maximálna denná potreba vody .....	17
2.2.6.2	Maximálna hodinová potreba vody .....	17
2.3	Hydraulika vodovodných sietí .....	17
2.3.1	Rovnica spojitosti - kontinuity.....	18
2.3.2	Bernoulliho rovnica .....	18
2.3.3	Straty energie .....	19
2.3.3.1	Straty trením .....	19

2.3.3.2	Miestne straty .....	19
2.3.4	Tlakové pomery vo vodovodnej sieti.....	20
2.3.5	Kvalita vody pri distribúcii k spotrebiteľom .....	21
2.4	Matematické modelovanie vodovodných sietí.....	21
2.4.1	Typy hydraulickej analýzy.....	22
2.4.1.1	Statická analýza .....	22
2.4.1.2	Kvazi - dynamická analýza .....	22
2.4.1.3	Dynamická analýza .....	23
2.4.2	Podmienky hydraulickej analýzy.....	23
2.4.2.1	Uzlová podmienka.....	23
2.4.2.2	Okruhová podmienka .....	23
2.4.2.3	Hydraulická podmienka.....	24
2.4.3	Metódy hydraulickej analýzy.....	25
2.4.3.1	Metóda vyrovnania stratových výšok.....	25
2.4.3.2	Metóda vyrovnania prietokov.....	25
2.4.3.3	Metóda vyrovnania odporových súčiniteľov.....	25
2.4.4	Zadávanie odberných miest .....	25
2.4.4.1	Metóda redukovaných dĺžok .....	26
2.4.4.2	Metóda dvoch súčiniteľov .....	26
2.4.5	Podklady a vstupné dáta .....	27
2.4.6	Nastavenie projektu a jednotky.....	28
2.4.7	Základné prvky (objekty) pre modelovanie vodovodnej siete.....	29
2.4.7.1	Rezervoár.....	29
2.4.7.2	Vodojem .....	29
2.4.7.3	Uzol .....	29
2.4.7.4	Potrubie.....	30
2.4.7.5	Čerpadlo .....	30

2.4.7.6	Ventily .....	30
2.4.8	Pravidlá pre riadenie siete .....	31
2.4.9	Časové diagramy .....	31
2.4.10	Krivky .....	32
2.4.11	Časové nastavenia simulácie .....	32
2.4.12	Schematizácia siete .....	33
2.4.13	Kalibrácia .....	34
2.4.14	Verifikácia .....	35
2.5	Software používaný pre modelovanie vodovodných sietí .....	35
2.5.1	Epanet .....	35
2.5.2	Mike Urban .....	37
2.5.3	SiteFlow .....	38
2.5.4	InfoWater a H2ONet .....	39
2.5.4.1	InfoWater .....	39
2.5.4.2	H2ONet .....	39
2.5.5	KYPipe .....	40
3	Praktická časť .....	41
3.1	Podklady .....	41
3.2	Záujmová oblasť .....	42
3.2.1	Popis záujmovej oblasti .....	42
3.2.2	Systém zásobovania vodou mestskej časti Praha - Přední Kopanina .....	43
3.2.3	Spotreba vody v záujmovom území .....	44
3.3	Vytváranie modelu .....	45
3.3.1	Stavba siete .....	45
3.3.2	Dĺžka simulácie a časový krok výpočtu .....	46
3.3.3	Krivky kolísania hladiny rezervoáru .....	46
3.3.4	Krivky nerovnomernosti odberov .....	48



3.3.5	Plánovaný rozvoj v obci a existujúce nepripojené objekty.....	50
3.4	Kalibrácia a verifikácia modelu .....	56
3.4.1	Dáta pre kalibráciu a verifikáciu - merná kampaň v lokalite.....	56
3.4.2	Kalibrácia modelu.....	58
3.4.3	Verifikácia modelu .....	59
3.4.4	Grafické porovnanie nameraných a simulovaných tlakov.....	60
3.5	Posudzované výpočtové stavy.....	65
3.5.1	Súčasný stav v jesennom období .....	66
3.5.2	Súčasný stav v letnom období .....	73
3.5.3	Výhľadový stav v jesennom období .....	78
3.5.4	Výhľadový stav v letnom období .....	84
3.5.5	Súčasný stav v letnom období so zaťažením požiarnym odberom.....	89
3.5.6	Výhľadový stav v letnom období so zaťažením požiarnym odberom.....	94
3.6	Vyhodnotenie a navrhované opatrenia.....	98
4	Záver.....	104
5	Zoznam použitej literatúry .....	106
6	Zoznam obrázkov .....	109
7	Zoznam tabuliek .....	111
8	Zoznam príloh .....	111

# 1 Úvod a ciele práce

Voda je jednou zo základných potrieb nášho každodenného života, bez ktorej by sme nemohli existovať. Využívame ju na pitie, umývanie, varenie, pranie, v priemysle na chladenie a pri výrobných procesoch, v poľnohospodárstve na závlahu a na mnoho ďalších účelov. Zásobovanie vodou vždy patrilo k hlavným úlohám vodného hospodárstva. S rozvojom spoločnosti sa postupne stále viac a viac zdokonaľoval aj systém zásobovania vodou od jednoduchých otvorených kanálov privádzajúcich vodu gravitáciou priamo z koryta rieky k ľuďom, až po dnešné zložité systémy obsahujúce úpravne vody, vodojemy, čerpacie stanice a dlhé kilometre vodovodných potrubí.

Pre výstavbu sofistikovanejších a komplexnejších systémov distribúcie vody bolo nevyhnutné sledovať a lepšie pochopiť chovanie vody a matematicky popísať zákonitosti, ktorými sa riadi. Práve vďaka matematickým vzťahom, ktoré popisujú prúdenie vody v potrubí, rozvoju výpočtovej techniky a numerických modelov, je dnes možné vytvárať matematické modely vodovodných sietí. Tieto modely nám umožňujú zefektívniť riadenie vodovodných sietí, nájsť ich kritické miesta, overiť správanie siete pri extrémnych podmienkach a posúdiť rozšírenie siete pre výhľadové stavy s väčšou spotrebou vody. Matematické modely nám pomáhajú pri celkovej optimalizácii procesu zásobovania vodou.

Cieľom teoretickej časti diplomovej práce bolo priblížiť jednotlivé časti zásobovania pitnou vodou, potrebu vody a jej výpočet, vysvetliť základné princípy hydrauliky potrubí a matematického modelovania vodovodných sietí. Súčasťou teoretickej časti je zároveň prehľad programov, ktoré sa v súčasnosti využívajú pre rôzne druhy matematického modelovania.

Praktická časť je venovaná matematickému modelu distribučnej siete mestskej časti Praha - Přední Kopanina. Cieľom práce bolo posúdenie tlakových pomerov v záujmovom území. Úvod praktickej časti obsahuje zoznámenie so záujmovou lokalitou a podkladmi, na základe ktorých bol vytvorený model. Nasleduje popis tvorby modelu - stavba siete, tvorba kriviek, údaje o potrebe vody pre výhľadový stav. V ďalšom kroku boli pre overenie správneho fungovania modelu porovnané dáta vypočítané modelom, s dátami z terénneho merania - bola prevedená kalibrácia a verifikácia modelu. Po úspešnom zkalibrovaní a zverifikovaní bola postupne uskutočnená simulácia niekoľkých záťažových stavov vodovodnej siete. Výsledky

všetkých simulácií boli posúdené a vyhodnotené z hľadiska tlakových pomerov. V závere práce sú navrhnuté opatrenia, ktoré by prispeli k optimalizácii tlakových pomerov v spotrebisku.

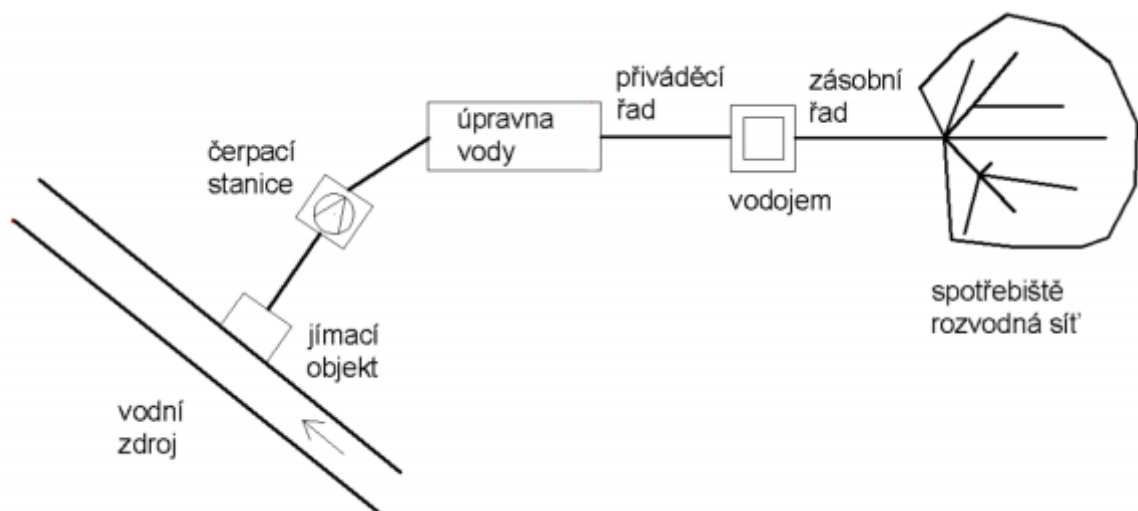
## 2 Teoretická časť

### 2.1 Základné prvky vodovodného systému

Systém zásobovania pitnou vodou tvoria objekty slúžiace pre odber, akumuláciu, úpravu a dopravu vody a vzájomné väzby medzi týmito objektmi. [1]

Medzi hlavné časti systému zásobovania vodou patria:

1. Zdroj vody
2. Odberný objekt (jímací)
3. Čerpacia stanica
4. Úpravňa vody
5. Privádzací vodovodný rad
6. Vodojem
7. Zásobovací vodovodný rad
8. Distribučná sieť [2]



Obr. č. 1 Schéma zásobovania pitnou vodou [3]

#### 2.1.1 Zdroj vody

Pre zásobovanie pitnou vodou je možné využiť povrchovú, alebo podzemnú vodu. Pri výbere zdroja uprednostňujeme vody, ktoré sa svojou kvalitou a vlastnosťami čo najviac blížia pitnej vode, zároveň však zohľadňujeme výdatnosť a dostupnosť vodného zdroja a náklady na úpravu a dopravu vody. [3]

### **2.1.2 Odberné objekty**

Odberné (jímacie) objekty podzemnej vody sa delia na vertikálne (potrubné a šachtové studne), horizontálne (zárezy, štôlne, vodorovné vrty) a plošné objekty. Najčastejšie využívané sú vertikálne objekty - hydrogeologické vrty, ktoré môžu byť hĺbené rotačným, alebo nárazovým vrtaním a musia byť primerane vystrojené. Odberné objekty povrchovej vody môžu byť umiestnené v nádržiach, alebo v tečúcich vodách. Pre odber vody z nádrží sa používajú prevažne vežové objekty s možnosťou odberu vody v rôznych výškových úrovniach. V tečúcich vodách môže byť odber uskutočnený pomocou haťového odberného objektu, brehového odberného objektu, alebo objektu na dne koryta. [2] [3]

### **2.1.3 Čerpacia stanica**

Čerpacia stanica je objekt, ktorý slúži k doprave vody z nižšie položeného miesta do miesta s vyššou polohou. Hydraulický systém je tvorený čerpadlom, sacím a výtlačným potrubím. Pri čerpaní vody je nutné prekonať rozdiel hladín medzi oboma nádržami, straty energie, ktoré vzniknú v systéme pri doprave vody (miestne straty a straty trením), rozdiel rýchlostných výšok v sacom a výtlačnom potrubí a rozdiel tlakov nad hladinami nádrží. [4]

### **2.1.4 Úpravňa vody**

Hlavnou funkciou úpravne je zlepšenie vlastností a kvality vody tak, aby vyhovovala požiadavkám na pitnú vodu. Pitná voda je charakterizovaná ako voda, ktorá ani pri dlhodobom užívaní nevyvoláva zdravotné komplikácie a ochorenia, neovplyvňuje negatívnym spôsobom zdravie spotrebiteľa, alebo jeho potomstva prítomnosťou mikroorganizmov alebo iných nežiadúcich látok. Úprava vody sa líši predovšetkým v závislosti na zdroji vody a množstve znečistenia. Najčastejšie procesy pre úpravu podzemnej vody sú: odkyselovanie, odželezovanie, odmangánovanie, filtrácia, dezinfekcia. Ďalšie používané technológie sú: odstraňovanie horčíku a vápniku, membránové procesy, iontová výmena, desorpcia, demineralizácia a deionizácia.

Medzi spôsoby úpravy povrchovej vody patria: mechanické predčistenie, preoxidácia, čírenie, filtrácia, flotácia, adsorpcia, dezinfekcia, stabilizácia, ultra a nanofiltrácia. [3] [4]

### **2.1.5 Privádzací vodovodný rad**

Je vodovod, ktorý distribuuje vodu od zdroja k úpravni. Ďalej sem patria rady, ktoré dopravujú vodu z úpravne do vodojemu. Privádzacie rady sa dimenzujú na maximálnu dennú potrebu vody  $Q_m$ . Rýchlosť prúdenia by sa mala pohybovať okolo 1 m/s, maximálny povolený pretlak v potrubí je daný menovitým tlakom PN, ktorý je rozdielny pre rôzne druhy materiálov. [2] [4]

### **2.1.6 Vodojem**

Má 3 základné funkcie - akumuláciu, tlakovú a kontaktnú. Slúži teda k akumulácii vody pre vyrovnanie dennej nerovnomernosti spotreby v rozvodnej sieti, akumulácii vody pre požiarne účely, prípady poruchy na privádzacom rade a vyrovnanie rozkolísanosti prítoku a odtoku z/do vodojemu. Zároveň zabezpečuje dostatočný tlak v rozvodnej sieti a kontakt vody s chemikáliami po primerane dlhú dobu nevyhnutnú pre hygienické zabezpečenie vody. [2] [4]

### **2.1.7 Zásobovací vodovodný rad**

Dopravuje vodu z vodojemu do spotrebiska. Na tento rad nie sú priamo pripojené jednotlivé odberné miesta. Zásobovací vodovodný rad sa dimenzuje na maximálnu hodinovú potrebu  $Q_{h \max}$ . [2] [5]

### **2.1.8 Distribučná sieť**

Slúži k rozvodu vody po celom spotrebisku, na rozvodné potrubia sú vodovodnými prípojkami pripojení jednotliví spotrebitelia. Rovnako ako zásobovací rad je distribučná sieť dimenzovaná na maximálnu hodinovú potrebu  $Q_{h \max}$ . [2] [5]

## **2.2 Potreba vody**

Dôležitým podkladom pre správne posudzovanie a navrhovanie vodovodných radov, zariadení slúžiacich k zachytávaniu, akumulácii a úprave vody sú informácie o potrebe vody. Najmä pri navrhovaní nových vodovodných radov je dôležité vziať do úvahy nielen aktuálny stav vodovodnej siete, ale tiež predpokladaný rozvoj zásobovaného územia vo výhľade niekoľkých desiatok rokov a tomu úmerné zvýšenie potreby vody.

Údaje o potrebe vody je možné získať meraniami na už existujúcich vodovodných sieťach. Ďalšími podkladmi pre určenie potreby vody výhľadového stavu zásobovania sú územné plány miest a obcí, prípadne iné dokumenty o plánovanej výstavbe. V súčasnosti stále používanou metodikou pre výpočet potreby vody je Smernica č.9

z roku 1973. Zásady pre výpočet potreby vody sú v nej stanovené na základe mnohých meraní z existujúcich prevádzok a ich následnom štatistickom vyhodnotení. [2]

Spotreba vody v ČR za posledné desaťročia je oproti odhadom zo 70 rokov, keď bola táto smernica platná, nižšia. Preto sa pri projektovaní požívajú smerné ročné čísla potreby vody z prílohy č.12 k vyhláske č. 428/2001 Sb., ktorou sa prevádza zákon č.274/2001 Sb., o vodovodoch a kanalizáciách pre verejnú potrebu a o zmene niektorých zákonov.

Potrebu vody pre zásobované územie môžeme podľa typu odberov rozdeliť do niekoľkých skupín:

### **2.2.1 Potreba vody pre obyvateľstvo**

ktorá sa ďalej delí na:

- vodu pre bytový fond - sem patrí voda pre priamu spotrebu obyvateľstva - pitie, varenie, umývanie riadov, kúpanie, pranie, upratovanie a pod.
- vodu pre občiansku vybavenosť obce - ktorá zahŕňa vodu pre školy, nemocnice, kultúrne zariadenia ako kiná či divadlá, úrady a pod.
- vodu pre technickú vybavenosť obce - slúžiacu k údržbe obce - napr. vodu na čistenie ulíc alebo závlahu ihrísk, táto voda môže mať kvalitu úžitkovej vody

V prípade, že sa jedná o úžitkovú vodu, je táto voda dopravovaná iným potrubím než voda pitná. Nezahŕňa sa teda do potreby pitnej vody a dimenzovania potrubí pre dopravu pitnej vody. [2] [6]

### **2.2.2 Potreba vody pre poľnohospodárstvo**

Patrí sem:

- voda pre pracovníkov - voda na pitie a umývanie
- voda pre hospodárske zvieratá - voda pre napájanie a čistenie
- voda pre prevádzku poľnohospodárskych závodov
- voda pre závlahy - množstvo sa líši v závislosti na druhu plodiny, osevnom postupe a pestovateľskej oblasti - nemusí mať kvalitu pitnej vody [2] [6]

### **2.2.3 Potreba vody pre priemysel**

Zahŕňa vodu potrebnú na výrobné procesy, chladiacu vodu, vodu pre pracovníkov na pitie a umývanie. Potreba vody pre priemysel býva pre jednotlivé prevádzky značne odlišná, v závislosti na type a veľkosti priemyselnej výroby. Rovnako sa môže líšiť aj

kvalita vody, podľa účelu, ku ktorému je používaná. Technologická voda býva často zbavená mineralizácie a môže mať kvalitu úžitkovej vody, napr. voda pre chladiace okruhy. Voda určená pre pracovníkov má kvalitu pitnej vody. [2] [6]

#### **2.2.4 Požiarna voda**

V celkovom objeme potreby vody tvorí pomerne malú, no nezanedbateľnú časť. Jej zdrojom môže byť nádrž, vodný tok, ale aj vodovod. Pitná voda slúži k haseniu požiarov v prípade, že sa v okolí nenachádza iný zdroj požiarnej vody. Jej odber je značne nárazový, množstvo odberanej vody ako aj čas odberu je ťažko odhadnuteľný. Potreba požiarnej vody závisí na veľkosti obostavanej plochy a výške budov, vzdialenosti medzi budovami, ako aj na vlastnostiach použitých materiálov. [2] [6]

#### **2.2.5 Straty vody a potreba vody vo vodárenských prevádzkach**

K únikom vody dochádza v každej vodovodnej sieti. Sú spôsobené netesnosťami spojov jednotlivých častí potrubí, skrytými poruchami, haváriami, prípadne neoprávnenými čiernymi odbermi a nepresnosťou meracích prístrojov. V súčasnosti je odhadovaná miera únikov v Českej Republike priemerne okolo 20 % dodávanej vody. [6]

Ďalšou skupinou je voda spotrebovaná na vlastnú prevádzku objektov zásobovania vodou - v úpravni na pranie filtrov, na preplachovanie potrubí a pod. Táto voda tvorí približne 2-5 % upravovanej vody. [2]

#### **2.2.6 Výpočet potreby vody**

Pre vysvetlenie výpočtu potreby vody je vhodné najprv definovať niekoľko základných pojmov, s ktorými metodika pracuje.

**Špecifická potreba vody** - je potreba vody, ktorá pripadá na spotrebnú jednotku napr. na jedného ekvivalentného obyvateľa, alebo na jedno lôžko, udáva sa v l/deň. V špecifickej potrebe vody sú obsiahnuté aj straty vody, ku ktorým dôjde počas dopravy vody k spotrebiteľovi, počíta sa s hodnotou strát 20%.

**Nerovnomernosť potreby vody** - udáva kolísanie odoberaného množstva vody v zásobovanej lokalite za sledované obdobie.

**Súčiniteľ nerovnomernosti k** - je pomer maximálnej potreby vody ku priemernej potrebe vody za časovú jednotku počas sledovaného obdobia. [7]



### 2.2.6.1 Maximálna denná potreba vody

Maximálna denná potreba vody  $Q_m$  sa vypočíta podľa vzťahu:

$$Q_m = k_d \cdot Q_p \quad (2.1)$$

kde:  $Q_p$  je priemerná denná potreba vody pre zásobovanú lokalitu

$k_d$  je súčiniteľ dennej nerovnomernosti

Hodnota súčiniteľa  $k_d$  je rôzna pre obce v závislosti od počtu zásobovaných obyvateľov [6]:

**Tabuľka č. 1 Hodnoty súčiniteľa  $k_d$**

Veľkosť obce	Súčiniteľ dennej nerovnomernosti $k_d$
do 1 000 obyvateľov	1,50
1 000 až 5 000 obyvateľov	1,40
5 000 až 20 000 obyvateľov	1,35
20 000 až 100 000 obyvateľov	1,25

### 2.2.6.2 Maximálna hodinová potreba vody

Maximálna hodinová potreba vody  $Q_{hmax}$  sa vypočíta podľa vzťahu:

$$Q_{hmax} = \frac{Q_m \cdot k_h}{24} \quad (2.2)$$

kde:  $Q_m$  je maximálna denná potreba vody pre zásobovanú lokalitu

$k_h$  je súčiniteľ hodinovej nerovnomernosti

Súčiniteľ  $k_h$  má vo väčšine prípadov hodnotu 1,8 pre zástavbu sídliskového charakteru je možné jeho hodnotu zvýšiť na 2,1 ; prípadne až na 2,3. [6]

Nerovnomernosť potreby vody je pre každú lokalitu iná, ovplyvňuje ju charakter zástavby, sezónna rozkolísanosť odberov a spôsob života obyvateľov.

## 2.3 Hydraulika vodovodných sietí

V hydrodynamike môžeme rozdeliť prúdenie podľa rôznych kritérií do niekoľkých skupín. Napríklad:

- podľa režimu prúdenia na laminárne a turbulентné
- podľa pôsobiacich síl na prúdenie s voľnou hladinou alebo tlakové prúdenie

- podľa časového hľadiska na ustálené a neustálené prúdenie

Vo vodovodnej sieti dochádza k tlakovému turbulentnému prúdeniu. Z časového hľadiska sa jedná o neustálené pomaly premenné prúdenie, s výnimkou napríklad vodného rázu, ku ktorému môže dôjsť pri náhlom zavretí uzáverov, alebo výpadku čerpadla. V praxi sa často pre zjednodušenie výpočtu nahrádza pomaly premenné prúdenie ustáleným prúdením pre najkritickejší návrhový stav výpočtu.

Medzi základné rovnice popisujúce tlakové prúdenie v potrubí patrí Bernoulliho rovnica a rovnica spojitosti. [8]

### 2.3.1 Rovnica spojitosti - kontinuity

Vyjadruje zákon zachovania hmotnosti. Hovorí, že hmotnosť prúdiacej kvapaliny, ktorá za čas  $t$  nateká do elementu, musí z elementu po rovnakú dobu  $t$  vytekať. Tekutina v žiadnom mieste prúdu nevzniká, ani nezaniká. [9]

$$\rho \frac{\partial u_x}{\partial x} + \rho \frac{\partial u_y}{\partial y} + \rho \frac{\partial u_z}{\partial z} + \frac{\partial \rho}{\partial t} = 0 \quad (2.3)$$

kde:  $\rho$  - merná hmotnosť elementárneho hranolu [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$u_x, u_y, u_z$  - zložky rýchlosti v smere osi  $x, y, z$  [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$t$  - čas [ $\text{s}$ ]

### 2.3.2 Bernoulliho rovnica

Používa sa pre výpočet tlakového prúdenia vo vodovodných sieťach, vyjadruje zákon zachovania mechanickej energie. Je možné použiť ju pre výpočet ustáleného i neustáleného prúdenia, tvar pre ustálené prúdenie je nasledovný: [10]

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha v_2^2}{2g} + z \quad (2.4)$$

kde:  $h_1; h_2$  - polohová výška [ $\text{m}$ ]

$p_1; p_2$  - tlak [ $\text{Pa}$ ]

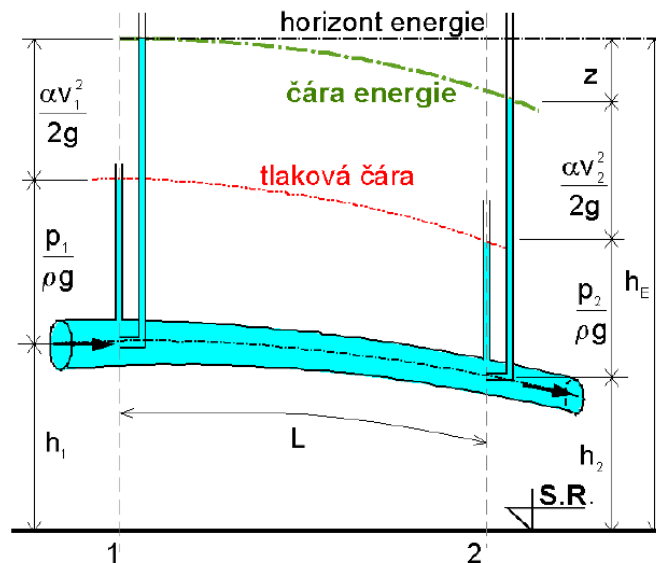
$\alpha$  - Coriolisovo číslo [-]

$v_1; v_2$  - stredná prierezová rýchlosť [ $\text{m}/\text{s}$ ]

$\rho$  - hustota tekutiny [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ]

$g$  - gravitačné zrýchlenie [ $\text{m}/\text{s}^2$ ]

$z$  - stratová výška [ $\text{m}$ ]



Obr. č. 2 Graficky zobrazená Bernoulliho rovnica [11]

### 2.3.3 Straty energie

Straty mechanickej energie pri prúde v potrubí delíme na straty trením a miestne straty, prejavujú sa úbytkom tlaku vo vodovodnej sieti.

#### 2.3.3.1 Straty trením

Vznikajú vzájomným trením jednotlivých vrstiev tekutiny, trením tekutiny o steny potrubia a turbulenciou pri zmene smeru prúdenia tekutiny. V našich podmienkach je najčastejšie používaným vzťahom pre výpočet strát trením Darcy-Weisbachova rovnica [8]:

$$z_t = \lambda \frac{L v^2}{D 2g} \quad (2.5)$$

kde:  $z_t$  - strata trením [m]

$L$  - dĺžka potrubia [m]

$D$  - vnútorný priemer potrubia [m]

$\lambda$  - súčiniteľ straty trením [-]

$v$  - stredná prierezová rýchlosť [m/s]

$g$  - gravitačné zrýchlenie [m/s<sup>2</sup>]

#### 2.3.3.2 Miestne straty

Vyskytujú sa tam, kde sú na sieti umiestnené prvky ako armatúry, tvarovky, oblúky, čerpadlá, náhle zúženie alebo rozšírenie potrubia, odbočky a podobne. Významné sú pri

výpočtoch strát energie na krátkych potrubniach. Pre výpočet strát vo vodovodných sieťach, kde prevládajú dlhé priame úseky potrubia, nemajú až taký význam a väčšinou je možné ich zanedbať. [2]

$$z_m = \xi \frac{v^2}{2g} \quad (2.6)$$

kde:  $z_m$  - miestna strata [m]

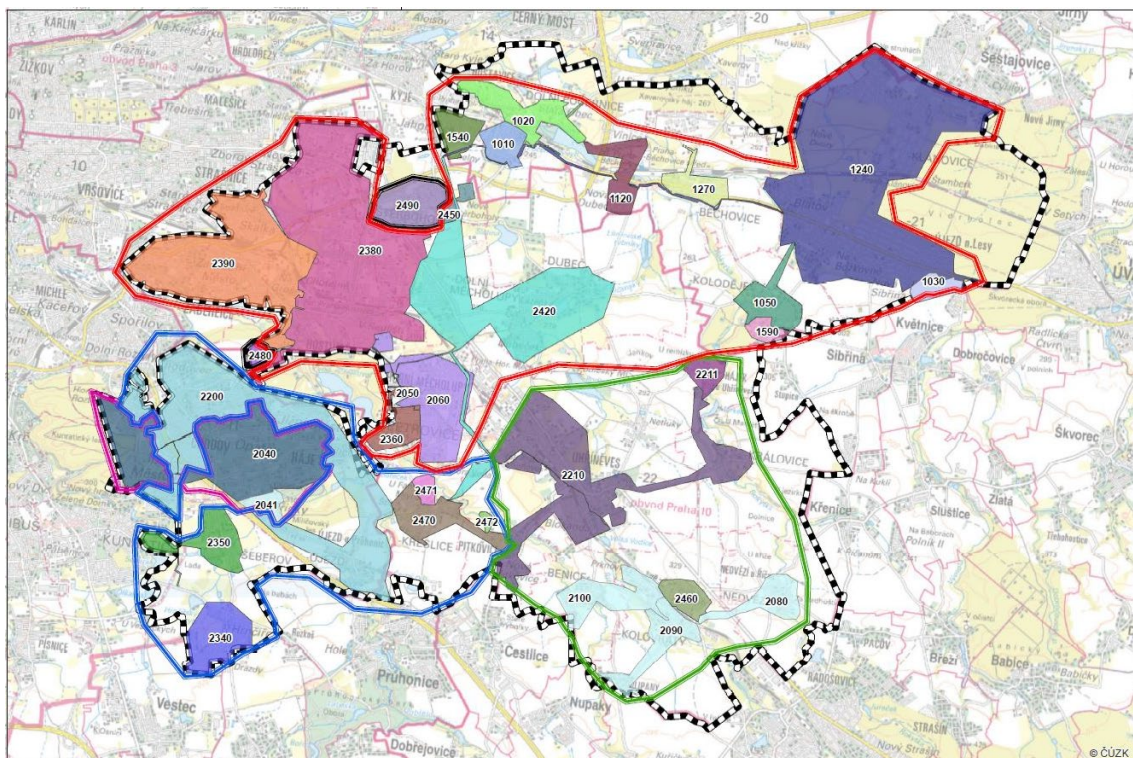
$\xi$  - súčiniteľ miestnej straty závislý na druhu a veľkosti prekážky (odporu) [-]

$v$  - stredná prierezová rýchlosť [m/s]

$g$  - gravitačné zrýchlenie [m/s<sup>2</sup>]

### 2.3.4 Tlakové pomery vo vodovodnej sieti

Rozdelenie vodovodnej siete na tlakové pásma súvisí s členitosťou terénu a výškovým usporiadaním zásobovanej lokality. Optimálne by sa výškové rozdiely terénu pre jedno tlakové pásmo mali pohybovať okolo 25-35 metrov. Pri väčšom výškovom rozdiely je vhodné rozdeliť vodovod v zásobovanej lokalite na viac tlakových pásem. Tlakové pásma sú hydraulicky nezávislé systémy, sú od seba oddelené rôznymi typmi uzáverov a redukčných ventilov. [4]



Obr. č. 3 Rozdelenie siete na tlakové pásma [12]

Posúdenie a návrh opatrení z hľadiska optimalizácie tlakových pomerov v zásobovanej lokalite vychádza z vyhlášky č. 428/2001 Sb.:

Maximálny pretlak v najnižších miestach vodovodnej siete každého tlakového pásma nesmie prevyšovať hodnotu 0,6 MPa, v odôvodnených prípadoch je možné túto hodnotu zvýšiť na 0,7 MPa.

Pri zástavbe do dvoch nadzemných podlaží hydrodynamický pretlak v rozvodnej sieti musí byť v mieste pripojenia vodovodnej prípojky najmenej 0,15 MPa. Pri zástavbe nad dve nadzemné podlažia musí byť hodnota pretlaku minimálne 0,25 MPa. [13]

### **2.3.5 Kvalita vody pri distribúcii k spotrebiteľom**

Na kvalitu vody, ktorá je dodávaná spotrebiteľom má vplyv veľké množstvo faktorov. Kvalita vody v distribučnom systéme sa počas dopravy mení, distribučný systém začína v mieste, kde dochádza k hygienickému zabezpečeniu - dezinfekcii vody na úpravni a končí vodovodnými kohútikmi spotrebiteľov.

Medzi najvýznamnejšie faktory ovplyvňujúce kvalitu dodávanej vody patria: kvalita a zloženie surovej vody, spôsob úpravy vody a typ použitého dezinfekčného činidla, materiál a celkový stav vodovodnej siete. Zhoršenie vlastností vody môže nastať v dôsledku zreagovania pitnej vody s biofilmom na povrchu potrubia, pri príliš dlhom zdržaní vo vodovodnej sieti a následnom poklese zbytkového chlóru. Negatívne tiež vplýva vyššia teplota vody a nízka rýchlosť prúdenia. Nepriaznivý vplyv môže mať v určitých prípadoch aj zokruhovanie siete. Môžu vznikajú mŕtve miesta, kde dochádza ku stagnácii vody a jej starnutiu. V iných úsekoch sa môže za rôznych prevádzkových podmienok meniť smer prietoku a tým dochádzať k väčšiemu uvoľňovaniu sedimentov. Medzi účinné opatrenia pre zlepšenie kvality vody patrí napríklad pravidelné preplachovanie potrubí. [3] [14]

Za optimálnu dobu zdržania vody vo vodovodnej sieti sa považuje doba do 5 dní od posledného miesta hygienického zabezpečenia.

## **2.4 Matematické modelovanie vodovodných sietí**

Jednou zo základných úloh vodného hospodárstva je zabezpečiť nepretržité zásobovanie obyvateľstva pitnou vodou vysokej kvality. Voda je často dodávaná zložitým systémom, ktorý zahŕňa potrubia, čerpadlá, rôzne typy redukčných ventilov, vodojemy, spojné či rozdeľovacie komory a iné objekty. V súčasnosti obľúbeným nástrojom pre

pochopenie fungovania týchto zložitých systémov je matematické modelovanie vodovodných sietí.

Modelovanie distribučných systémov umožňuje použiť počítačový matematický model pre:

- riadenie už existujúcich vodovodných sietí
- projektovanie nových vodovodných sietí
- predpovedanie správania siete za rôznych aj extrémnych prevádzkových podmienok
- optimalizáciu siete z rôznych hľadísk ako je napríklad zníženie únikov, zlepšenie kvality vody, vyhľadanie kritických miest s vysokými hydraulickými stratami
- vyhodnotenie kapacity vodných zdrojov [15]

Hlavnými úlohami matematického modelovania je hydraulická analýza tlakových a prietokových pomerov v sieti a analýza kvality vody, ktorá zahŕňa vyhodnotenie koncentrácií látok, najmä zvyškového chlóru vo vode, prípadne vyhodnotenie doby zdržania vody v systéme. [16]

Stavba matematického modelu bola v minulosti pomerne drahý, náročný a pracný proces. Dnes sú možnosti vytvárania modelu omnoho lepšie aj vďaka prepojeniu s inými systémami a aplikáciami ako napríklad geografické informačné systémy, SCADA systémy (systémy pre dispečerské riadenie a zber dát), CAD systémy (systémy pre počítačom podporovaný návrh). [15]

## **2.4.1 Typy hydraulickej analýzy**

### **2.4.1.1 Statická analýza**

Hydraulická analýza prebieha pre zvolený časový okamih, počas ktorého sú hodnoty odberov v sieti konštantné. Používa sa pre vyhodnotenie maximálnej dennej / hodinovej spotreby, alebo pre výpočty pri zaťažení požiarom odberom. [15] [16]

### **2.4.1.2 Kvazi - dynamická analýza**

Simuluje pomaly premenné prúdenie. Zahŕňa sériu statických analýz vykonaných počas dlhšieho časového intervalu - niekoľkých dní až týždňov. Časový krok výpočtu sa väčšinou pohybuje v rádoch minút, alebo hodín. V každom časovom kroku môže dôjsť k zmene hodnoty odberov, nastaveniu čerpadla, výšky hladiny vo vodojeme apod. Výstupné hodnoty z jedného časového kroku sú vstupom pre nasledujúci krok. [15] [16]

### 2.4.1.3 Dynamická analýza

Je vhodná pre výpočet vodného rázu. Časový krok simulácie je veľmi malý, v rádoch sekúnd, prípadne zlomkov sekúnd, zmena prietokov a tlakových pomerov je teda veľmi rýchla. Tiež trvanie simulácie je krátke. [15] [16]

## 2.4.2 Podmienky hydraulickej analýzy

### 2.4.2.1 Uzlová podmienka

Hovorí, že súčet všetkých prítokov do uzlu sa musí rovnať celkovému odtoku z daného uzlu. Vyjadruje zákon zachovania hmoty a matematicky je možné zapísať ju takto:

$$\Sigma Q_i = \Sigma O_j \quad (2.7)$$

kde:  $Q_i$  - prítok z i-tého úseku

$O_j$  - odber, alebo odtok do j-tého úseku [10]

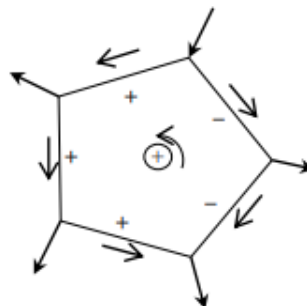
### 2.4.2.2 Okruhová podmienka

Musí platiť pre všetky nezávislé okruhy. V prípade, že je smer prietoku súhlasný s orientáciou úseku priradíme stratovej výške kladné znamienko. Ak je smer prietoku opačný ako orientácia úseku priradíme stratovej výške záporné znamienko. Celkový súčet všetkých stratových výšok okruhu musí byť rovný nule.

Okruhová podmienka vyjadruje zákon zachovania energie a matematicky sa dá formulovať nasledovne:

$$\Sigma h_{zi} = 0 \quad (2.8)$$

kde:  $h_{zi}$  - stratová výška v i-tom úseku [10]



Obr. č. 4 Grafické znázornenie okruhovej podmienky [17]

### 2.4.2.3 Hydraulická podmienka

Je odvodená zo stavových rovníc a definuje vzťah medzi prietokom  $Q$  a stratovou výškou  $h_{zi}$  v úseku.

$$h_{zi} = \kappa_i \cdot Q_i^n \quad (2.9)$$

kde:  $h_{zi}$  - stratová výška v i-tom úseku  
 $\kappa_i$  - odporový súčiniteľ i-tého úseku  
 $Q_i$  - prietok v i-tom úseku  
 $n$  - exponent nadobúdajúci hodnotu 1,75 - 2

Zložitejšia situácia nastáva v prípade, že sa v systéme zásobovania nachádza čerpadlo. V tomto prípade tlakovú výšku získame pomocou vzťahu:

$$h_i = \alpha_i \cdot Q_i^{n_i} - H_{0i} \quad (2.10)$$

kde:  $h_i$  - prírastok tlakovej výšky  
 $Q_i$  - dopravované množstvo  
 $\alpha_i, n_i, H_{0i}$  - parametre čerpadla, pre určenie sa používajú tabuľky dané výrobcom [10]

Pre výpočet okruhovej vodovodnej siete platia všetky tri uvedené podmienky - uzlová, okruhová i hydraulická. Pre výpočet vetvovej vodovodnej siete sa výpočty riadia prvými dvomi podmienkami. [2]

Uvedené podmienky a rovnice používajú programy pre numerické riešenie modelu. Softwarimi sú najčastejšie používané iteračné metódy, ktoré pracujú na princípe odhadu neznámych parametrov. Následne sú cyklickými výpočtami tieto parametre spresňované, až kým nie je dosiahnutá požadovaná presnosť výsledku. Iteračné metódy rozdeľujeme podľa toho, ktoré veličiny sú odhadované a ktorá podmienka je dopočítavaná. [10] [16]



## **2.4.3 Metódy hydraulickej analýzy**

### **2.4.3.1 Metóda vyrovnania stratových výšok**

Metóda je založená na odhade veľkosti a smeru prietokov v sieti tak, aby platila uzlová podmienka. Následne sa dopočíta veľkosť stratových výšok, z ktorých sa určí opravný prietok pre každý úsek okruhu. Výpočet pokračuje cyklickými iteráciami až do dosiahnutia požadovanej zhody. Medzi metódy vyžívajúce tento princíp patria:

- Newtonova metóda I
- Lobačev-Crossova metóda
- Dubin-Crossova metóda [2] [16]

### **2.4.3.2 Metóda vyrovnania prietokov**

Princípom metódy je odhad smeru prietokov a stratových výšok v uzloch, tak aby bola splnená okruhovú podmienka. Dopocítava sa veľkosť prietokov a z nich následne opravné stratové výšky. Výpočet pokračuje až do dosiahnutia požadovanej presnosti. Metódy založené na vyrovnávaní prietokov sú:

- Newtonova metóda II
- Hardy-Crossova metóda [16]

### **2.4.3.3 Metóda vyrovnania odporových súčiniteľov**

V tomto prípade sú odhadované dve veličiny súčasne a to stratové výšky tak, aby platila okruhovú podmienka a veľkosť prietoku tak, aby platila uzlová podmienka. Obe veličiny sa postupne spresňujú určením opravných stratových výšok a opravných prietokov. Metóda patriaca do tejto skupiny:

- McIlroyova metóda [16]

## **2.4.4 Zadávanie odberných miest**

Mnohokrát je modelovaná vodovodná sieť veľmi rozsiahla a v skutočnosti obsahuje veľké množstvo odberných miest. Zadávať do modelu všetky odbery presne v mieste prípojky by bolo komplikované a časovo náročné. Preto sa v mnohých prípadoch pristupuje k zjednodušeniu v spôsobe zadávania odberov. Uzly sa nachádzajú v miestach, kde dochádza k vetveniu, alebo spájaniu siete, zmene materiálu, alebo priemeru potrubia a v bodoch, kde sa nachádzajú veľkoodberatelia - napríklad priemyslové areály, budovy občianskej vybavenosti a pod. Ostatné menšie odbery

patriace úseku sa rozdelia do počiatočného a koncového uzlu daného úseku. Zníženie počtu odberných miest prebieha najčastejšie jednou z nasledujúcich metód. [16]

#### 2.4.4.1 Metóda redukovaných dĺžok

Pri tomto spôsobe zadávania odberov sa najprv pre každý úsek určí redukčný súčiniteľ  $C_1$ . Ten závisí na type zástavby, berie sa do úvahy najmä jej výška a hustota. Pomocou súčiniteľa  $C_1$  a skutočnej dĺžky úseku  $L$  sa vypočíta redukovaná dĺžka úseku  $L_r$ :

$$L_r = L \cdot C_1 \quad (2.11)$$

Druhým krokom je výpočet celkovej redukovanej dĺžky siete  $S_r$ , ktorá je súčtom redukovaných dĺžok všetkých úsekov:

$$S_r = \sum_{i=1}^m L_{ir} \quad (2.12)$$

Z celkovej redukovanej dĺžky siete  $S_r$  a celkovej potreby vody v zásobovanej oblasti  $Q_c$  sa stanoví špecifická potreba vody v sieti  $q_r$ :

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r} \quad (2.13)$$

Na záver sa vypočíta zo špecifickej potreby vody  $q_r$  a redukovanej dĺžky daného úseku  $L_{ir}$  prietok reprezentujúci odber v konkrétnom úseku  $Q_i$ :

$$Q_i = q_r \cdot L_{ir} \quad (2.14)$$

Táto metóda je vhodná prevažne pre oblasti s rovnomerným typom zástavby. [16]

#### 2.4.4.2 Metóda dvoch súčiniteľov

Metóda je vhodná, ak máme k dispozícii detailné informácie o počte obyvateľov v každom objekte. Pre odber sa určia dva súčinitele  $C_1$  a  $C_2$ . Súčiniteľ  $C_1$  reprezentuje typ zástavby, počet obyvateľov a plochu zástavby. Súčiniteľ  $C_2$  vyjadruje špecifickú potrebu vody pre danú účelovú jednotku.

Súčinom oboch súčiniteľov získame redukovanú dĺžku  $i$ -tého úseku  $P_i$ :

$$P_i = C_1 \cdot C_2 \quad (2.15)$$

Následne postupujeme rovnako ako pri predchádzajúcej metóde, súčtom redukovaných dĺžok všetkých úsekov získame redukovanú dĺžku siete  $S_r$ :

$$S_r = \sum_{i=1}^m P_i \quad (2.12)$$

Na záver podľa nižšie uvedených vzťahov získame špecifickú potrebu vody v sieti  $q_r$  a prietok reprezentujúci odber v konkrétnom úseku  $Q_i$ : [16]

$$q_r = \frac{Q_c}{S_r} \quad (2.13)$$

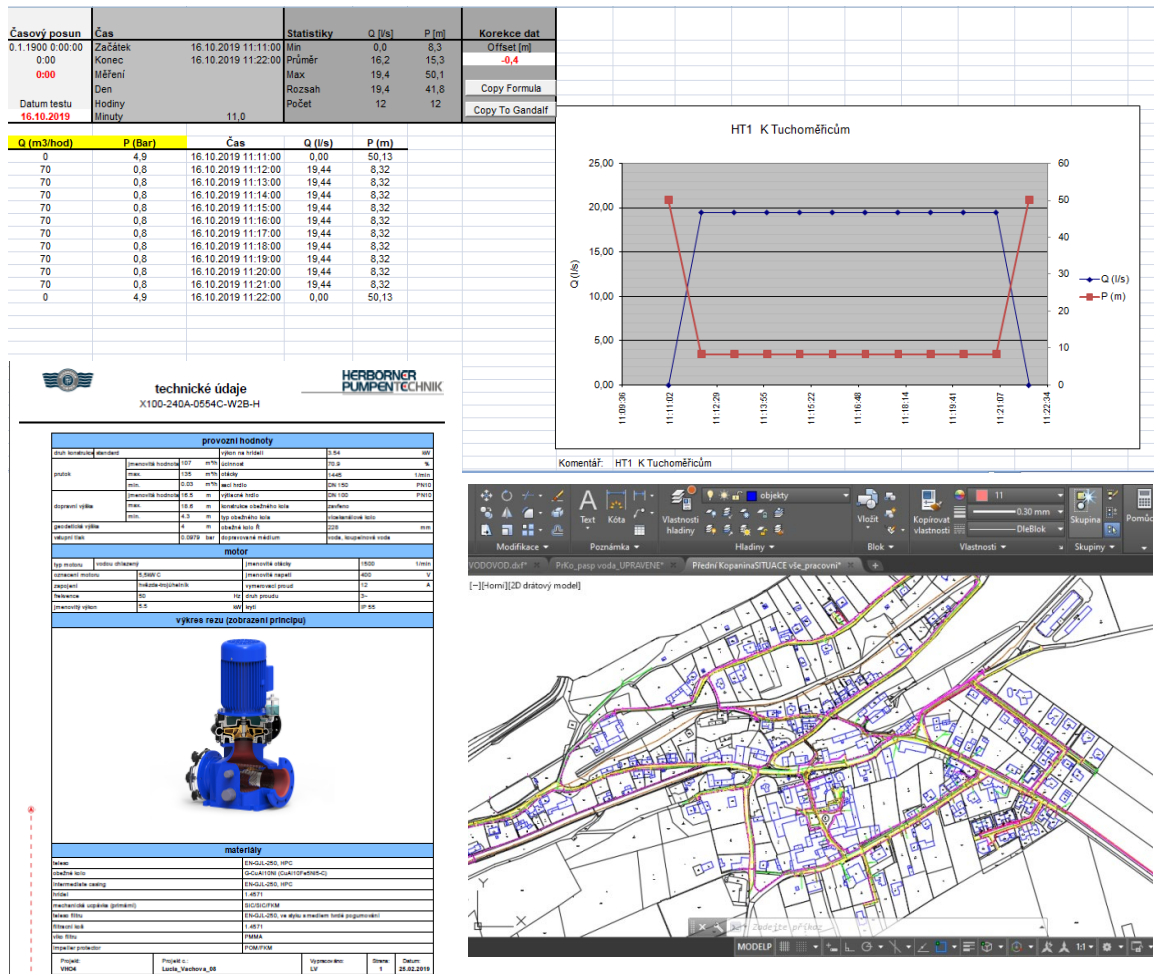
$$Q_i = q_r \cdot P_i \quad (2.16)$$

#### 2.4.5 Podklady a vstupné dáta

Skôr ako začneme vytvárať model vodovodnej siete, je potrebné získať čo najviac dostupných podkladov a informácií o sieti.

Informácie a podklady využívané pre stavbu simulačných modelov sú:

- geodetické zamerania vodovodných radov
- projektová dokumentácia k výstavbe vodovodu - situácie, pozdĺžne profily, technické správy - obsahujú informácie o polohe, výškovom usporiadaní, roku výstavby, použitom materiáli, priemere potrubia, atď.
- digitálne modely terénu, povrchu, vrstvy obsahujúce výšky budov
- prevádzkové poriadky objektov na sieti, napr. vodojemov, čerpacích staníc - nájdeme v nich pravidlá pre manipuláciu s danými objektmi, údaje o miestach hygienického zabezpečenia na sieti
- technické listy čerpadiel
- rôzne typy máp - základné, katastrálne, ortofoto - obsahujú napríklad názvy ulíc, čo uľahčuje orientáciu v modeli
- údaje o potrebe vody - odpočty vodomeroch, predpokladané úniky vody
- územné plány, dokumentácia k plánovanej výstavbe v lokalite, výhľadové počty obyvateľov - dá sa z nich určiť potreba vody vo výhľadovom stave
- merná kampaň, hydrantové testy - meranie tlakov a prietokov vo vybraných miestach siete používané pre kalibráciu modelu
- zápisy z jednaní s prevádzkovateľom siete



Obr. č. 5 Podklady pre modelovanie vodovodnej siete

## 2.4.6 Nastavenie projektu a jednotky

Ďalší krok, ktorý je vhodné spraviť skôr ako začneme vytvárať model je skontrolovať prednastavené vlastnosti projektu. Medzi najdôležitejšie patria hydraulické možnosti, ktoré zahŕňajú nastavenie jednotiek - jednotky SI, alebo americké jednotky - vzťah pre výpočet strát trením a predvolený časový diagram, ktorý bude automaticky priradený odberom, ak im používateľ nepriradí iný časový diagram.

Okrem hydraulických možností sa dajú upraviť tiež prednastavené vlastnosti popisov, napr. pridať/zmeniť predponu pre každý objekt, a prednastavené vlastnosti úsekov a uzlov - vlastnosti ako priemer, drsnosť potrubia, nadmorská výška uzlov atď., automaticky použité pre novovytvorené prvky. [18]

## 2.4.7 Základné prvky (objekty) pre modelovanie vodovodnej siete

Prvky využívané pri modelovaní distribučnej siete môžeme zaradiť do jednej z dvoch kategórií - uzol, alebo úsek.

*Uzol* - je bod, ktorý spája jednotlivé úseky. Uzol je jediné miesto v sieti, kde môže byť umiestnený odber, prípadne prítok vody. Patria sem vodojemy, rezervoáre, uzly spájajúce potrubia.

*Úsek* - je línia, ktorá sa nachádza medzi uzlami. Je to časť siete, ktorá má konštantný priemer a hydraulickú drsnosť, patria sem potrubia, čerpadlá, všetky druhy ventilov. [18]

### 2.4.7.1 Rezervoár

Je nekonečný zdroj vody, ktorý v programe môže reprezentovať rieku, vodárenskú nádrž alebo studne slúžiace ako zdroj podzemnej vody. Jeho kapacita je neobmedzená.

Základné charakteristiky sú:

- výška hladiny, ktorá sa môže meniť v čase na základe priradenej krivky
- počiatočné údaje o kvalite vody - pre kvalitatívnu analýzu. [18]

### 2.4.7.2 Vodojem

Je do určitej miery podobný rezervoáru. Tiež slúži ako zdroj vody pre zásobovanú oblasť. Rozdiel spočíva v tom, že má obmedzenú kapacitu, môže sa teda plniť a vyprázdňovať v závislosti od nastavených rozmerov. Hlavnými charakteristikami, ktoré je potrebné nastaviť sú:

- výška hladiny - počiatočná, minimálna a maximálna
- rozmery - priemer a výška (prípadne šírka, dĺžka a výška)
- počiatočná kvalita vody
- nadmorská výška úrovne dna [18]

### 2.4.7.3 Uzol

Spája jednotlivé úseky, najčastejšie potrubia. Musí mať vždy známu nadmorskú výšku a počiatočnú kvalitu vody. Ďalej môže mať priradené odbery, ktoré sú buď konštantné, alebo kolíšu, podľa určenej krivky odberu. Jednému uzlu môže byť priradených niekoľko odberov, pričom každý môže mať vlastnú krivku rozkolísania.

V prípade, ak má odber záporné znamienko, značí to zmenu smeru prietoku - voda je do systému dodávaná. [18]

#### 2.4.7.4 Potrubie

Je najčastejšie používaný typ úseku, voda v ňom prúdi z uzlu s vyššou hydraulickou výškou do uzlu s nižšou hydraulickou výškou. Základné charakteristiky, ktoré musia byť definované, aby výpočet fungoval sú:

- priemer potrubia
- dĺžka - môže byť generovaná automaticky pri kreslení siete, alebo definovaná užívateľom
- hydraulická drsnosť
- počiatočný a koncový uzol
- stav potrubia - otvorené/uzatvorené [18]

#### 2.4.7.5 Čerpadlo

Je špeciálny typ úseku, je to zariadenie, ktoré dodáva do systému energiu a tým zvyšuje hydraulickú výšku. Čerpadlo je definované počiatočným a koncovým bodom úseku a krivkou čerpadla, ktorá vyjadruje rôzne kombinácie dopravných výšok a prietokov, ktoré môžu byť dosiahnuté pomocou čerpadla.

Epanet tiež umožňuje zadať čerpadlo ako zariadenie, ktoré dodáva konštantné množstvo energie bez ohľadu na čerpanú výšku a prietok, alebo vložiť čerpadlo s frekvenčným meničom. Smer prúdenia v čerpadle je jednosmerný, neumožňuje spätné prúdenie. [18]

#### 2.4.7.6 Ventily

Ventily sú zariadenia, ktoré regulujú prietok, alebo tlak v systéme. Väčšina programov dokáže simulovať nasledujúce typy ventilov:

- PRV - tlakový regulačný ventil pre maximálny tlak
- PSV - tlakový regulačný ventil pre minimálny tlak
- PBV - ventil s predpísanou stratou
- FCV - prietokový regulačný ventil
- TCV - škrtiaci prietokový ventil
- GPV - všeobecný ventil

Základné vstupné parametre pre všetky typy ventilov sú:

- stav - otvorený/uzatvorený
- priemer
- počiatočný a koncový uzol
- nastavenie (hodnota požadovaného tlaku/prietoku/straty) [18]

Všetky prvky majú okrem základných charakteristík ďalšie údaje, ktoré nie sú povinné, ale môžu byť vyplnené v tabuľke príslušného prvku, spresňujú model a zjednodušujú orientáciu. Často obsahujú informácie o tlakových pásmach, materiáloch, adrese/ulici kde sa prvok nachádza, roku výstavby, zdroj odkiaľ bola informácia prevzatá, a pod.

Okrem prvkov, ktoré môžeme fyzicky vidieť v mapovom okne pri tvorbe modelu existujú ďalšie komponenty, ktoré popisujú sieť. Radíme sem krivky, jednoduché alebo komplexné pravidlá pre riadenie objektov a krivky v zmysle časových diagramov, ktoré vyjadrujú napr. zmenu veľkosti odberu v čase.

### **2.4.8 Pravidlá pre riadenie siete**

Jedná sa o príkazy, ktoré zabezpečujú riadenie siete v priebehu času. Môžeme ich rozdeliť na jednoduché a komplexné pravidlá.

Jednoduché pravidlá sú používané pre zmenu nastavenia a funkcie potrubí, ventilov a čerpadiel. Tieto zmeny nastávajú na základe:

- dosiahnutia určitej hladiny vo vodojeme
- dosiahnutia tlaku v uzle
- v určenom časovom okamihu, prípadne intervale

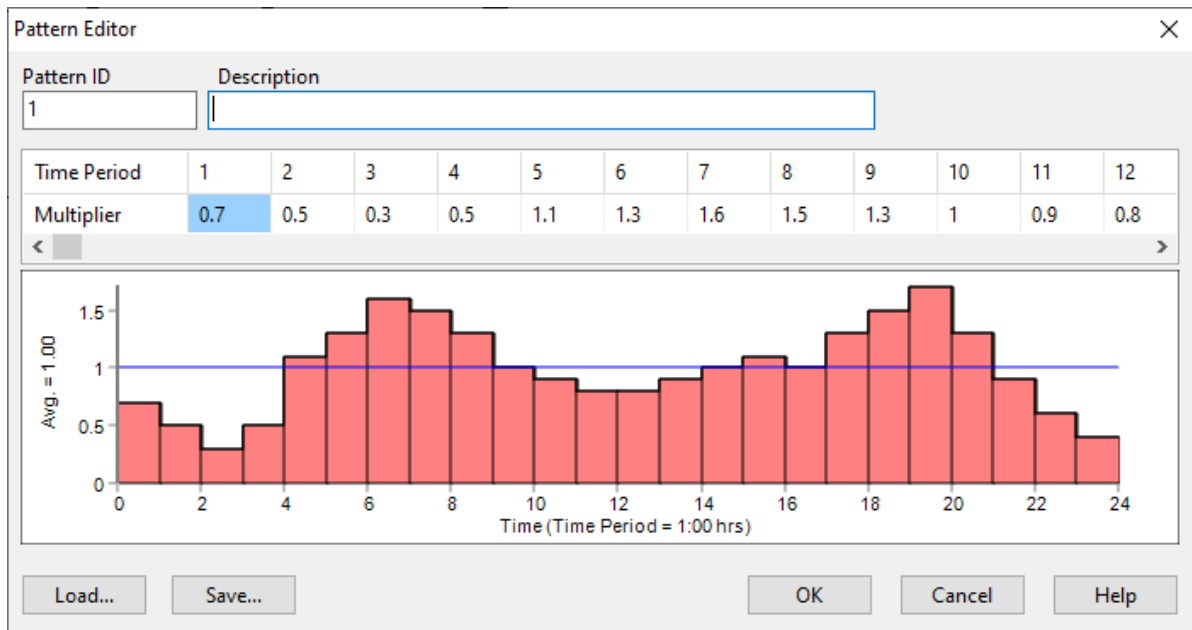
Typickým prípadom je otvorenie/uzatvorenie čerpadla pri dosiahnutí maximálnej/minimálnej hladiny vodojemu, alebo v konkrétnom časovom intervale (napr. na niekoľko hodín každý deň).

Komplexné pravidlá využívame v prípade, ak funkcia prvku závisí na viac ako jednej podmienke. Napríklad, ak dosiahnutie určitej hladiny vo vodojeme ovplyvňuje otvorenie/uzatvorenie čerpadla a zároveň otvorenie/uzatvorenie potrubia, ktoré predstavuje obtok čerpadla. [18]

### **2.4.9 Časové diagramy**

Priradujú veličine sadu násobiteľov, ktoré umožňujú zmenu danej veličiny v čase. Využívajú sa pre rozkolísanie odberov, rozkolísanie hladín v rezervoároch, rozkolísanie vstupných dát pre kvalitatívnu analýzu a nastavenie pracovného režimu čerpadiel. Časový interval (krok) všetkých časových diagramov musí byť rovnaký, avšak ich dĺžka, teda počet periód môže byť odlišný. Počas jedného intervalu zostáva hodnota veličiny nemenná. Po dosiahnutí poslednej hodnoty z časového diagramu sa v prípade

dlhšieho trvania simulácie výpočet vráti k prvej hodnote a opakuje sa rovnaký časový diagram. [18]



Obr. č. 6 Časový diagram pre rozkolísanie odberu v programe Epanet

#### 2.4.10 Krivky

Popisujú vzťah medzi dvoma veličinami pre daný rozsah hodnôt. Základné krivky, ktoré je možné použiť pre popis siete sú:

- krivka čerpadla - vyjadruje vzťah medzi dopravnou výškou čerpadla a prietokom, môže byť zadaná jedným, tromi, alebo viacerými bodmi
- krivka efektívnosti - popisuje vzťah medzi účinnosťou čerpadla v percentách a prietokom
- objemová krivka - používaná pre presnejšie určenie zmeny objemu vody vo vodojeme s meniacou sa výškou hladiny, potrebná najmä pre vodojemy, v ktorých sa priečny prierez výrazne mení s výškou vodojemu
- krivka strát - používa sa pre všeobecný ventil (GPV), vyjadruje stratovú výšku ako funkciu prietoku [18]

#### 2.4.11 Časové nastavenia simulácie

Pri časovo premennom prúde (kvazi-dynamickej, prípadne dynamickej analýze) je pred spustením simulácie potrebné nastaviť dobu, počas ktorej má simulácia prebiehať



a určit časový krok výpočtu. Doba trvania simulácie je časové obdobie, pre ktoré chceme poznať chovanie siete, bežne sa pohybuje v ráde hodín, alebo dní.

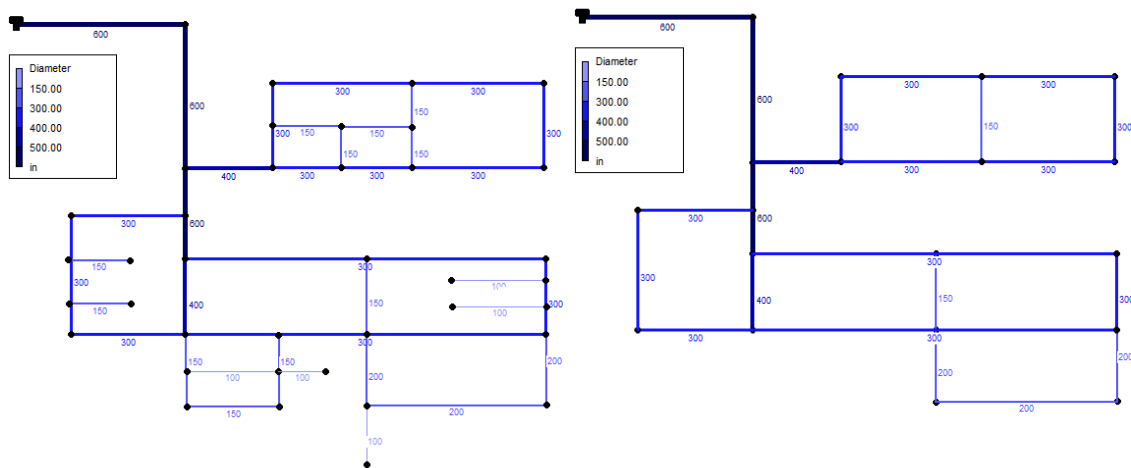
Časový krok výpočtu určuje, ako často bude prebiehať nový hydraulický, prípadne kvalitatívny výpočet v sieti. Časový krok pre hydraulické a kvalitatívne výpočty môže byť odlišný. Prednastavená hodnota býva často jedna hodina, bežne sa pohybuje v rozmedzí desiatok minút až jednotiek hodín.

V rovnakom rozmedzí sa pohybuje časový krok kriviek, ktorý určuje po akom čase nastane zmena krivky. Ďalšími možnosťami, ktoré sa dajú nastaviť sú časový krok a počiatok zápisu výsledkov a začiatok výpočtu. [19]

#### **2.4.12 Schematizácia siete**

Schematizácia je proces zjednodušovania siete, ktorý bol vo veľkej miere využívaný najmä v minulosti. V rámci zjednodušovania siete sú v modeli zahrnuté len hlavné vodovodné rady, významné z hľadiska prietoku a distribúcie vody. Rady s menším priemerom a nižším prietokom, niekedy celé zásobované oblasti bývajú nahradené uzlovým odberom, ktorého veľkosť je úmerná prietoku v potrubí/spotrebe danej lokality. Podstatným dôvodom pre schematizáciu v minulosti bola obmedzená kapacita výpočtovej techniky. Zahrnutie len hlavných vodovodných radov skracovalo dĺžku výpočtu a znižovalo nároky na potrebnú pamäť počítača.

Schematizácia je pri modelovaní využívaná aj v dnešnej dobe, avšak v menšej miere. Jej úroveň záleží hlavne na type a rozsahu riešeného projektu a požadovaných výstupoch. Výhodou je menšie množstvo dát v modeli a tým aj kratší čas strávený vytváraním modelu, rýchlejší priebeh výpočtu a prehľadnejšie zobrazenie výsledkov. Nevýhodou je naopak zníženie presnosti modelu a zníženie presnosti výsledkov. Prílišná schematizácia nie je vhodná pre výpočty kvality vody. [19]



**Obr. č. 7 Vodovodná sieť pred a po schematizácií**

### 2.4.13 Kalibrácia

Po vytvorení funkčného modelu je potrebné ho skalibrovať tak, aby zodpovedal skutočnému vodovodnému systému za rôznych prevádzkových podmienok. Kalibrácia je nastavenie modelu tak, aby výsledky výpočtov z modelu zodpovedali hodnotám reálne nameraným na sieti v teréne. [20]

V ideálnom prípade by mal byť model skalibrovaný tak, aby zodpovedali ako hodnoty tlakov, tak aj hodnoty prietokov v sieti. Aby sme dosiahli zhodu, je nutné upraviť určité parametre modelu. K parametrom, ktoré môžeme nastavovať patria:

- prevádzkové dáta, napr. nastavenie redukčných ventilov, zníženie/zvýšenie výtlačnej výšky čerpadla
- údaje o spotrebe vody - veľkosť a rozloženie odberov, množstvo a umiestnenie únikov na sieti
- drsnosť potrubí - v závislosti na použítom materiáli a veku potrubia
- kontrola zadaných dát a oprava chýb - napr. nesprávne zadanie priemeru potrubia, vynechanie redukčného ventilu pri stavbe modelu

Všetky nastavované parametre je potrebné upravovať v rámci rozumných hraníc, v závislosti na presnosti vstupných dát a podkladov.

Kalibrácia modelu by sa mala opakovať pri každej zmene vo fungovaní vodovodného systému - pri zmene prevádzkových podmienok ako je prepásmovanie, otvorenie/uzatvorenie úsekov potrubí, pripojenie významných nových odberov a pod. aby sa udržala aktuálnosť modelu. [19]

#### **2.4.14 Verifikácia**

Verifikácia slúži k overeniu správneho fungovania modelu a zisteniu, či bol model správne skalibrovaný. Pre verifikáciu sa používa súbor dát, ktorý je nezávislý a odlišný od kalibračného súboru. Pre simuláciu a následné porovnanie výsledkov sa používajú hodnoty tlakov a prietokov z iného časového obdobia ako pre kalibráciu.

Ak model pri tejto simulácii dáva výsledky blízke hodnotám nameraným počas merných kampaní v teréne, v rámci povolenej odchýlky, považujeme ho za dôveryhodný a môžeme ho použiť pre výpočty. V opačnom prípade je nutné hľadať v modeli možné chyby, upraviť jeho nastavenie a znovu ho skalibrovať tak, aby zodpovedal realite.

Pri verifikácii i kalibrácii musíme brať do úvahy fakt, že vstupné dáta sú zaťažené určitou chybou vzniknutou pri meraní. Požadovaná presnosť zhody modelu s meraním preto nemôže byť vyššia, ako presnosť vstupných dát. [20] [21]

### **2.5 Software používaný pre modelovanie vodovodných sietí**

#### **2.5.1 Epanet**

Je celosvetovo najpoužívanejší program pre modelovanie tlakových vodovodných systémov. Epanet bol vyvinutý na začiatku 90-tych rokov minulého storočia americkou Agentúrou pre ochranu životného prostredia (EPA - Environmental Protection Agency), jeho prvá verzia bola publikovaná v roku 1993.

I keď v tej dobe už existovali komerčné programy pre modelovanie vodovodných sietí, význam Epanetu spočíval najmä v tom, že sa jednalo o otvorený zdroj dostupný pre verejnosť. Jednou z hlavných úloh tohto projektu bola podpora výskumu v oblasti modelovania distribučných systémov.

Epanet sa následne stal výpočtovým jadrom pre mnohé komerčné programy ako napr. Cybernet, WaterCad, H2ONet. [22]

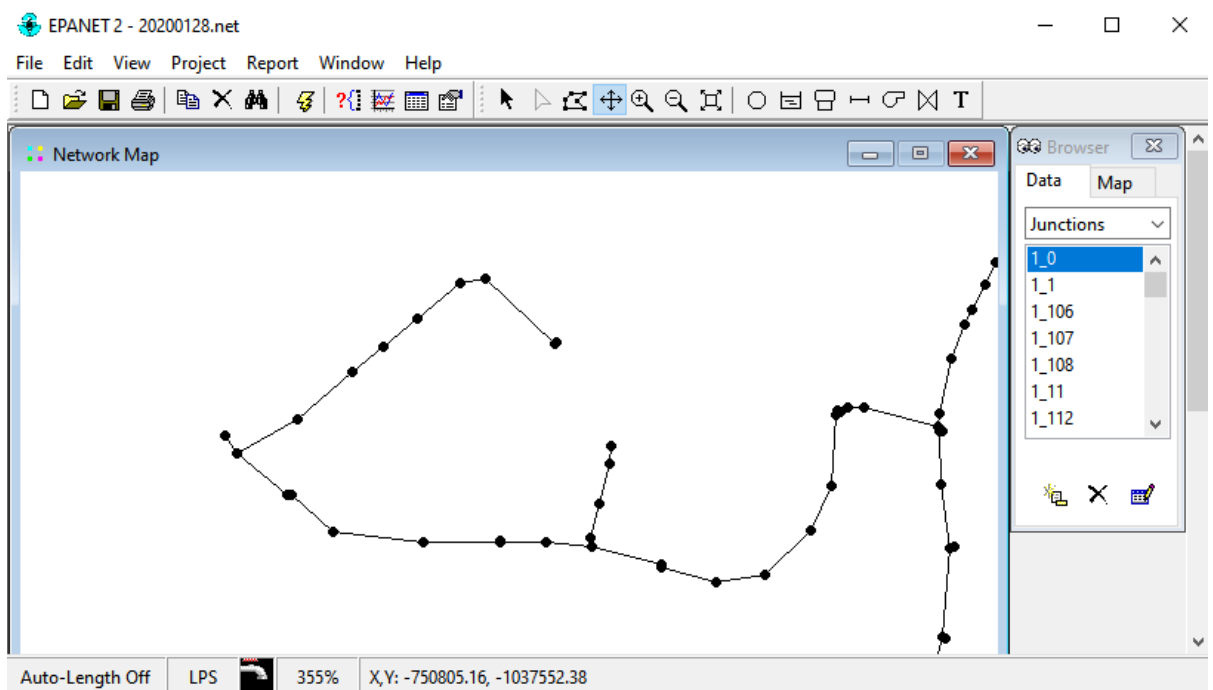
Program umožňuje používateľovi vykonať statickú, alebo kvazi-dynamickú analýzu a sledovať veličiny ako tlak, prietok, výšku hladiny vo vodojemoch, koncentráciu chemikálií, dobu zdržania vody v sieti, sledovanie zdroja počas trvania simulácie.

Medzi základné vlastnosti výpočtového jadra patrí možnosť vytvoriť a analyzovať neobmedzene veľkú sieť, modelovať vodojemy rozmanitých tvarov, rôzne typy ventilov, zahrnúť do výpočtu miestne straty, priradiť uzlu niekoľko odberov s odlišnými krivkami rozkolísania, modelovať rôzne druhy čerpadiel a určiť ich energetické

a finančné náklady, riadiť modelovaný systém pomocou časových ovládacích prvkov a ďalších komplexných pravidiel. Výpočet strát trením môže prebiehať na základe jednej z troch rovníc:

- Darcy-Weisbachovej
- Hazel-Williamsovej
- Chezy-Manningovej

Z hľadiska kvality vody Epanet umožňuje sledovať dobu zdržania vody v sieti, modelovať pohyb stopovača vo vode, sledovať pohyb a vývoj koncentrácie zvyškového chlóru a vedľajších produktov dezinfekcie v systéme, modelovať reakcie na stenách potrubia a vo vodnom stĺpci podľa rôznych typov kinetiky, nastaviť vo vodojeme typ miešania vody, určiť koľko percent vody dotečie z daného uzlu do ostatných uzlov, nastaviť časovo premennú koncentráciu a množstvo vody vstupujúce do systému. [18]



**Obr. č. 8 Pracovné prostredie programu Epanet**

Medzi hlavné výhody Epanetu patrí:

- jedná sa o otvorený zdroj - je zdarma
- dostupnosť zdrojov informácií - manuálov, tutoriálov, vďaka veľkému množstvu užívateľov je jednoduchšie nájsť riešenie, v prípade, že vzniknú problémy

- umožňuje aj ľuďom s obmedzenými znalosťami o danej problematike lepšie porozumieť chovaniu konkrétnej vodovodnej siete - je jednoduché zmeniť jeden parameter a zistiť, aký vplyv mala zmena na fungovanie siete
- používateľsky prívetivé prostredie
- je možné importovať dáta z rôznych zdrojov - napr. z AutoCadu, umožňuje exportovať výsledky do Excelu, alebo textového súboru, zároveň je možné podložiť sieť podkladovou mapou
- poskytuje dobré vizuálne zobrazenie siete a výsledkov - výsledky je možné zobrazit' v mape, grafe, prípadne tabuľke

Medzi nevýhody patrí:

- model nepracuje s náhlymi zmenami prúdenia v sieti - neumožňuje počítat' vodný ráz, simulovať prasknutie potrubia, neberie do úvahy prítomnosť vzduchu v potrubí
- z hľadiska kvality vody umožňuje počítat' chemické koncentrácie v uzloch, nie však pozdĺž potrubia
- neexistuje ikona pre vrátenie posledného kroku „undo button“
- o niečo menej adaptabilný ako iné programy
- neobsahuje list materiálov a k nim príslušné hydraulické drsnosti
- neumožňuje počítat' analýzu nákladov [23]

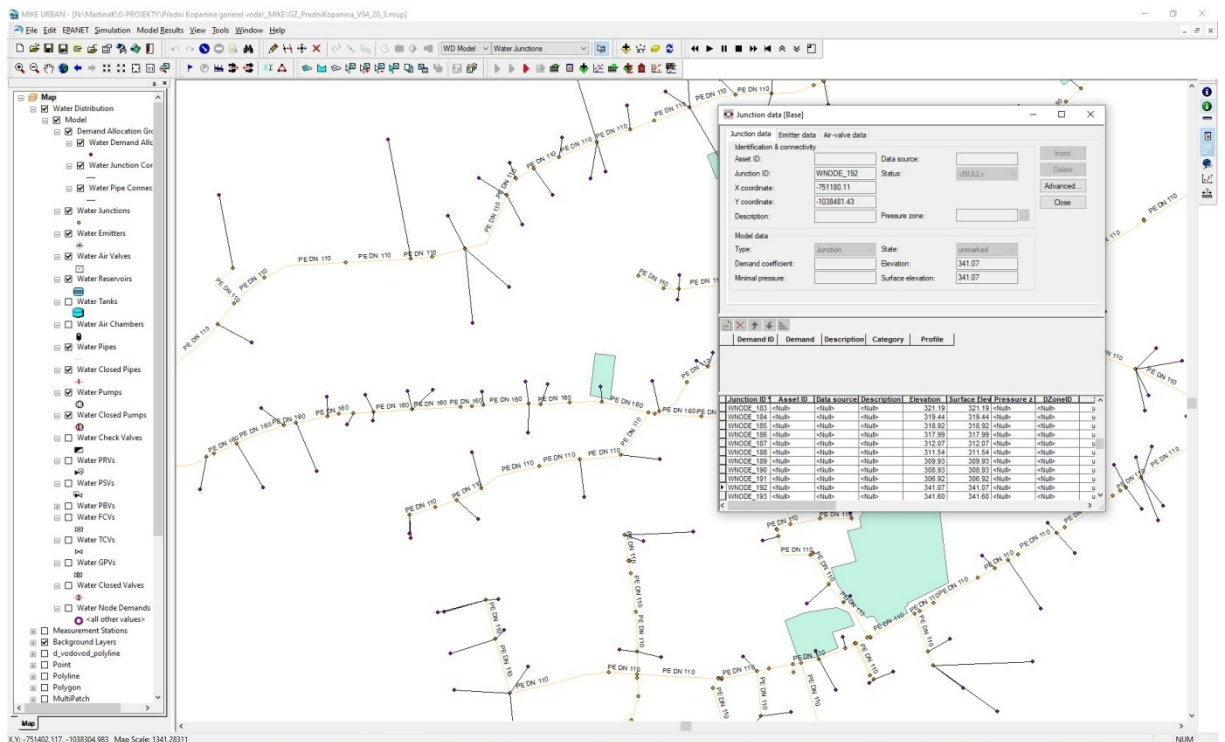
## 2.5.2 Mike Urban

Program Mike Urban je jeden z najčastejšie používaných komerčných softwarov v Českej republike pre modelovanie systémov zásobovania vodou. Bol vyvinutý firmou DHI a.s. Okrem systému zásobovania vodou umožňuje modelovať hospodárenie s odpadnými vodami v jednotnej či oddielnej stokovej sieti a hospodárenie so zrážkovými vodami.

Výpočtovým jadrom simulácií je program Epanet, nadstavbou sú možnosti:

- výpočtu náhlej zmeny prúdenia vo vodovodnej sieti - vodného rázu
- analýza pri zaťažení požiarými odbermi - zvyšková kapacita siete, zvyškový tlak
- automatická kalibrácia

- pomocný nástroj pre určenie kritických potrubí, pre vyhodnotenie udržateľnosti siete a pre nákladovú analýzu
- štatistické výpočty pre určenie minimálnych a maximálnych hodnôt veličín
- možnosť pripojiť súčasne niekoľko podkladových vrstiev ako sú mapy, digitálne modely terénu/ povrchu v rôznych formátoch napr. SHP, tiff, dxf



Obr. č. 9 Pracovné prostredie programu Mike Urban

Bonusom je možnosť používateľskej podpory vo viac než 30 krajinách v niekoľkých jazykoch vrátane češtiny a kompatibilita s GIS systémami - konkrétne programom ArcGis. Umožňuje tiež prepojenie so SCADA systémami. [24]

### 2.5.3 SiteFlow

Ďalším z komerčne využívaných programov je SiteFlow publikovaný českou firmou Aquion s.r.o. Jeho hlavnou úlohou je správa, projektovanie a simulačné modelovanie potrubných sietí - vodovodov, kanalizácií, plynovodov, závlah a drenáží.

Je schopný importovať/exportovať súbory vo formátoch xls, dxf, txt a tin, pracovať s digitálnymi modelmi terénu, webovými mapovými službami a polygónovou topológiou.

SiteFlow má 3 základné časti:

- simulačné modelovanie
- projektovanie
- GIS model

Výpočtové jadro pre simulačné modelovanie vodovodov tvorí Epanet, pre kanalizácie sa používa výpočtové jadro SWMM a racionálne metódy.

V rámci projektovania využíva 3D modelovanie. Z 3D modelu sa dajú automaticky vygenerovať situácie, pozdĺžne a priečne profily, výkazy výmer a taktiež objemy výkopových prác. GIS model umožňuje okrem využitia WMS služieb aj prepojenie s informačným systémom eVaK v\_2012. [25]

## **2.5.4 InfoWater a H2ONet**

InfoWater a H2ONet sú softwarové produkty americkej spoločnosti Innowyze. Podobne ako predchádzajúce programy slúžia k statickej a kvazi-dynamickej analýze vodovodných sietí a k analýze kvality vody.

### **2.5.4.1 InfoWater**

Základné možnosti analýzy sú podobné ako v Epanete. Výhodou oproti iným softwarom je možnosť postaviť model a spustiť simuláciu priamo v prostredí ArcGis.

Ďalšie užitočné funkcie:

- optimalizácia procesu preplachovania potrubia vďaka identifikácií miest, ktoré musia byť pri preplachovaní uzatvorené, času potrebného na prepláchnutie a vplyvu na ostatné časti siete
- vyhodnocovanie krízových situácií, ako napr. šírenie kontaminantu - určenie počtu ohrozených obyvateľov, zdroja znečistenia a výpočet potrebného objemu vody pre vyčistenie siete vrátane vplyvu na zvyškovú požiaru kapacitu
- analýza zaťaženia siete požiarinými odbermi
- automatické vykreslenie hraníc tlakových pásem podľa polohy redukčných ventilov, uzáverov, vodojemov a ďalších prvkov siete
- možnosť zadávať odbery z rôznych zdrojov - z odpočtu vodomeroch, fakturačných záznamov [26]

### **2.5.4.2 H2ONet**

Komunikuje so štandardnými GIS systémami, Windows programami, je možné prepojiť ho s AutoCadom, verziou 2012 - 2018, ako aj so systémom SCADA.

Analyzuje celú sieť, alebo len jej vybranú časť z hydraulického hľadiska, hľadiska kvality vody, zníženia únikov, prúdenia pri požiarňoch odberoch, optimalizácie potreby energie a celkového riadenia systému. [27]

### 2.5.5 KYPipe

Je software pôvodne vyvinutý profesormi na americkej univerzite v Kentucky, pred viac ako 40 rokmi. Modeluje prúdenie vody, ropy, rafinovaných produktov a iných tekutín v potrubných systémoch.

Komunikuje s GIS programami, AutoCadom, GoogleEarth mapami, pri importe a exporte je schopný pracovať s formátmi dwg, dxf, pdf, bmp, tif a jpg. Obsahuje knižnice prvkov a tiež dáva užívateľovi možnosť vytvoriť si vlastné knižnice. Dokáže modelovať špecifické typy zariadení ako napr. prerušovacie komory alebo automatické tlakové stanice.

K užitočným funkciám ďalej patrí:

- nástroj pre automatickú optimalizáciu pracovných režimov čerpadiel v zložitých systémoch, ktoré obsahujú niekoľko čerpacích staníc
- nástroj pre automatickú kalibráciu
- hydrantové výpočty pre zaťaženie požiarňoch odbermi
- nástroj pre plánovanie preplachovania siete
- nástroj pre automatickú distribúciu odberov
- nástroj pre výpočet vhodného priemeru potrubia - buď na základe návrhového prietoku v potrubí, alebo na základe tlakových požiadaviek v určenom mieste siete
- vyhľadávanie a vykresľovanie tlakových pásem v systéme
- analýzy zohľadňujúce teplotu prúdiaceho média a tým aj zmeny hustoty a viskozity [28]

Ďalšími komerčnými programami, ktoré umožňujú modelovanie tlakových distribučných systémov sú:

- WaterCad - od firmy Bentley
- Synergi Water - produkt nórsko-nemeckej firmy DNV GL
- Cybernet - od firmy Haestad Methods
- AFT Fathom - od spoločnosti Applied Flow Technology

Ich využitie a funkcie sú podobné ako u predchádzajúcich softwarov.



## 3 Praktická časť

Predmetom praktickej časti diplomovej práce bola tvorba matematického modelu vodovodnej siete mestskej časti Praha - Přední Kopanina. Následne prebehla kalibrácia modelu, zaťaženie rôznymi výpočtovými stavmi a vyhodnotenie jednotlivých variant. Na záver boli navrhnuté opatrenia, ktoré by mohli prispieť k lepšiemu fungovaniu siete v záujmovej lokalite.

### 3.1 Podklady

Pri spracovávaní praktickej časti diplomovej práce som vychádzala z podkladov poskytnutých firmou D-plus projektová a inženýrská a.s., Mestskou časťou Praha Přední Kopanina, podkladov od prevádzkovateľa vodovodnej siete a informácií dostupných na [geoportalpraha.cz](http://geoportalpraha.cz) a na webe Inštitútu plánovania a rozvoja hlavného mesta Prahy.

Medzi použité podklady patrí:

- Pasport vodovodu a kanalizácie Praha – Přední Kopanina, D-plus projektová a inženýrská a.s., jún 2017
- DSP Vodovod v mestskej časti Praha – Přední Kopanina ul. Preláta, D-plus projektová a inženýrská a.s., august 2009
- DSP Vodovod v mestskej časti Praha – Přední Kopanina ul. Preláta – zostávajúce vodovodné rady, D-plus projektová a inženýrská a.s., jún 2011
- Polohové a výškové meranie – vodovod, D. Trnka, apríl 2017
- Štúdia Vodovod v mestskej časti Praha – Přední Kopanina chatová oblasť Preláty, D-plus projektová a inženýrská a.s. júl 2019
- Celková situácia Přední Kopanina - Pod Silnicí vodovod, D-plus projektová a inženýrská a.s., júl 2013
- Absolútne výšky budov – Geoportalpraha.cz, február 2020

Dostupné z: <http://www.geoportalpraha.cz/cs/.opendata/D91D1FB6-166A-4F6B-BD08-161888B3DBB2>

- Digitálny model terénu - raster - Geoportalpraha.cz, február 2020

Dostupné z: <http://www.geoportalpraha.cz/cs/.opendata/609AB233-4F4B-4010-A6E0-011E232E2390>

- Digitálny model povrchu - Geoportalpraha.cz, február 2020

Dostupné z: <http://www.geoportalpraha.cz/cs/opendata/1164EC41-5008-4824-B15B-3D033FED9DD1>

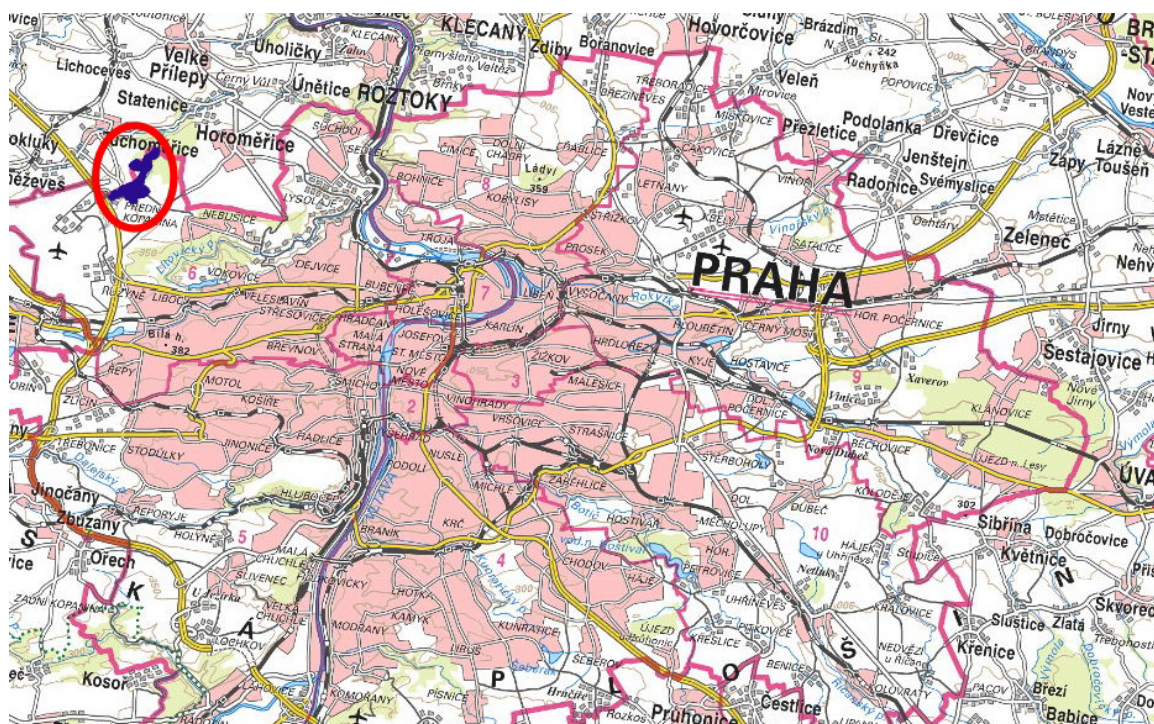
- Základná mapa ČR 1:10 000
- Zápisy z jednání s MČ Praha – Přední Kopanina 15.1.2020; 14.2.2020
- DUR Rezidencia Kopanina, investor GPD Vokovice, 2013
- Územný plán HMP <http://app.iprpraha.cz/apl/app/vykresyUP/>
- Metropolitný plán HMP – návrh <https://plan.app.iprpraha.cz/vykresy/>
- Dáta z mernej kampane v obci, DHI a.s., október 2019

Podklady poskytnuté prevádzkovateľom – 1.vodohospodárska spoločnosť, s.r.o.:

- Aktuálne odbery pitnej vody v obci – súpis odberných miest
- Tlak vo vodomernej šachte za rok 2019
- Prietok vo vodomernej šachte 14.10.2019 – 20.10.2019 a 31.5.2019 - 30.8.2019
- Priemerné mesačné odbery vody v obci za rok 2018 – 2019
- Opis odberných miest vodného a stočného za obec 2018 - 2019

## 3.2 Zájmová oblasť

### 3.2.1 Popis záujmovej oblasti



Obr. č. 10 Situácia širších vzťahov

Zájmovú oblasť tvorí mestská časť Přední Kopanina, ktorá patrí do správy Prahy 6. Rozkladá sa v blízkosti letiska Václava Havla na severozápadnom okraji Prahy.

Rozloha mestskej časti je približne 330 hektárov, výškový rozsah terénu sa pohybuje v rozmedzí od 282 m n. m. do 355 m n. m. Lokalitu tvorí centrum obce a 2 chatové osady - na juhu obce v okolí ulice Do Roklí a na severe obce chatová oblasť Preláty. Počet obyvateľov s trvalým bydliskom v je 712, reálny počet obyvateľov je približne 1000. Výška zástavby mestskej časti je na úrovni 2 - 3 nadzemných podlaží. Zástavbu tvoria prevažne objekty určené k bývaniu - rodinné domy, prípadne byty a stavby pre rekreáciu - chaty.

### **3.2.2 Systém zásobovania vodou mestskej časti Praha - Přední Kopanina**

Prevádzkovateľom vodovodnej siete je 1.vodohospodárska spoločnosť, s r. o. Celú oblasť tvorí jedno gravitačne zásobované tlakové pásmo. Voda do záujmovej oblasti priteká z pražského vodojemu Kopanina. Z privádzacieho radu DN 1200, ktorý vedie medzi vodojermi Kopanina a Suchdol, odbočuje rad DN 300, ktorý zásobuje okrem Přední Kopaniny aj ďalšie okolité obce - Tuchoměřice, Statenice a Kněževes.

Odvzdávacie miesto pre Kopaninu sa nachádza v mernej šachte v ulici K Tuchoměřicům. V šachte sú počas celého roku monitorované hodnoty prietoku a tlaku. Distribučná sieť v centre obce je čiastočne zokruhovaná. V smere von z centra a v chatových osadách sa nachádza, prípadne plánuje vetvená sieť. Použitý materiál je polyetylén, prevažne priemer DN 110. Výnimku tvorí časť potrubia v uliciach Do Roklí, K Tuchoměřicům a K Prelátům - na začiatku zásobovacieho systému a v centre - s priemerom DN 160. Druhou výnimkou je časť potrubia v chatovej oblasti Preláty, ktoré má priemer DN 90. Výstavba vodovodnej siete prebiehala postupne. V centre obce sú rady z 90-tych rokov. V uliciach na okraji obce bol vodovod postavený po roku 2000. Najnovšie vodovodné potrubie je v chatovej osade Preláty, postavené po roku 2010. Úniky vody v distribučnej sieti sú približne 30 %. Celková dĺžka vodovodnej siete v obci je približne 7 km, v sieti sa nenachádzajú ventily, čerpacie stanice, ani uzatvorené úseky potrubí.

### 3.2.3 Spotreba vody v záujmovom území

Celkovo sa v obci nachádza 240 odberných miest pripojených k vodovodnej sieti. Spotreba vody v celej lokalite za rok 2019 bola 47 678 m<sup>3</sup>, priemerná spotreba vody za deň bola 130,60 m<sup>3</sup>.

K odberateľom s väčšou spotrebou vody patria:

Reštaurácia u Drahušky

Penzión OTO plus - ubytovňa

Bionea - zariadenie školského stravovania

U Rotundy s r. o.

Ubytovňa Řehořovi

CNI Tisk servis, spol. s r. o.

Do Roklí č. p. 173

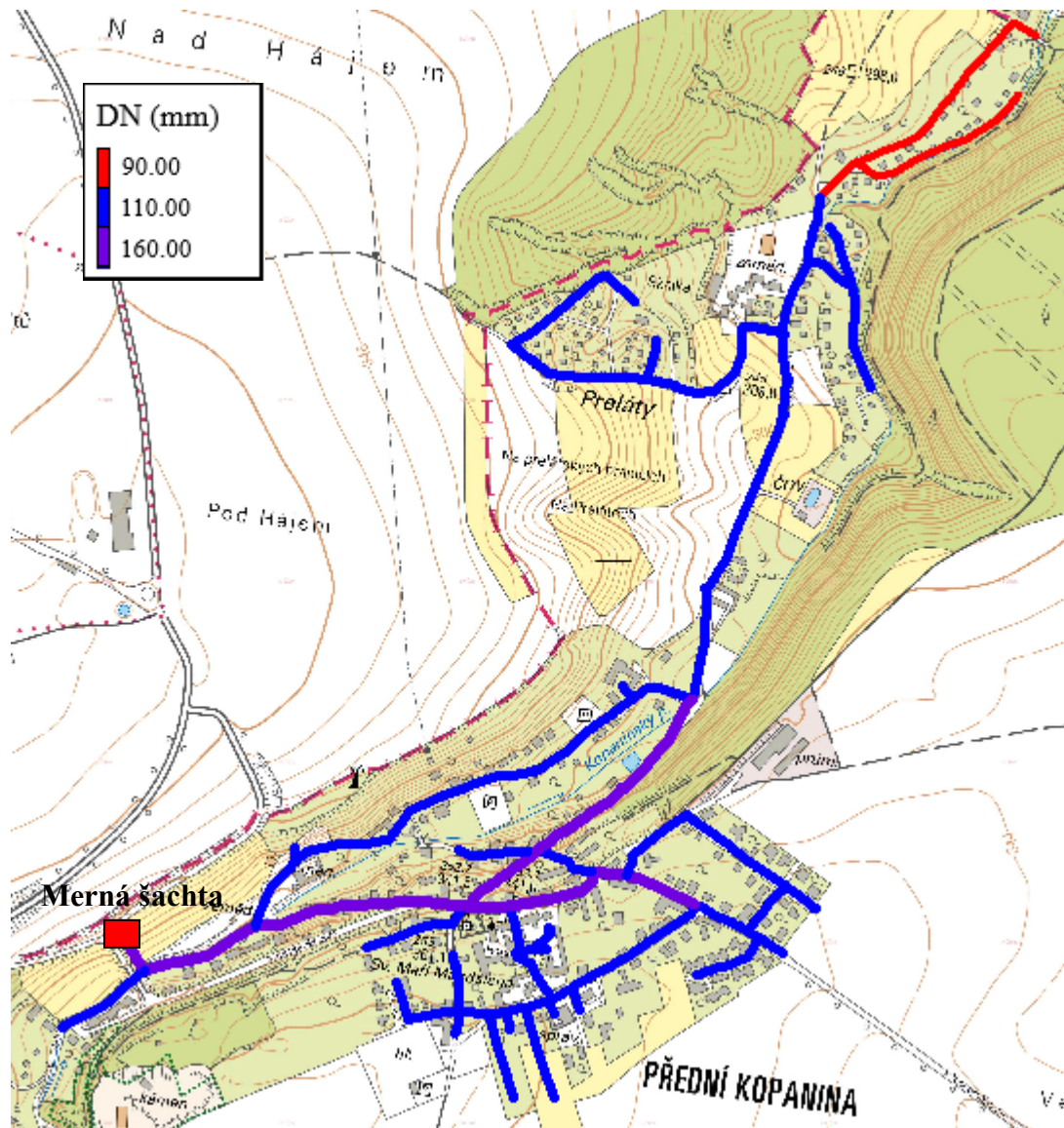
K Prelátům č. p. 60

K Prelátům č. p. 6

Do Roklí č. p. 51

**Tabuľka č. 2 Spotreba vody v obci za rok 2019**

mesiac	spotreba vody (m <sup>3</sup> )	priemer za deň (m <sup>3</sup> )
január	3669	118
február	2942	105
marec	3481	112
apríl	3288	110
máj	3466	112
jún	4590	153
júl	4399	141
august	4122	133
september	4444	148
október	4508	145
november	4154	138
december	4615	149



Obr. č. 11 Schéma vodovodnej siete mestskej časti Praha - Přední Kopanina

### 3.3 Vytváranie modelu

Matematický model vodovodnej siete záujmového územia som vytvorila v programe MIKE URBAN od spoločnosti DHI a.s., neskôr som ho upravovala v programe EPANET.

#### 3.3.1 Stavba siete

Stavba modelu prebiehala na základe vyššie uvedených podkladov.

Trasy potrubí a umiestnenia uzlov boli prevzaté z pasportu vodovodnej siete a z dokumentácií DSP. Výšky uzlov boli určené z geodetického zamerania vodovodu z roku 2017, výnimočne v miestach bez zamerania boli výšky doplnené z digitálneho modelu povrchu. Uloženie potrubia je predpokladané v hĺbke 1,2 m pod povrchom.

Priemery potrubí a materiál boli doplnené po konzultácii s prevádzkovateľom siete, v lokalite sa nachádzajú prevažne rady DN 110. Drsnosť potrubí bola odhadnutá na základe informácií o použitom materiáli a veku potrubia. Jej hodnota bola upravená v rámci kalibrácie modelu.

Odberné miesta boli lokalizované podľa súpisu odberných miest s adresami. Ich výšky boli doplnené z digitálneho modelu terénu, výška zástavby bola prevzatá z vrstvy absolútne výšky budov (podklady z geoportálu Hlavného mesta Prahy). Hodnoty jednotlivých odberov boli vypočítané z poskytnutého opisu vodomeroch pre odberné miesta v obci. Odbery boli počítané zvlášť pre dve ročné obdobia - leto a jeseň.

Do modelu bol okrem odberov pripojených objektov zahrnutý aj odhad únikov vody. Veľkosť únikov bola určená z rozdielu priemerného prietoku vo vstupnej šachte za sledované obdobie a súčtu odberov pre všetky objekty za sledované obdobie. Úniky vody boli rovnomerne rozdelené do celej siete. Najprv bola určená hodnota úniku na 1 meter potrubia a následne podľa dĺžky pripojených potrubí priradený zodpovedajúci odber každému uzlu.

Prítok vody do mestskej časti sa nachádza v mernej šachte v blízkosti ulice K Tuchoměřicům. V modeli je merná šachta nahradená rezervoárom s premennou výškou hladiny. Vtok vody do systému je teda modelovaný ako fiktívny rezervoár, ktorý simuluje vstupný tlak na začiatku siete.

Pre výpočet strát trením bola použitá Darcy-Weisbachova rovnica. Vzdialenosti sú zadané v metroch, prietoky a odbery sú v jednotke liter za sekundu.

### **3.3.2 Dĺžka simulácie a časový krok výpočtu**

Dĺžka simulácie je pre všetky záťažové stavy rovnaká - 1 týždeň. Časový krok výpočtu je pre hydraulickú i kvalitatívnu analýzu 5 minút. Táto hodnota bola zvolená s ohľadom na časový interval vstupných dát z meraní v mernej šachte na začiatku siete.

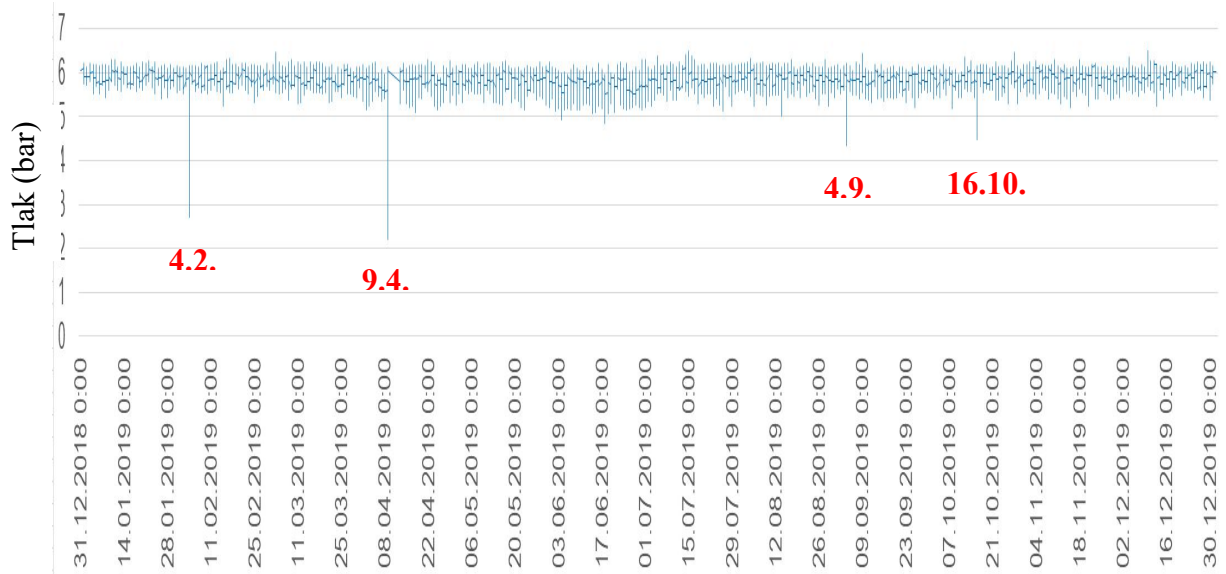
### **3.3.3 Krivky kolísania hladiny rezervoáru**

Ďalšou významnou súčasťou modelu sú okrem fyzických prvkov tiež časové diagramy - krivky nerovnomernosti odberov a krivky kolísania hladiny rezervoáru. Pre ich tvorbu boli použité dáta z merania prietoku a tlaku v mernej šachte.

Tlakové pomery v mestskej časti sú výrazne ovplyvnené vstupným tlakom v mernej šachte na ulici K Tuchoměřicům - v modeli je vstupný tlak vyjadrený kolísaním hladiny rezervoáru. Tlak v šachte závisí od chovania nadradeného distribučného systému Prahy

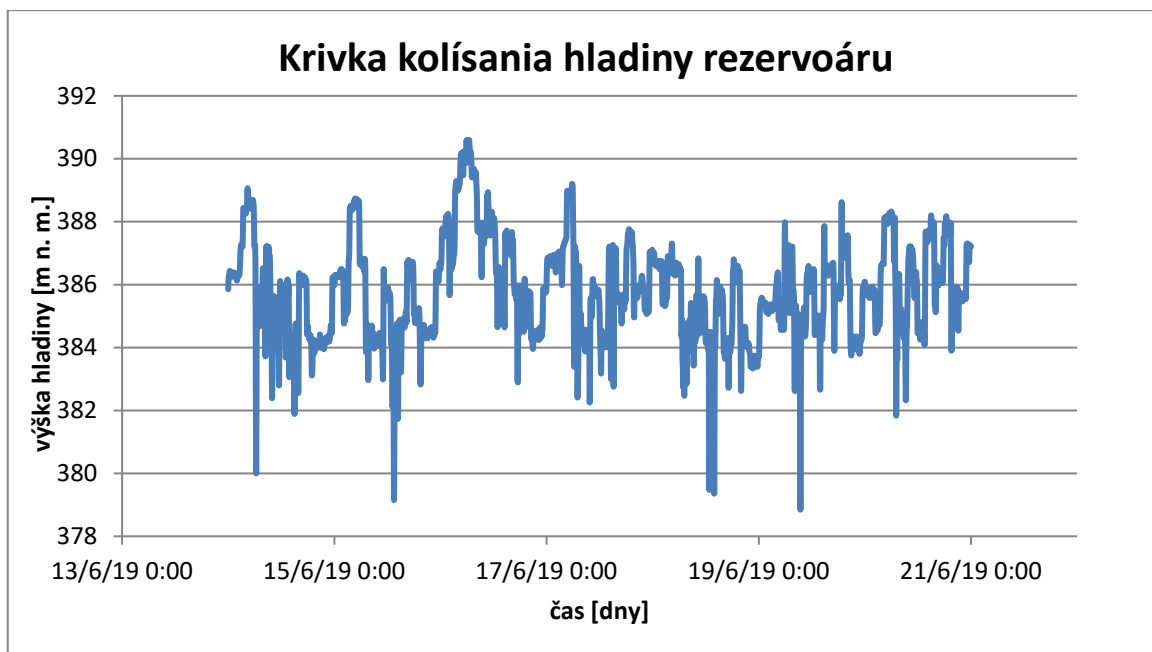
a tiež odberov okolitých obcí, ktoré sú zásobované z toho istého prívodného radu DN 300 ako Přední Kopanina.

Vstupný tlak sa v priebehu roku pohybuje v rozmedzí od 50 do 65 metrov vodného stĺpca (4,9 až 6,4 baru). Vo výnimočných prípadoch tlak klesá aj na nižšie hodnoty, tieto poklesy sú však ojedinelé a trvajú krátku dobu. K vyšším hodnotám tlaku okolo 65 m v. stĺpca dochádza pri najmenších odberoch, teda v noci. Naopak nízke hodnoty tlaku medzi 50 až 55 m v. stĺpca boli zaznamenané v priebehu dňa medzi 6:30 a 15:30 počas mesiacov máj a jún.

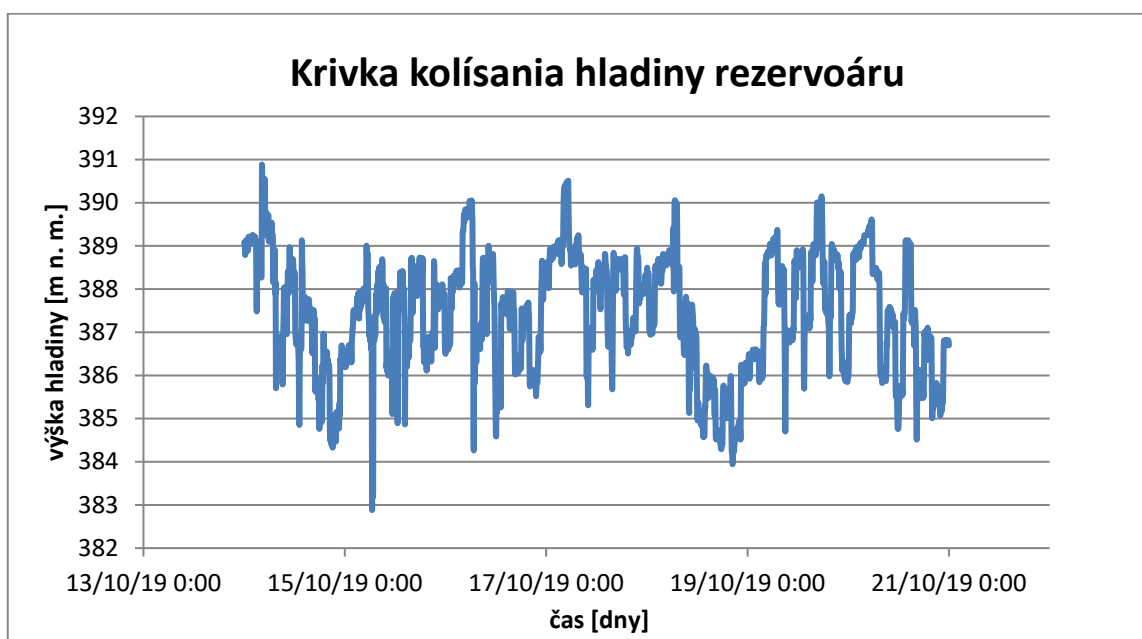


**Obr. č. 12 Priebeh tlaku v mernej šachte K Tuchoměřicům v roku 2019**

Krivky kolísania hladiny rezervoáru boli vytvorené pomocou dát z merania vstupného tlaku v mernej šachte. Najprv boli dáta upravené tak, aby interval medzi jednotlivými hodnotami bol presne 5 minút. Potom bola k hodnotám tlaku z mernej šachty pripočítaná nadmorská výška šachty. Tým vznikla krivka s výškami hladín v m n. m. Boli vytvorené 2 krivky kolísania hladiny, jedna pre obdobie od 14.6.2019 - 20.6.2019, druhá pre obdobie od 14.10.2019 - 20.10.2019.



**Obr. č. 13 Krivka kolísania hladiny rezervoáru pre obdobie 14.6.2019 - 20.6.2019**



**Obr. č. 14 Krivka kolísania hladiny rezervoáru pre obdobie 14.10.2019 - 20.10.2019**

### 3.3.4 Krivky nerovnomernosti odberov

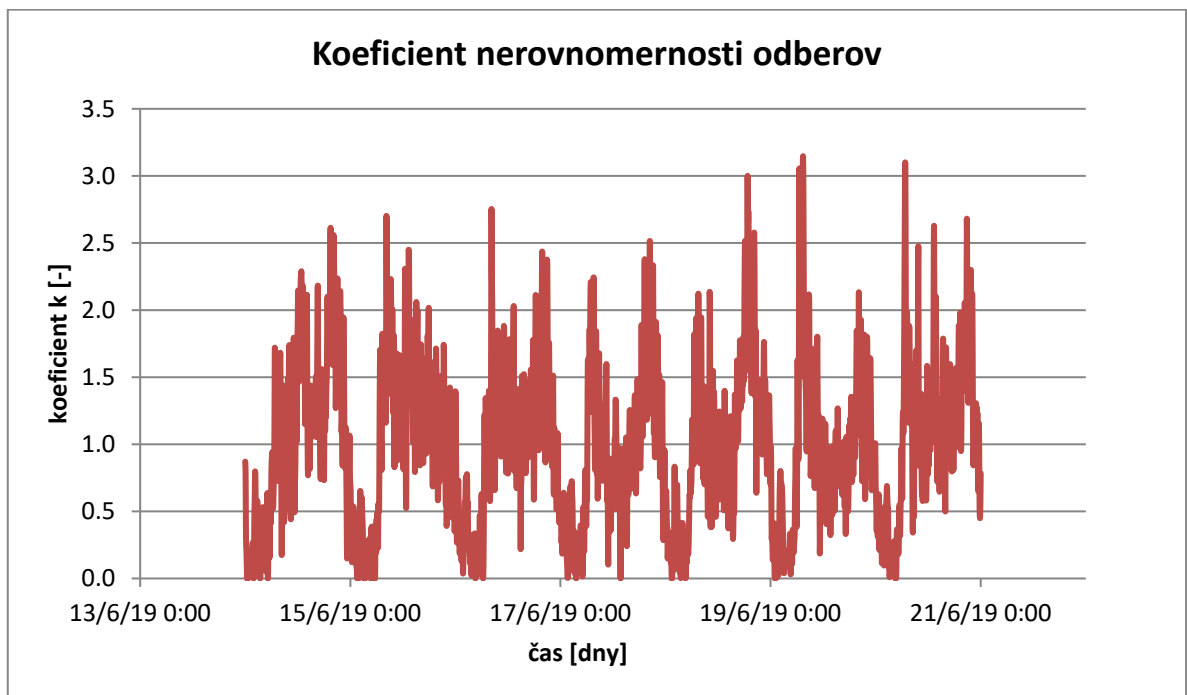
Krivky nerovnomernosti odberov boli vytvorené z dát meraní prietoku vo vstupnej šachte na začiatku obce. K dispozícii boli prietoky za obdobie od 1.5.2019 do 29.8.2019 a pre jesenné obdobie od 14.10.2019 do 20.10.2019. V letnom období je prietok v šachte prevažne 0 - 4 l/s, v špičke 6 - 8 l/s. V dňoch od 14.6.2019 do 20.6.2019 sa prietok pohyboval v rozmedzí od 0 do 4,5 l/s. V jesennom období (14.10.2019 -



20.10.2019) bol prietok v mernej šachte ovplyvnený hydrantovými testami, ktoré prebiehali v lokalite. Z tohto dôvodu sa maximálne prietoky v šachte v niektorých okamihoch zvýšili až na hodnotu 12 - 26 l/s. Po odčítaní prietoku vzniknutého v dôsledku hydrantových testov sa v tomto týždni prietok pohyboval v intervale 0 - 6,5 l/s.

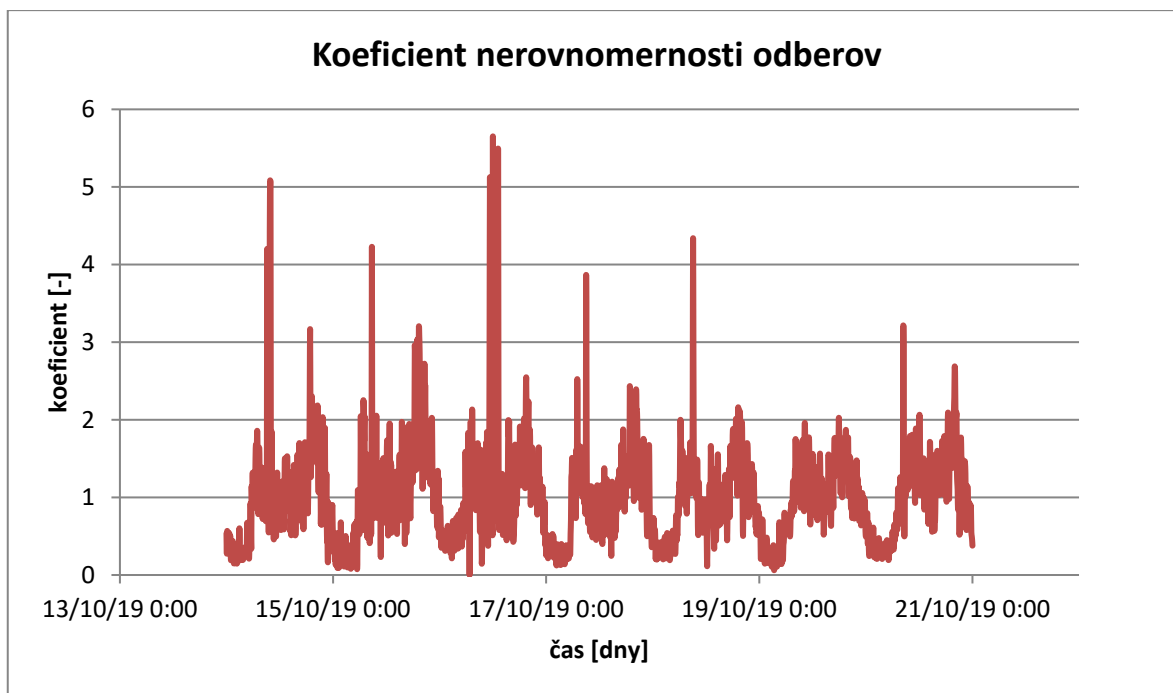
Opäť boli vytvorené dve krivky nerovnomernosti odberov, jedna pre obdobie 14.6.2019 - 20.6.2019 a druhá pre týždeň 14.10.2019 - 20.10.2019. Podobne ako v prípade kriviek kolísania hladiny boli dáta upravené tak, aby bol interval medzi jednotlivými hodnotami presne 5 minút. Od prietoku v šachte boli odčítané úniky vody, pre letné obdobie 0,52 l/s ; pre jesenné obdobie 0,61 l/s. Z takto získaného prietoku bol pre oba týždne spočítaný priemerný prietok. Koeficient nerovnomernosti prietoku je pomerom okamžitej hodnoty prietoku (po odčítaní únikov) k priemernému prietoku (taktiež po odčítaní únikov).

V jesennom období boli pre získanie krivky nerovnomernosti odberov odčítané od prietoku v šachte okrem únikov aj prietoky hydrantových testov. Hydrantové testy boli do modelu doplnené ako samostatné odbery.



**Obr. č. 15 Koeficienty nerovnomernosti odberov pre obdobie 14.6.2019 - 20.6.2019**

Úniky vody v sieti sú počas celej simulácie považované za konštantné. Koeficient nerovnomernosti odberu je teda pre úniky rovný 1 vo všetkých časových krokoch.



**Obr. č. 16 Koeficienty nerovnomernosti odberov pre obdobie 14.10.2019 - 20.10.2019**

### 3.3.5 Plánovaný rozvoj v obci a existujúce nepripojené objekty

Údaje o urbanistickom rozvoji v obci sú dôležitým vstupom pre zaťaženie vodovodnej siete vo výhľadových stavoch. Informácie o plánovanej výstavbe a jej potrebe vody nám umožňujú lepšie odhadnúť ako sa bude sieť správať v budúcnosti.

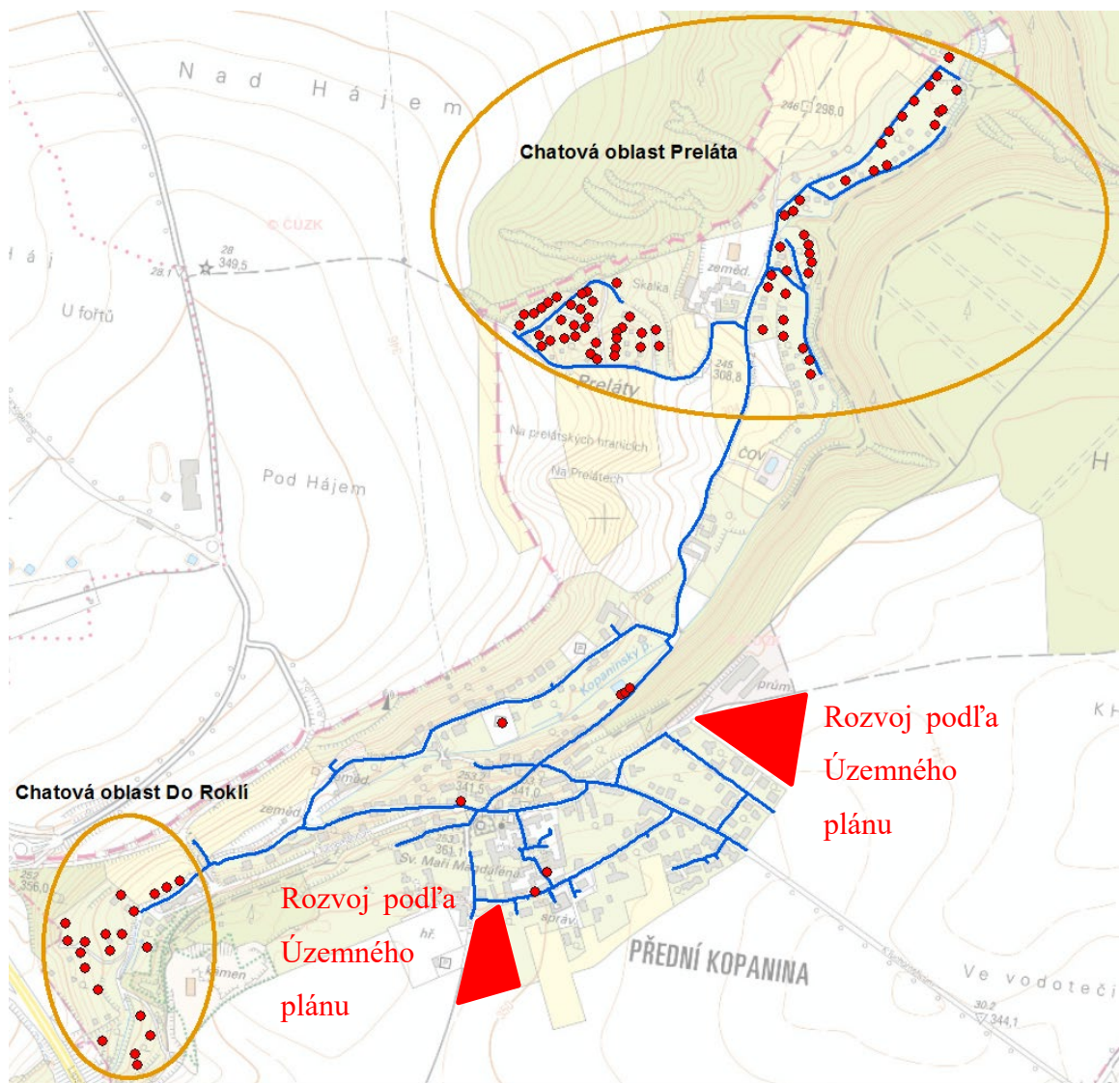
V záujmovom území sa počíta ako s novou výstavbou, tak aj s pripojením už existujúcich objektov na vodovodné rady. V okrajových častiach obce je tiež plánovaná výstavba nových častí vodovodu, na ktoré bude pripojená časť objektov. Konkrétne údaje o nových odberoch vychádzajú z konzultácií s predstaviteľmi mestskej časti Praha Přední Kopanina a z Územného a Metropolitného plánu Hlavného mesta Prahy.

Rozvojové/novo pripojiteľné objekty je možné rozdeliť do 4 oblastí:

Prvú oblasť tvorí chatová osada Preláty na severe obce. V tejto časti obce sa nachádzajú záhradkárске chaty a rodinné domy. Jedná sa o časť obce s už existujúcou zástavbou, kde je plánovaná výstavba nových vodovodných radov. Predpokladá sa pripojenie doteraz nezasobovaných objektov na nové i už existujúce rady.

Druhú časť tvorí menšia chatová osada na juhu záujmového územia v okolí ulice Do Roklí. Rovnako ako v predchádzajúcom prípade, je v tejto oblasti plánovaná výstavba nových vodovodných radov. Na nové vodovodné rady budú pripojené už existujúce objekty - prevažne chaty.

Ďalšia oblasť sa rozprestiera v centre obce. Rozvojové plochy v tejto časti sú stavby určené pre bývanie - byty a rodinné domy. Nové stavby budú pripojené na existujúce vodovody. Najvýznamnejším novým odberateľom v tejto oblasti by mala byť Rezidencia Kopanina, ktorej súčasťou by malo byť až 60 nových bytových jednotiek. Posledným miestom plánovaného rozvoja je plocha východne od ulice Ke Goniu a plocha východne od ulice K Juliáně. Rozvoj v tejto oblasti vychádza z predpokladov Územného plánu Hlavného mesta Prahy. K týmto rozvojovým plochám zatiaľ nie sú k dispozícii bližšie informácie.



**Obr. č. 17 Rozvojové plochy a vo výhľade novo pripojené objekty v obci**

Celkovo sa v obci nachádza 92 rozvojových plôch / pripojiteľných objektov, údaje o novo pripojiteľných objektoch sa nachádzajú v tabuľke č.3. Každému objektu bola

priradená informácia o jeho umiestnení, výške zástavby, predpokladaný počet ekvivalentných obyvateľov a z neho odvodená predpokladaná potreba vody daného objektu a informácia, či sa jedná o chatu (skratka v tabuľke - CH), rodinný dom (skratka - RD), alebo byt (skratka - B).

Pri výpočte priemernej dennej potreby vody sa uvažovalo s potrebou vody  $q=150$  l/osobu/deň na 1 ekvivalentného obyvateľa. Vyššia hodnota potreby vody - 150 l/osobu/deň bola použitá vzhľadom k vyšším únikom vody v sieti a pre zachovanie výpočtu na strane bezpečnosti.

Súčinitele dennej a hodinovej nerovnomernosti  $k_d$  a  $k_h$  boli uvažované nasledovne:

$$k_d = 1,5 ; k_h = 2,1$$

Súčiniteľ dennej nerovnomernosti  $k_d$  bol určený podľa tabuľky č.1, v závislosti na počte obyvateľov obce - obec do 1000 obyvateľov. Pri výbere súčiniteľa hodinovej nerovnomernosti  $k_h$  bol zohľadnený typ zástavby, ktorá má prevažne obytnú funkciu - väčšinu objektov tvoria rodinné domy a byty. Preto bol zvolený súčiniteľ 2,1 odpovedajúci zástavbe sídliskového charakteru.

Potreba vody pre všetky novo pripojené objekty teda je:

Priemerná denná potreba vody  $Q_p$

$$Q_p = q \cdot EO = 150 \cdot 722 = 108300 \text{ l/den} = 1,25 \text{ l/s}$$

Maximálna denná potreba vody  $Q_m$

$$Q_m = k_d \cdot Q_p = 1,5 \cdot 1,25 = 1,88 \text{ l/s}$$

Maximálna hodinová potreba vody  $Q_{hmax}$

$$Q_{hmax} = k_h \cdot Q_m = 2,1 \cdot 1,88 = 3,95 \text{ l/s}$$

**Tabuľka č. 3 Novo pripojiteľné objekty pre výhľadový stav**

č.	Popis	EO (počet ekvival. obyvateľov)	$Q_p$ (l/s)	Podlažnosť -predpoklad	chata /RD/ byt
1	chatová oblasť Preláta parcela č. 302	4	0,007	2 NP	CH
2	chatová oblasť Preláta parcela č. 886	4	0,007	2 NP	CH
3	chatová oblasť Preláta parcela č. 304	4	0,007	2 NP	CH
4	chatová oblasť Preláta parcela č. 308	4	0,007	2 NP	CH
5	chatová oblasť Preláta parcela č. 310/2	4	0,007	2 NP	CH
6	chatová oblasť Preláta parcela č. 311	4	0,007	2 NP	CH

7	chatová oblast' Preláta parcela č. 299	4	0,007	2 NP	CH
8	chatová oblast' Preláta parcela č. 297	4	0,007	2 NP	CH
9	chatová oblast' Preláta parcela č. 295	4	0,007	2 NP	CH
10	chatová oblast' Preláta parcela č. 293	4	0,007	2 NP	CH
11	chatová oblast' Preláta parcela č. 283	4	0,007	2 NP	CH
12	chatová oblast' Preláta parcela č. 281	4	0,007	2 NP	CH
13	chatová oblast' Preláta parcela č. 278/2	4	0,007	2 NP	CH
14	chatová oblast' Preláta parcela č. 270	4	0,007	2 NP	CH
15	chatová oblast' Preláta parcela č. 269/2	4	0,007	2 NP	CH
16	chatová oblast' Preláta parcela č. 268/2	4	0,007	2 NP	CH
17	chatová oblast' Preláta parcela č. 315/2	4	0,007	2 NP	CH
18	chatová oblast' Preláta parcela č. 318	4	0,007	2 NP	CH
19	chatová oblast' Preláta parcela č. 265	4	0,007	2 NP	CH
20	chatová oblast' Preláta parcela č. 263	4	0,007	2 NP	CH
21	chatová oblast' Preláta parcela č. 261	4	0,007	2 NP	CH
22	chatová oblast' Preláta parcela č. 259	4	0,007	2 NP	CH
23	chatová oblast' Preláta parcela č. 257	4	0,007	2 NP	CH
24	chatová oblast' Preláta parcela č. 320	4	0,007	2 NP	CH
25	chatová oblast' Preláta parcela č. 322	4	0,007	2 NP	CH
26	chatová oblast' Preláta parcela č. 255	4	0,007	2 NP	CH
27	chatová oblast' Preláta parcela č. 251	4	0,007	2 NP	CH
28	chatová oblast' Preláta parcela č. 249	4	0,007	2 NP	CH
29	chatová oblast' Preláta parcela č. 247	4	0,007	2 NP	CH
30	chatová oblast' Preláta parcela č. 244/2	4	0,007	2 NP	CH
31	chatová oblast' Preláta parcela č. 241	4	0,007	2 NP	CH
32	chatová oblast' Preláta parcela č. 670/2	4	0,007	2 NP	CH
33	chatová oblast' Preláta parcela č. 669	4	0,007	2 NP	CH
34	chatová oblast' Preláta parcela č. 876/2	4	0,007	2 NP	RD
35	chatová oblast' Preláta parcela č. 875/2	4	0,007	2 NP	CH
36	chatová oblast' Preláta parcela č. 865/2	4	0,007	2 NP	RD
37	chatová oblast' Preláta parcela č. 866/2	4	0,007	2 NP	CH
38	chatová oblast' Preláta parcela č. 867/2	4	0,007	2 NP	CH
39	chatová oblast' Preláta parcela č. 868/2	4	0,007	2 NP	CH

40	chatová oblast' Preláta parcela č. 869/2	4	0,007	2 NP	CH
41	chatová oblast' Preláta parcela č. 667	4	0,007	2 NP	RD
42	chatová oblast' Preláta parcela č. 864/2	4	0,007	2 NP	CH
43	chatová oblast' Preláta parcela č. 862/2	4	0,007	2 NP	CH
44	chatová oblast' Preláta parcela č. 863/2	4	0,007	2 NP	CH
45	chatová oblast' Preláta parcela č. 844/2	4	0,007	2 NP	CH
46	chatová oblast' Preláta parcela č. 845/2	4	0,007	2 NP	CH
47	chatová oblast' Preláta parcela č. 847/2	4	0,007	2 NP	CH
48	chatová oblast' Preláta parcela č. 850/3	4	0,007	2 NP	CH
49	chatová oblast' Preláta parcela č. 852/2	4	0,007	2 NP	CH
50	chatová oblast' Preláta parcela č. 851/2	4	0,007	2 NP	CH
51	chatová oblast' Preláta parcela č. 853/2	4	0,007	2 NP	CH
52	chatová oblast' Preláta parcela č. 854/2	4	0,007	2 NP	CH
53	chatová oblast' Preláta parcela č. 860/2	4	0,007	2 NP	CH
54	chatová oblast' Preláta parcela č. 858/2	4	0,007	2 NP	CH
55	chatová oblast' Preláta parcela č. 855/2	4	0,007	2 NP	CH
56	chatová oblast' Preláta parcela č. 856/2	4	0,007	2 NP	CH
57	chatová oblast' Preláta parcela č. 857/2	4	0,007	2 NP	CH
58	chatová oblast' Preláta parcela č. 859/2	4	0,007	2 NP	CH
59	chatová oblast' Preláta parcela č. 836/2	4	0,007	2 NP	CH
60	chatová oblast' Preláta parcela č. 837	4	0,007	2 NP	CH
61	chatová oblast' Preláta parcela č. 838/2	4	0,007	2 NP	CH
62	chatová oblast' Preláta parcela č. 839/2	4	0,007	2 NP	CH
63	chatová oblast' Preláta parcela č. 840/2	4	0,007	2 NP	CH
64	chatová oblast' Preláta parcela č. 841/2	4	0,007	2 NP	CH
65	chatová oblast' Preláta parcela č. 842/2	4	0,007	2 NP	CH
66	chatová oblast' Do Roklí parcela č. 385/5	4	0,007	2 NP	CH
67	chatová oblast' Do Roklí parcela č. 385/2	4	0,007	2 NP	CH
68	chatová oblast' Do Roklí parcela č. 385/8	4	0,007	2 NP	CH
69	chatová oblast' Do Roklí parcela č. 385/7	4	0,007	2 NP	CH
70	chatová oblast' Do Roklí parcela č. 379	4	0,007	2 NP	CH
71	chatová oblast' Do Roklí parcela č. 382/1	4	0,007	2 NP	CH
72	chatová oblast' Do Roklí parcela č. 387/3	4	0,007	2 NP	CH

73	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 386	4	0,007	2 NP	CH
74	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 388	4	0,007	2 NP	CH
75	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 394	4	0,007	2 NP	CH
76	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 407	4	0,007	2 NP	CH
77	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 404	4	0,007	2 NP	CH
78	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 402	4	0,007	2 NP	CH
79	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 400	4	0,007	2 NP	CH
80	chatová oblasť Do Roklí parcela č. 409/6	4	0,007	2 NP	CH
81	ulica K Prelátům parcela č. 221/1 dvojdom 1	8	0,014	2 NP	RD
82	ulica K Prelátům parcela č. 221/1 dvojdom 2	8	0,014	2 NP	RD
83	ulica K Prelátům parcela č. 221/1 dvojdom 3	8	0,014	2 NP	RD
84	ulica Nové Domy parcela č. 192 rodinný dom	4	0,007	2 NP	RD
85	ulica K Tuchoměřicům parcela č.378 dvojdom 1	8	0,014	2 NP	RD
86	ulica K Tuchoměřicům parcela č.378 dvojdom 2	8	0,014	2 NP	RD
87	ulica K Tuchoměřicům parcela č.378 dvojdom 3	8	0,014	2 NP	RD
88	ulica Do Roklí parcela č.157 – 10 bytov	40	0,069	3 NP	B
89	Hokešovo náměstí parcela č.19/1 a 22 – 5 bytov	20	0,035	2 NP	B
90	Hokešovo náměstí Rezidencia Kopanina parcely č. 30; 31/3; 31/4; 32; 33; 725; 729/1 – 60 bytov	210	0,365	2-3 NP	B
91	Plocha východne od ulice K Juliáně - 10 rodinných domov	40	0,069	2 NP	RD
92	Plocha východne od ulice Ke Goniu - 10 rodinných domov	40	0,069	2 NP	RD
	<b>SÚČET</b>	<b>722</b>	<b>1,25</b>		

## 3.4 Kalibrácia a verifikácia modelu

### 3.4.1 Dáta pre kalibráciu a verifikáciu - merná kampaň v lokalite

Pre kalibráciu a verifikáciu modelu boli použité dáta z mernej kampane, ktorá v mestskej časti prebiehala v dňoch 15.10.2019 a 16.10.2019. Cieľom mernej kampane bolo získať informácie o tlakových pomeroch v sieti za štandardných i neštandardných prevádzkových podmienok.

Na vodovodnú sieť bolo pripojených 8 tlakomerov, ktoré počas približne 30 hodín zaznamenávali priebeh tlaku vo vybraných miestach siete. Časový krok záznamu bol 1 minúta. Body P1 - P8, v ktorých bol meraný tlak, boli rovnomerne rozmiestnené po celej sieti. Ich umiestnenie bolo vybrané spoločnosťou vykonávajúcou meranie - DHI a.s. v spolupráci s prevádzkovateľom siete. Pre meranie tlaku boli použité tlakomery Sebalog P3, všetky tlakomery boli osadené v miestach podzemných hydrantov.

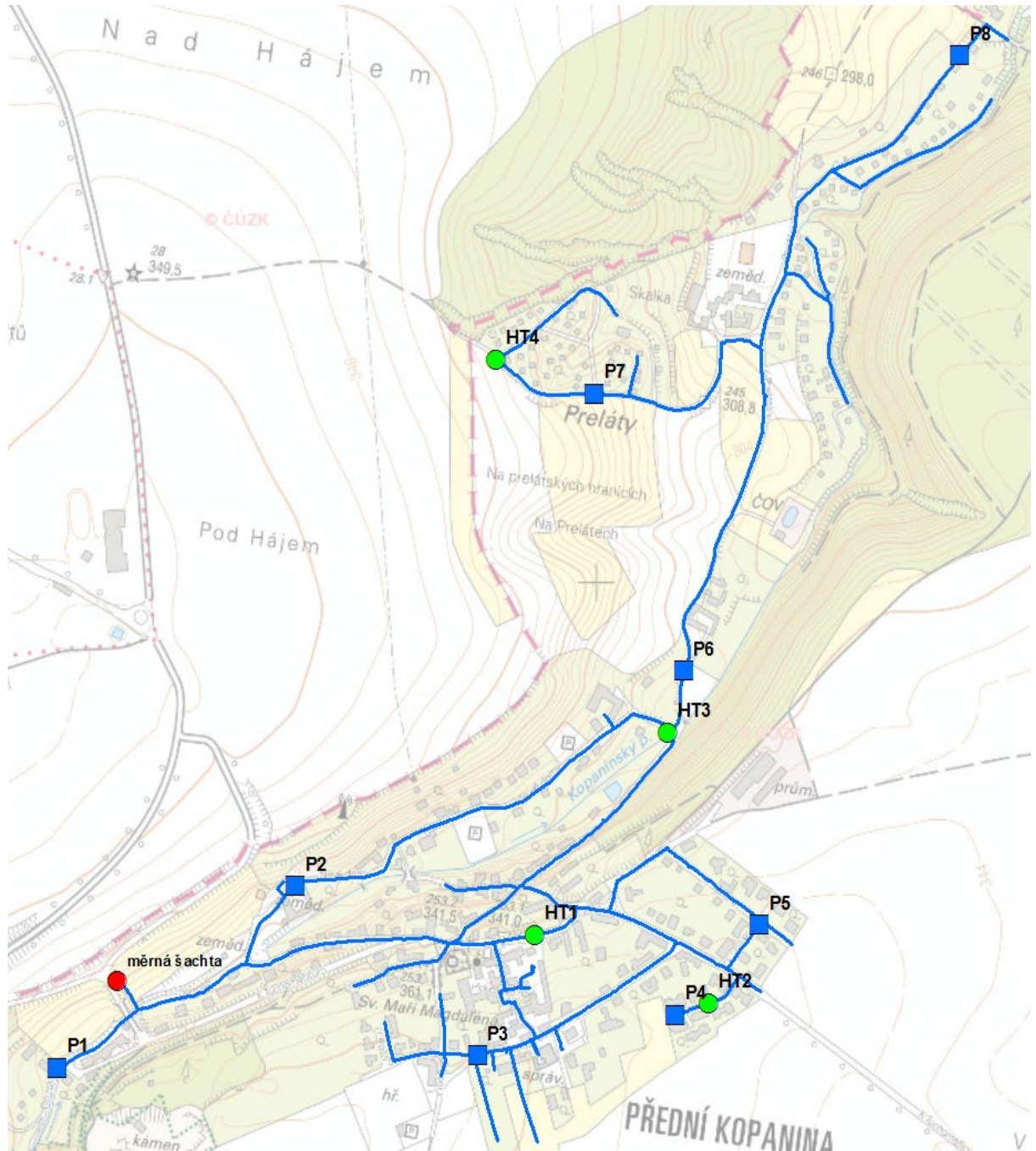
V rámci mernej kampane prebehli na sieti 16.10.2019 v dobe od 11:00 hod do 13:30 hod tiež 4 hydrantové testy. Počas hydrantových testov bolo postupne v 4 miestach v obci vypúšťané väčšie množstvo vody - približne 10 - 24 l/s. Každý hydrantový test trval 10 minút. Zvýšený odber sa prejavil výrazným poklesom tlaku vo všetkých nainštalovaných tlakomeroch. Priebeh jednotlivých hydrantových testov je znázornený v prílohe č.1.

Meranie tlaku za bežných prevádzkových podmienok preukázalo, že:

- na začiatku siete v uliciach Do Roklí a Nové Domy tlak dosahuje hodnoty prevažne 61 - 67 m v. stĺpca
- v juhovýchodnej časti obce - v uliciach K Juliáně, K Padesátníku a na východnom konci ulice K Tuchoměřicům sa tlakové pomery počas dňa pohybujú v rozmedzí 35 až 46 m v. stĺpca
- smerom von z centra obce v ulici K Prelátům je tlak na úrovni 79 - 85 m v. stĺpca
- v západnej, teda vyššie položenej časti chatovej osady Preláty sú tlakové pomery v rozmedzí 63 - 68 m v. stĺpca
- v najnižšie položenej časti obce, teda na severovýchode v chatovej oblasti Preláty sú tlakové pomery najvyššie, zväčša v rozpätí až 103 - 108 m v. stĺpca



Dáta z mernej kampane boli rozdelené na 2 časti. Prvá časť od 15.10.2019 9:15 hod do 16.10.2019 0:00 hod bola použitá pre kalibráciu modelu. Druhá časť od 16.10.2019 0:00 hod do 16.10.2019 14:45 hod bola použitá pre verifikáciu modelu.

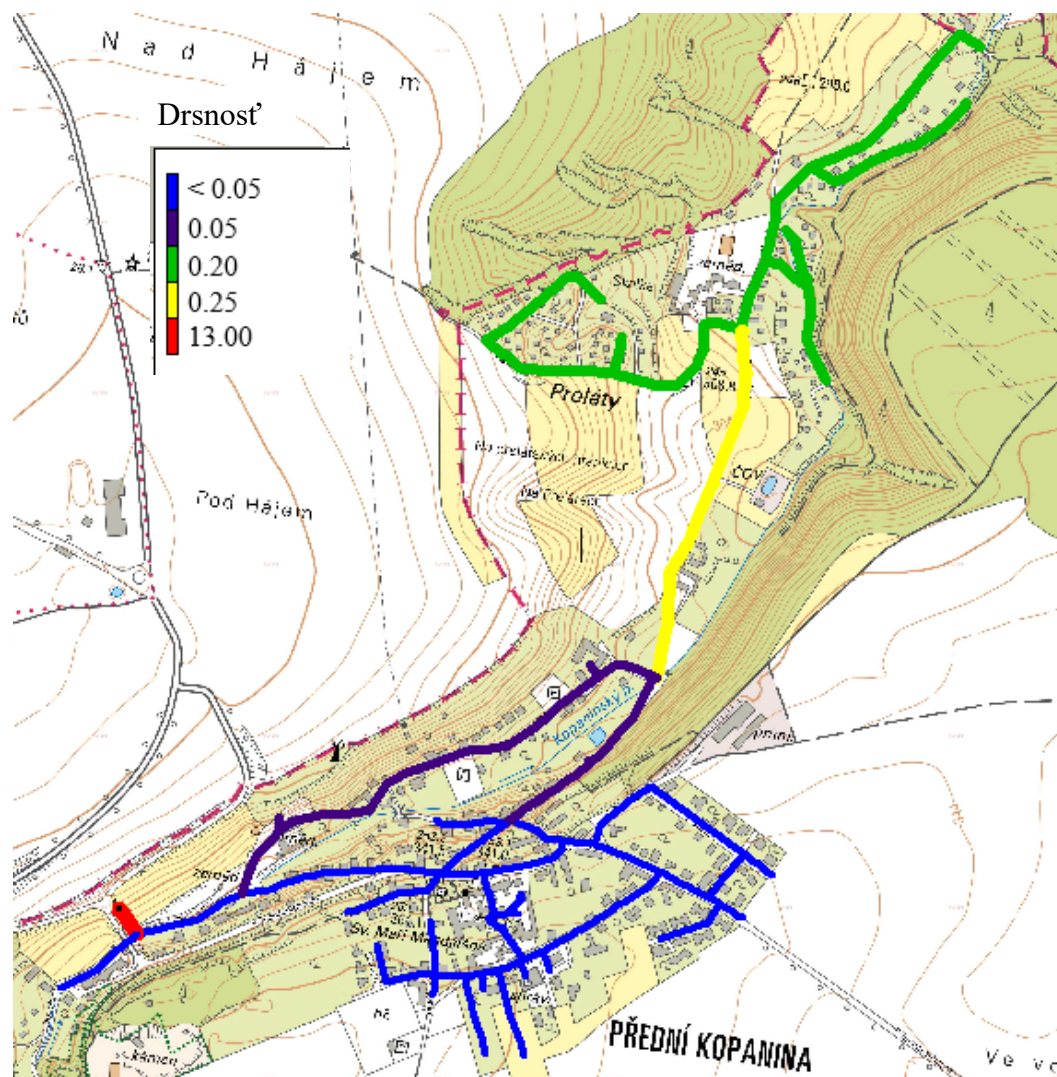


**Obr. č. 18** Merná kampaň - umiestnenie tlakomerov (body P1-P8) a hydrantových testov (body HT1- HT4)

### 3.4.2 Kalibrácia modelu

V modeli bola sledovaná tlaková výška v bodoch P1 - P8, pričom hodnota vypočítaná modelom bola porovnávaná so skutočnou hodnotou tlaku z terénneho merania. Ako nástroj pre kalibráciu modelu bola použitá úprava drsností potrubí vo vodovodnej sieti.

V centre obce sa hydraulická drsnosť po kalibrácii pohybuje v rozmedzí od 0,01 do 0,05. Smerom k severnej časti obce - chatovej oblasti Preláta je hydraulická drsnosť o niečo vyššia, má hodnoty 0,20 - 0,25. Najvyššia hodnota drsnosti - 13 bola pri kalibrácii priradená začiatočnému úseku prívodného potrubia DN 160 v ulici K Tuchoměřicům. Vyššia hodnota drsnosti 13 bola zvolená pre dosiahnutie lepšej zhody meraných a modelovaných hodnôt tlaku počas hydrantových testov. Jedná sa o najstarší úsek potrubia. Je teda možné, že v tejto časti je prietokový profil zmenšený inkrustačnými nánosmi, čo zvyšuje straty trením, prípadne sa za mernou šachtou môže nachádzať miestna strata, ktorú model nebol schopný zachytiť.



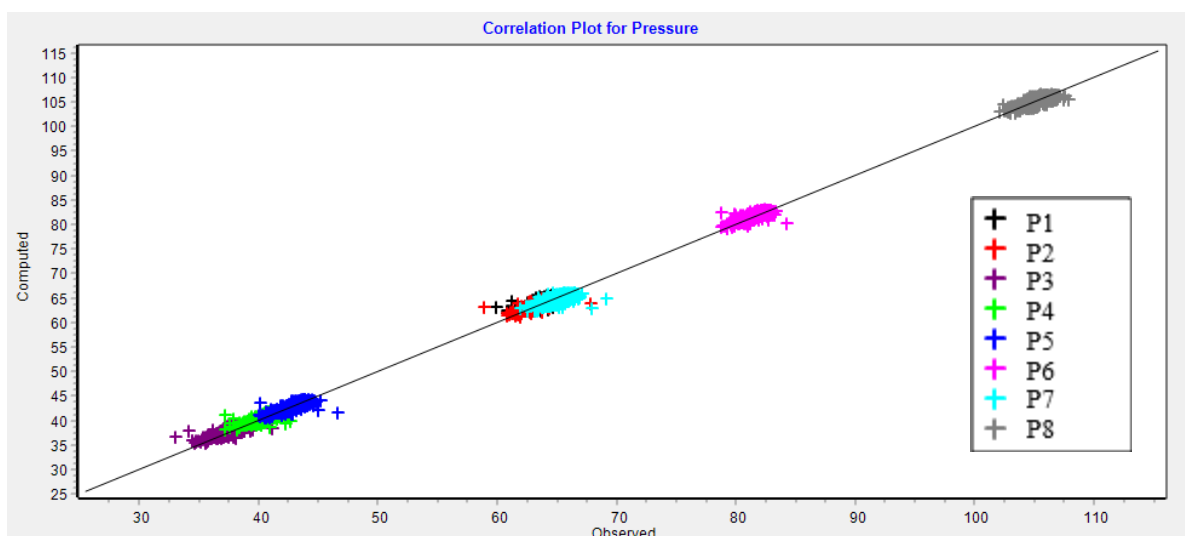
Obr. č. 19 Mapa výsledných drsností potrubí v modeli po kalibrácii

Po úprave drsností jednotlivých potrubí je kalibračná štatistika pre tlak nasledovná:

**Tabuľka č. 4 Kalibračná štatistika pre tlak**

Názov uzlu	Počet pozorovaní	Nameraný priemer tlaku	Vypočítaný priemer tlaku	Stredná chyba	Stredná kvadratická chyba
P1	885	63,83	64,34	0,542	0,638
P2	875	63,66	63,74	0,265	0,409
P3	808	37,57	37,91	0,425	0,556
P4	815	40,50	40,62	0,366	0,501
P5	822	42,96	42,97	0,312	0,451
P6	864	81,44	81,66	0,372	0,503
P7	855	65,11	64,72	0,511	0,659
P8	839	105,27	105,18	0,415	0,528
<b>Celá sieť</b>	<b>6763</b>	<b>62,88</b>	<b>62,98</b>	<b>0,402</b>	<b>0,537</b>

Korelácia medzi nameranými a vypočítanými hodnotami tlaku je zobrazená v nižšie uvedenom grafe, na osi x sa nachádzajú hodnoty tlaku namerané v teréne, na osi y sú hodnoty tlaku vypočítané modelom.



**Obr. č. 20 Graf korelácie medzi nameranými a vypočítanými hodnotami tlaku pri kalibrácii**

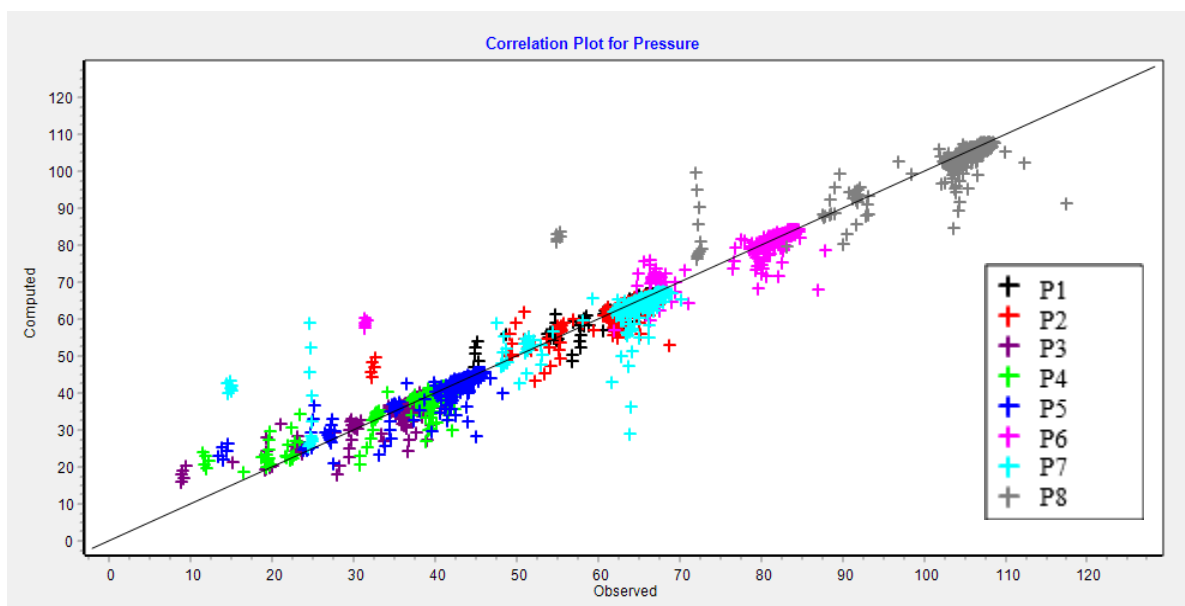
### 3.4.3 Verifikácia modelu

Pre verifikáciu modelu bola použitá druhá časť dát z mernej kampane od 16.10.2019 0:00 hod do 16.10.2019 14:45 hod. V tejto časti kampane prebiehali hydrantové testy, ktoré boli do modelu doplnené ako samostatné odbery. Pri zachovaní drsností nastavených počas kalibrácie sú výsledky verifikácie nasledovné:

**Tabuľka č. 5 Verifikačná štatistika pre tlak**

Názov uzlu	Počet pozorovaní	Nameraný priemer tlaku	Vypočítaný priemer tlaku	Stredná chyba	Stredná kvadratická chyba
P1	857	64,04	64,34	0,620	1,094
P2	862	63,65	63,61	0,602	1,758
P3	839	37,48	37,63	0,680	1,578
P4	843	40,31	40,27	0,688	1,694
P5	849	42,83	42,69	0,631	1,702
P6	867	81,18	81,36	0,791	2,623
P7	874	64,57	64,12	1,247	3,653
P8	882	104,84	104,70	0,988	3,156
<b>Celá sieť</b>	<b>6873</b>	<b>62,68</b>	<b>62,66</b>	<b>0,783</b>	<b>2,322</b>

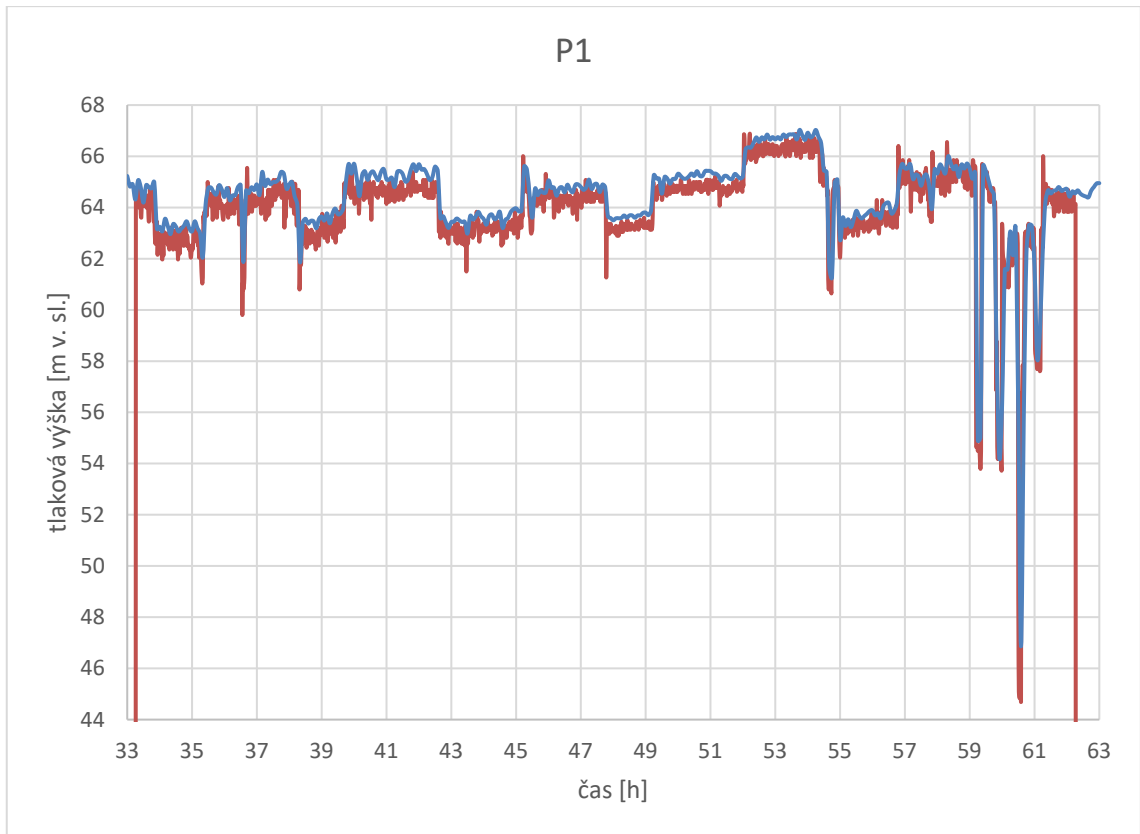
Korelácia medzi nameranými a vypočítanými hodnotami tlaku je zobrazená v nižšie uvedenom grafe, na osi x sa nachádzajú hodnoty tlaku namerané v teréne, na osi y sú hodnoty tlaku vypočítané modelom.



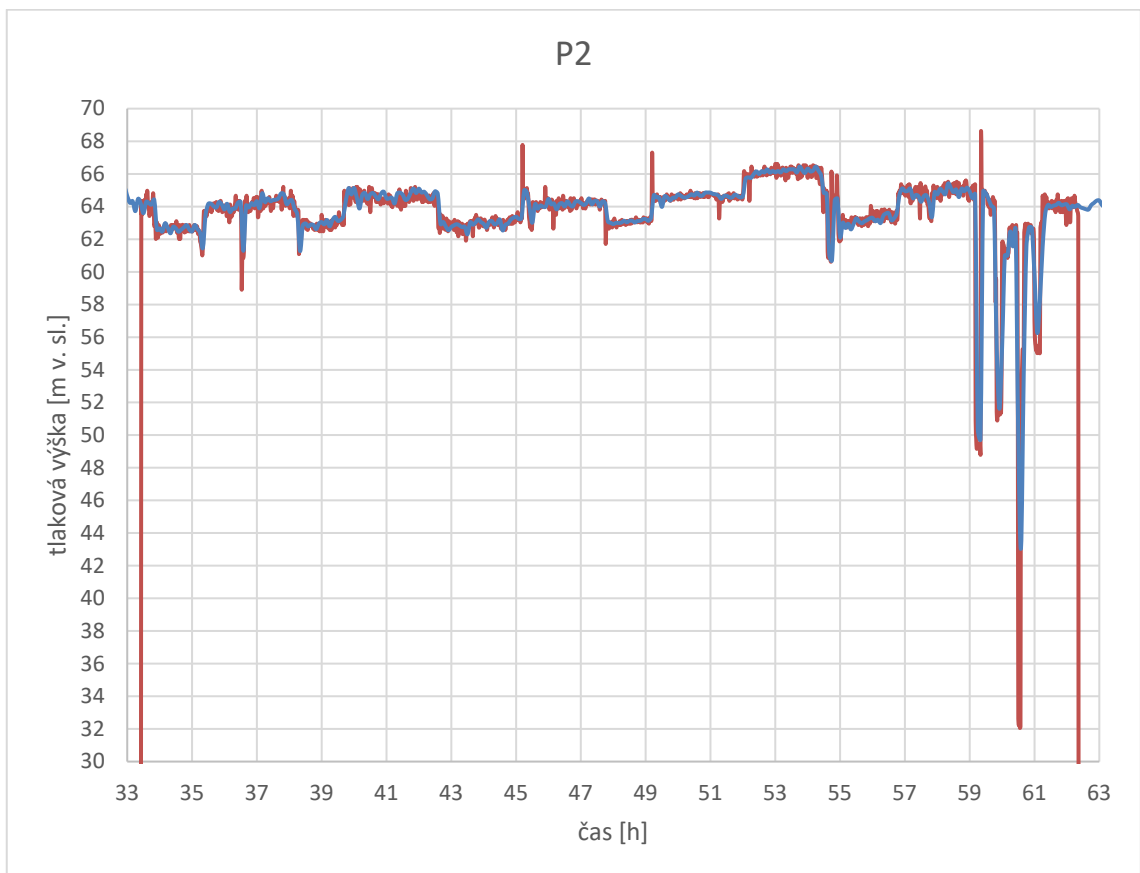
**Obr. č. 21 Graf korelácie medzi nameranými a vypočítanými hodnotami tlaku pri verifikácii**

### 3.4.4 Grafické porovnanie nameraných a simulovaných tlakov

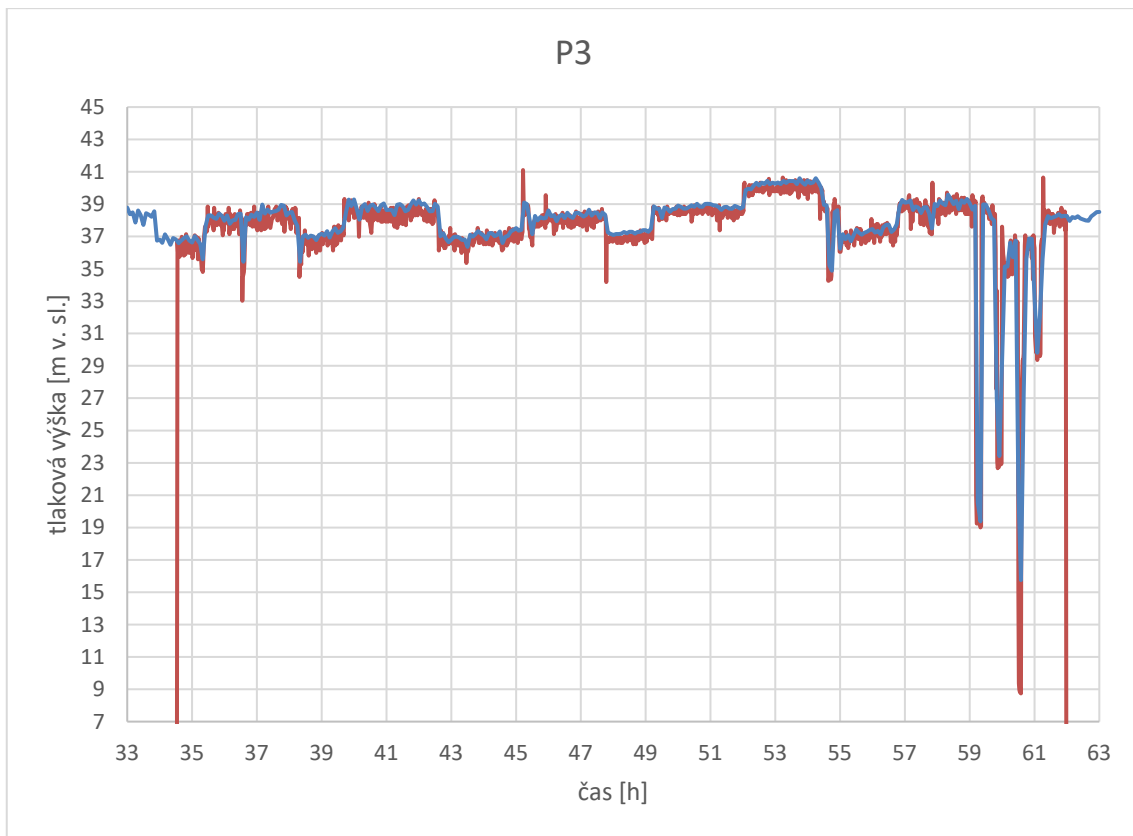
Na nasledujúcich obrázkoch sú graficky znázornené priebehy tlakov v uzloch P1 - P8 po prevedenej kalibrácii a verifikácii modelu. Červenou farbou je vykreslená skutočná hodnota tlaku z mernej kampane, modrou farbou je znázornený priebeh tlaku vypočítaný modelom.



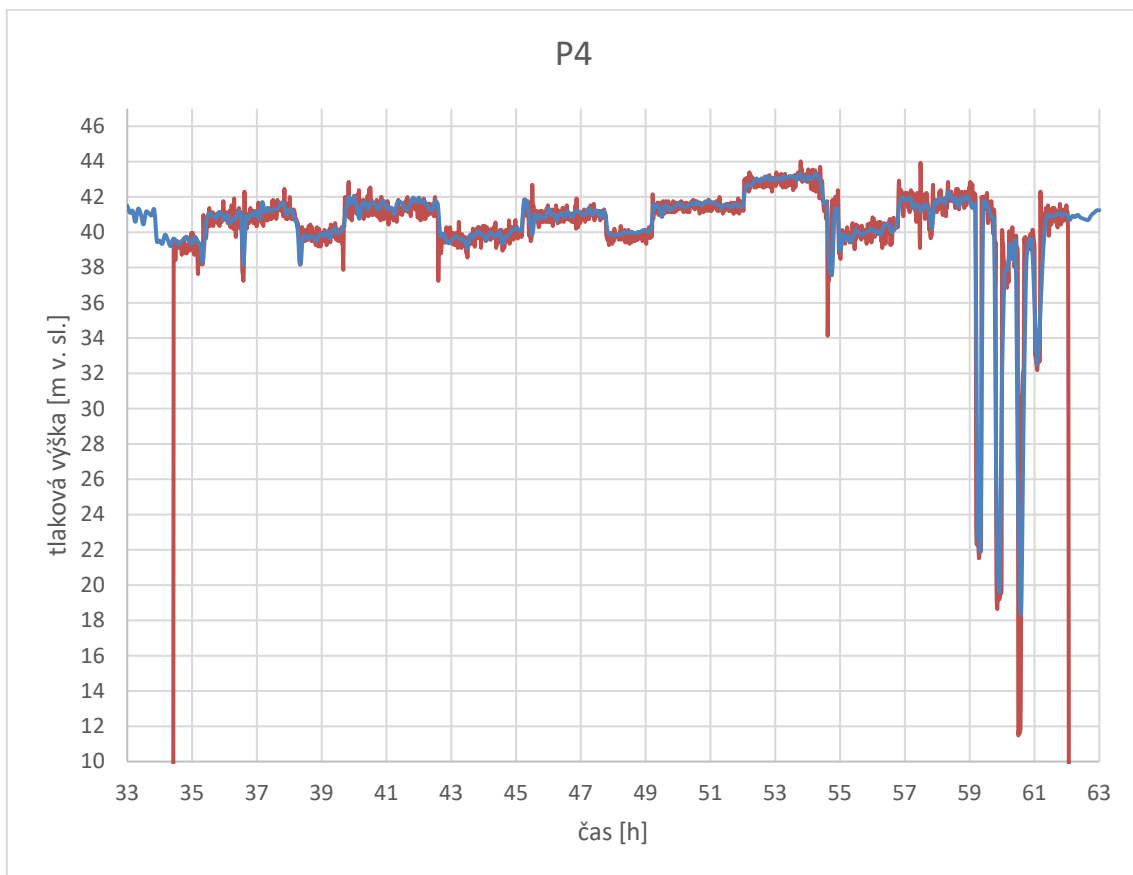
**Obr. č. 22** Priebek tlaku v bode P1 počas mernej kampane



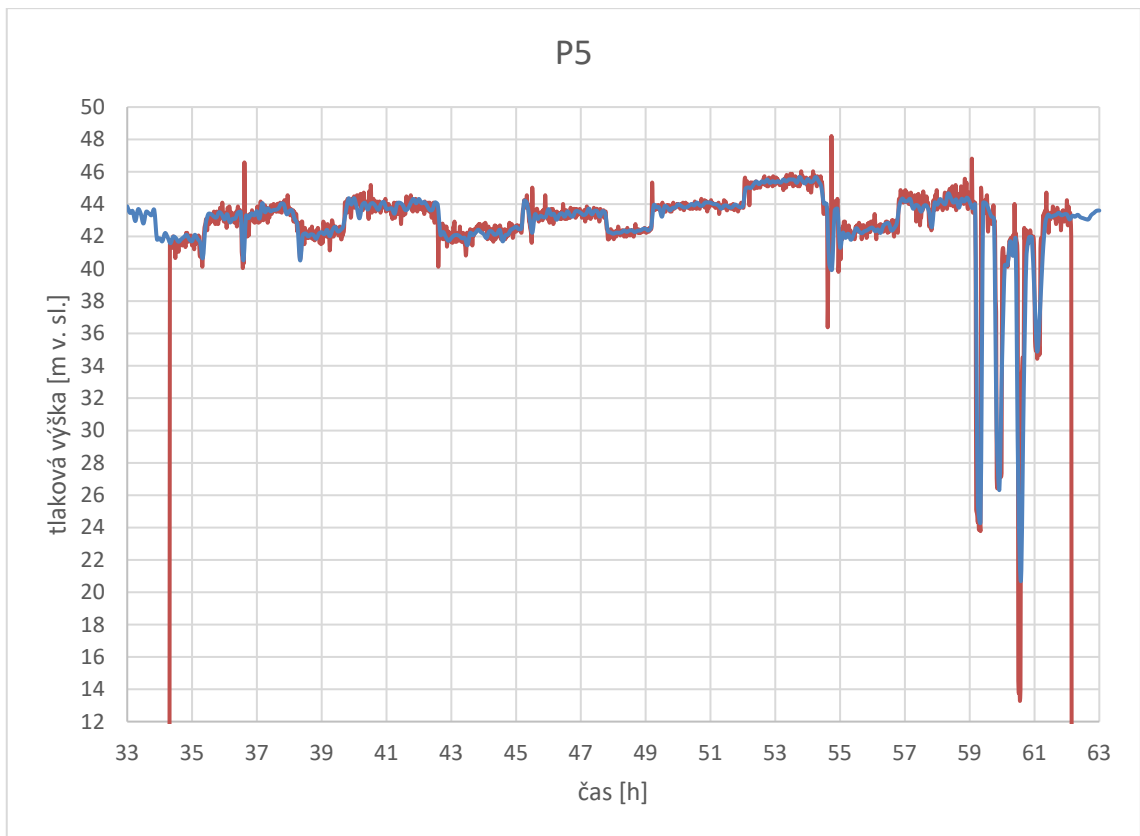
**Obr. č. 23** Priebek tlaku v bode P2 počas mernej kampane



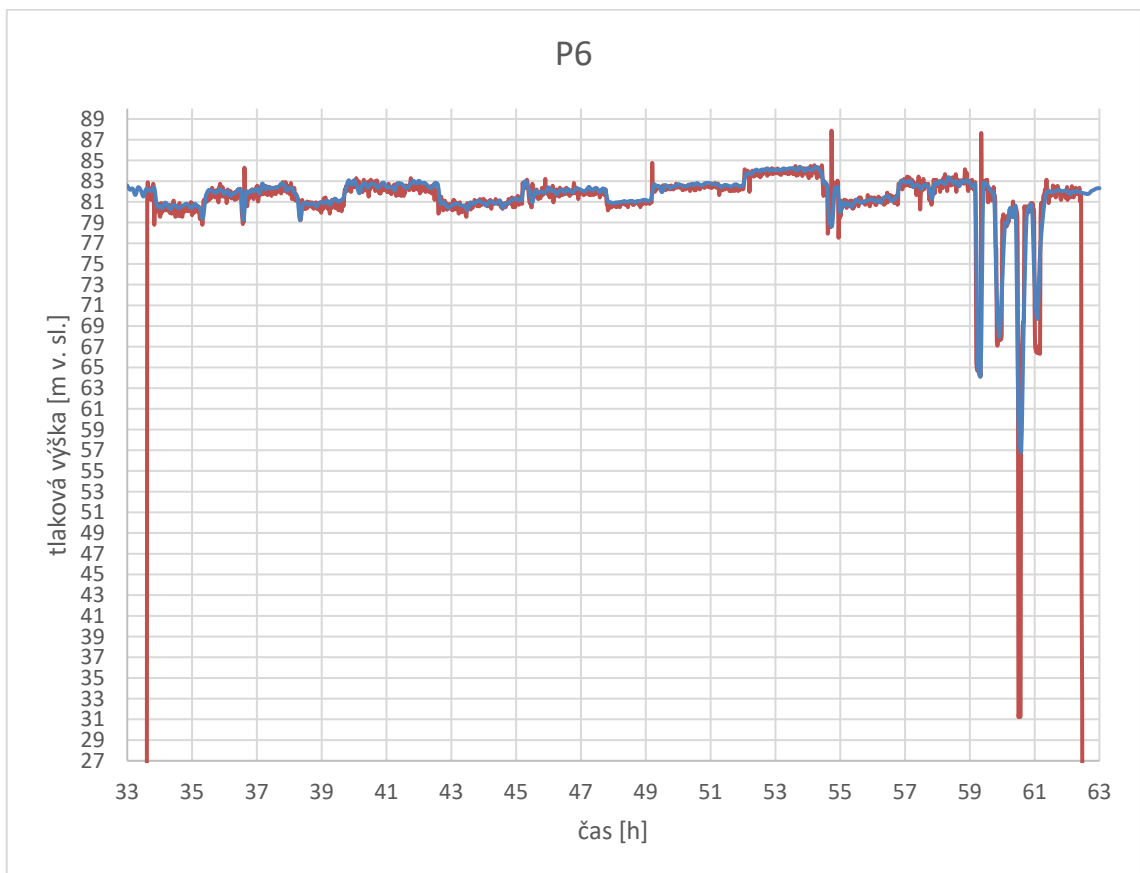
**Obr. č. 24** Priebek tlaku v bode P3 počas mernej kampane



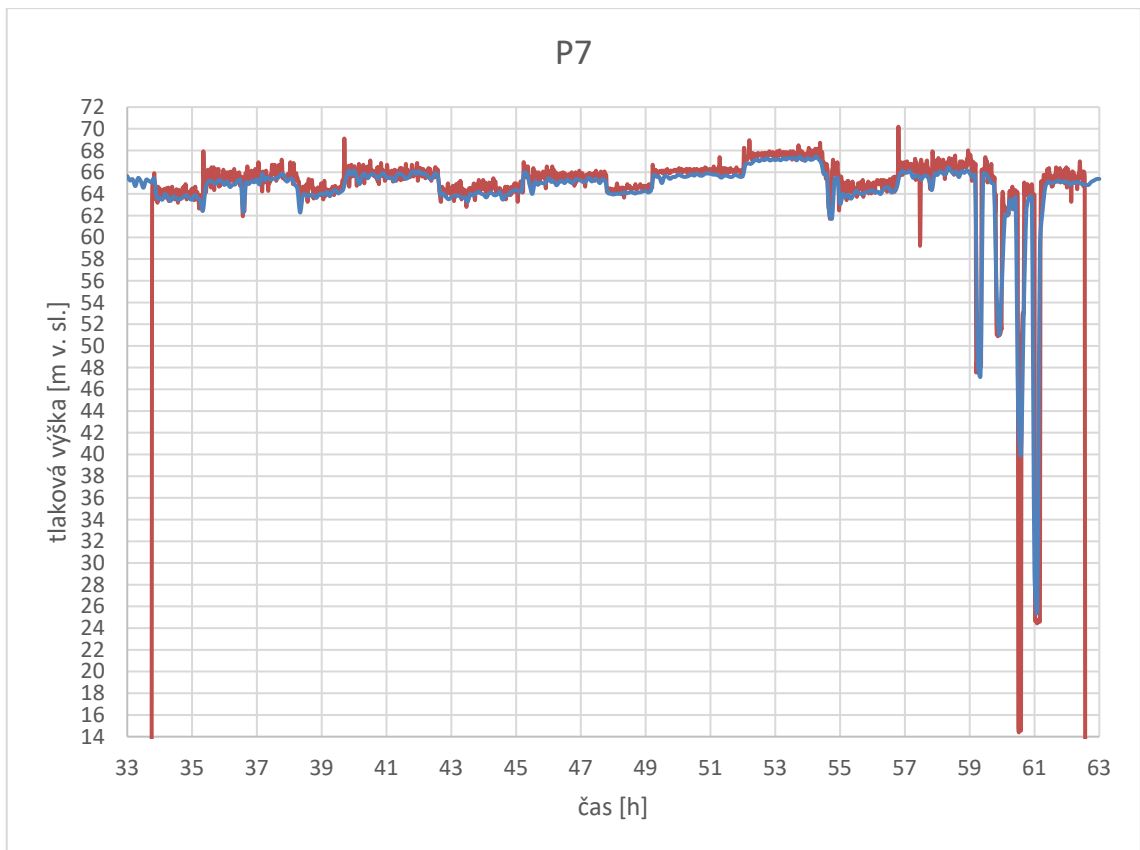
**Obr. č. 25** Priebek tlaku v bode P4 počas mernej kampane



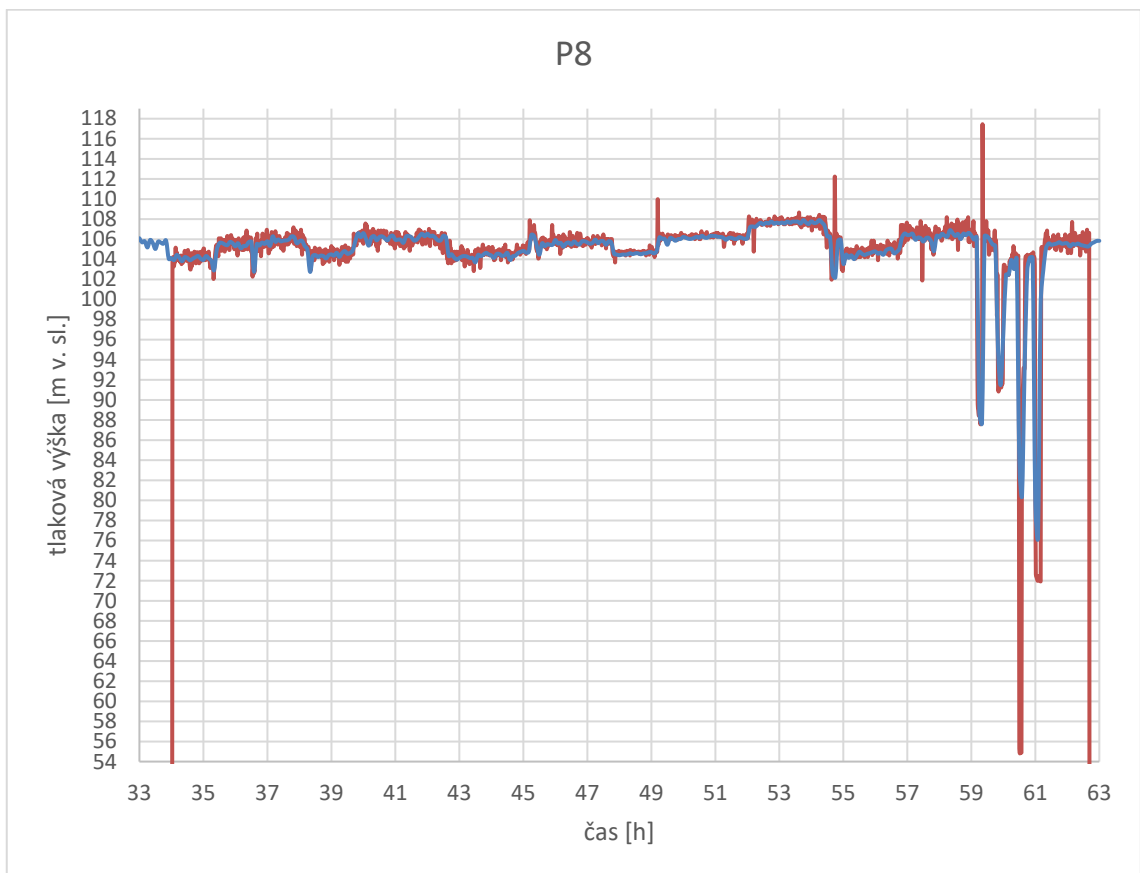
**Obr. č. 26** Priebek tlaku v bode P5 počas mernej kampane



**Obr. č. 27** Priebek tlaku v bode P6 počas mernej kampane



**Obr. č. 28** Priebeh tlaku v bode P7 počas mernej kampane



**Obr. č. 29** Priebeh tlaku v bode P8 počas mernej kampane



### 3.5 Posudzované výpočtové stavy

V rámci diplomovej práce bolo vypočítaných a posúdených 6 rôznych záťažových stavov vodovodnej siete:

Súčasný stav v jesennom období - variant V1

Súčasný stav v letnom období - variant V2

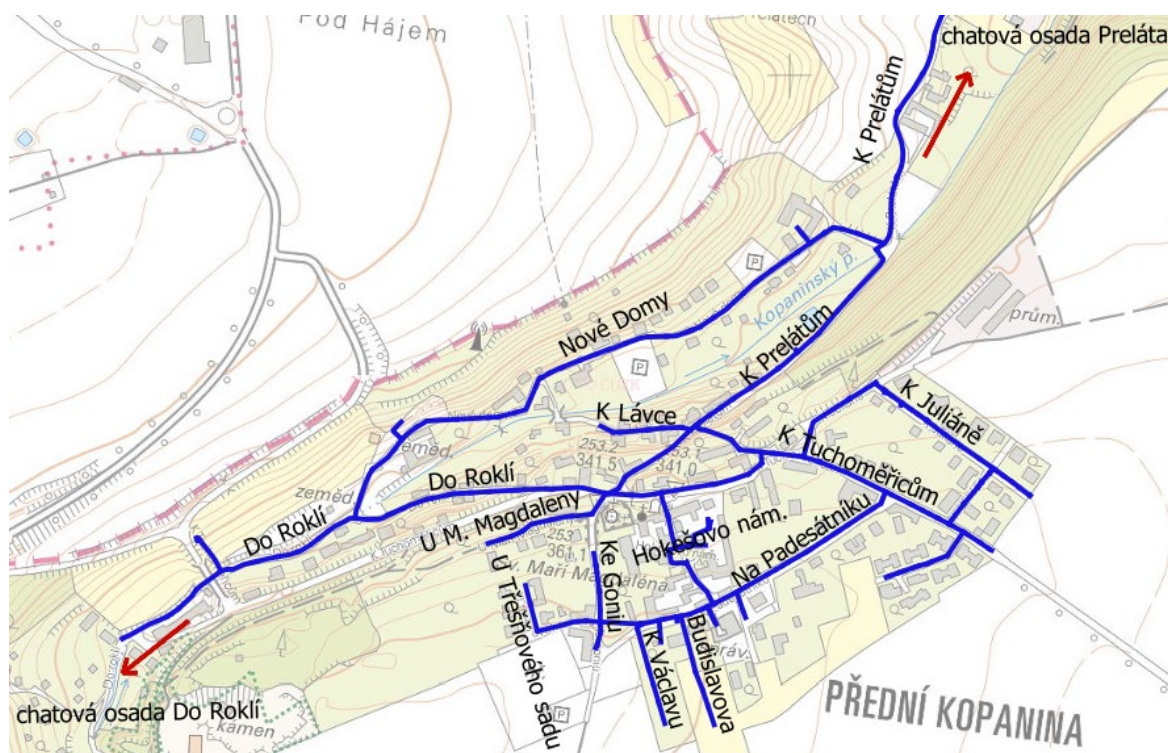
Výhľadový stav v jesennom období - variant V3

Výhľadový stav v letnom období - variant V4

Súčasný stav v letnom období so zaťažením požiarnym odberom - variant V5

Výhľadový stav v letnom období so zaťažením požiarnym odberom - variant V6

Pre varianty výpočtu boli vyhodnotené minimálne a maximálne tlakové pomery nad terénom, minimálne tlakové pomery nad výškou zástavby, rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti a doba zdržania vody vo vodovodnej sieti.



Obr. č. 30 Prehľad ulíc v mestskej časti Praha - Přední Kopanina

### 3.5.1 Súčasný stav v jesennom období

Pre súčasný stav na jeseň bola prevedená simulácia za obdobie od 14.10.2019 do 20.10.2019. Odbery pre jednotlivé pripojené objekty sa určili ako priemerná hodnota odberu za mesiace august, september a október z roku 2019. Jesenné obdobie bolo posudzované ako prvé z dôvodu, že pre toto obdobie boli k dispozícii dáta pre tvorbu kriviek skôr, ako pre letné obdobie.

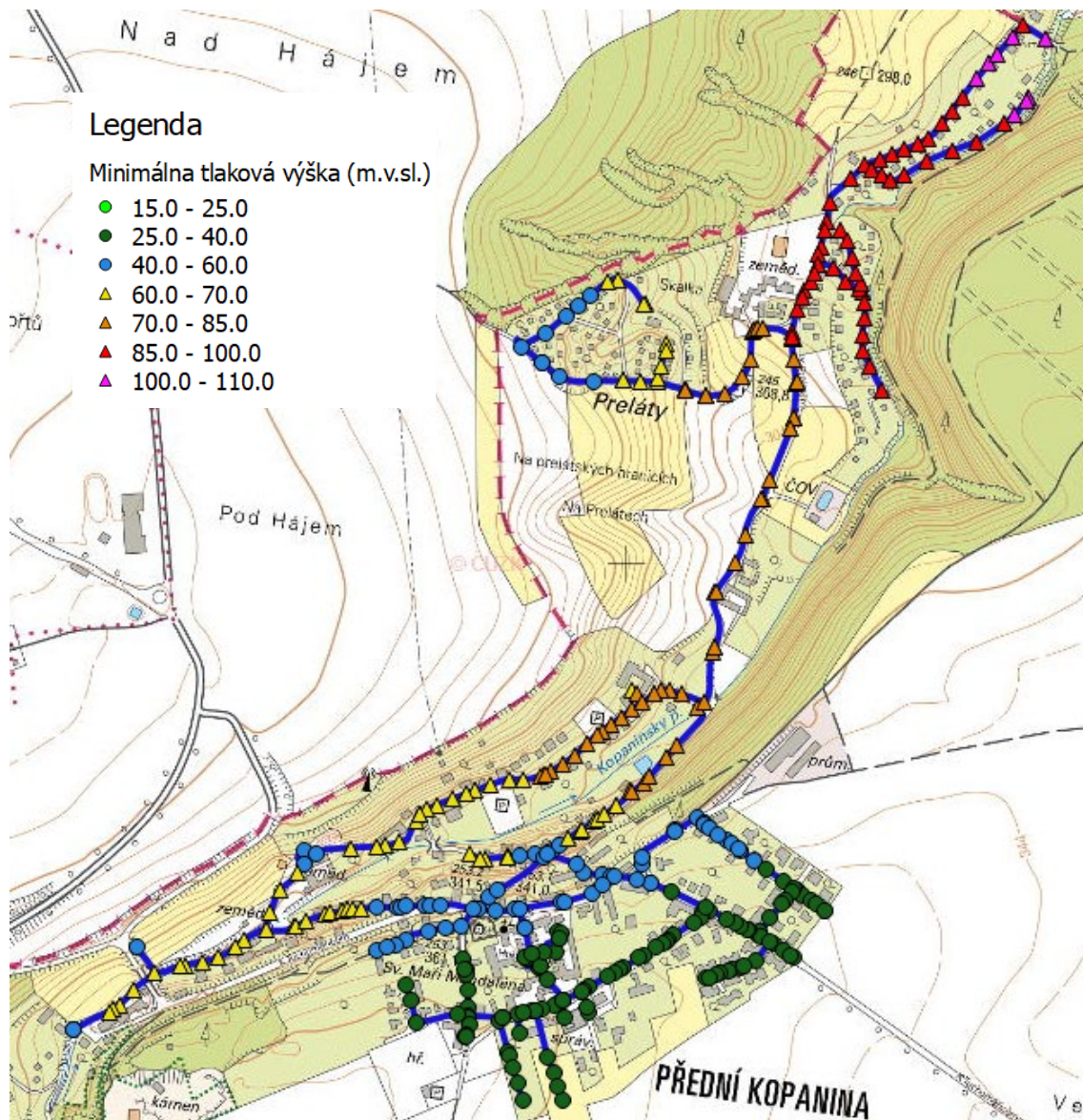
#### Tlakové pomery nad terénom

Pre posudzovanie tlaku vo vodovodnej sieti platí vyhláška č. 428/2001 Sb., ktorá určuje minimálne a maximálne hodnoty hydrodynamického pretlaku:

- maximálny pretlak je rovný 0,6 MPa, v odôvodnených prípadoch do 0,7 MPa
- minimálny pretlak je rovný 0,25 MPa, v odôvodnených prípadoch je možné ho znížiť na 0,15 MPa

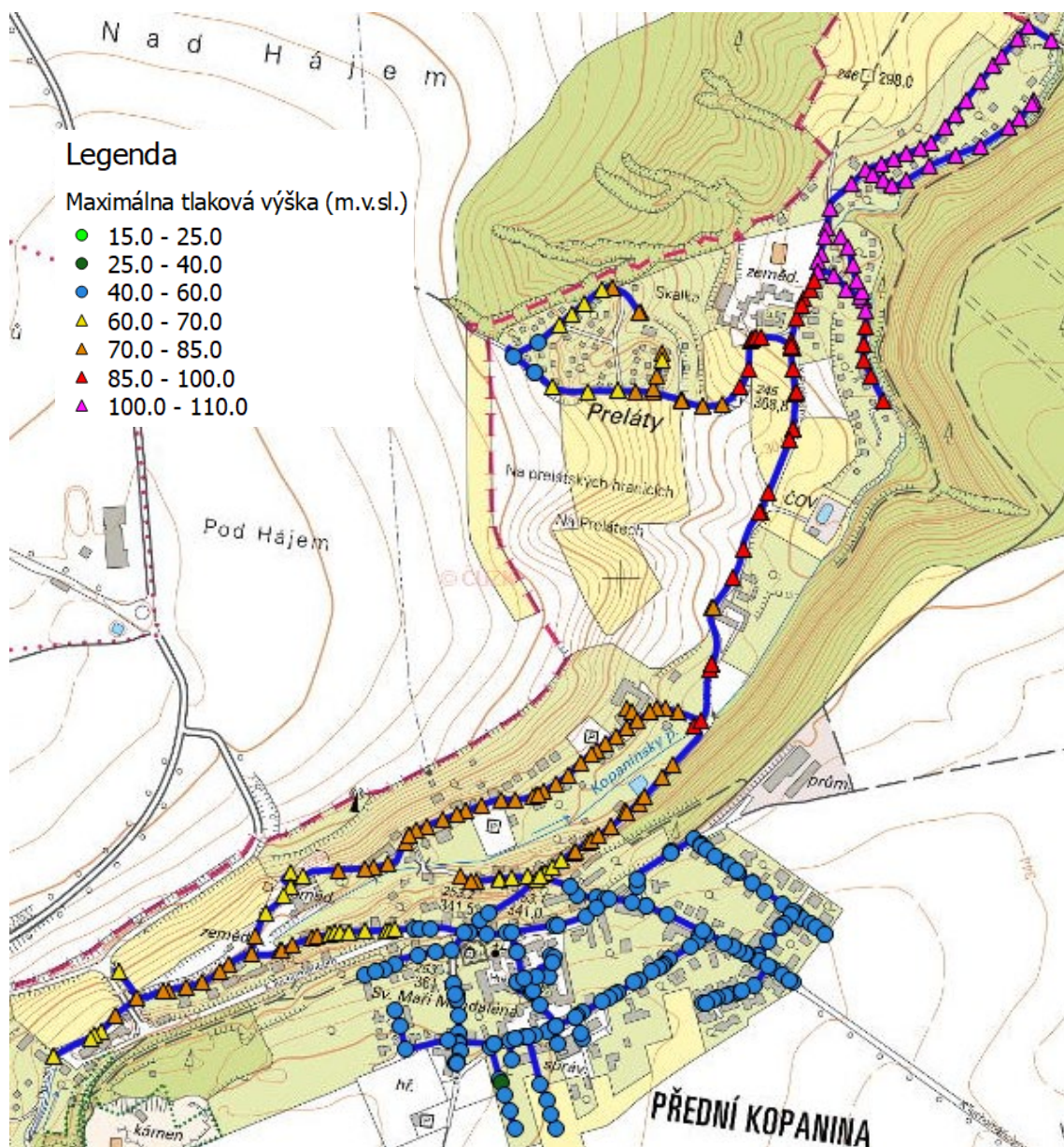
0,1 MPa  $\approx$  10 m vodného stĺpca (m v. stl.)

Minimálna tlaková výška sa v záujmovom území pohybuje od 31,7 m v. stl. do 100,7 m v. stl. Tlaky od 25 do 60 m v. stl. odpovedajúce povoleným hodnotám, ktoré stanovuje vyhláška, sa vyskytujú v celom centre mestskej časti a v najvyššie položenej časti chatovej oblasti Preláty. Vyššie, ale vzhľadom k maximálne dvojpodlažnej zástavbe stále vyhovujúce tlaky do 70 m v. stl. sú v ulici Do Roklí, časti ulice Nové Domy, K Lávce, K Prelátum a malej časti chatovej oblasti Preláty. V ostatných častiach obce sú tlakové pomery vysoké. Najvyššie tlaky až okolo 100 m v. stl. sú v nízko položenom údolí Kapaninského potoka, v najsevernejšej časti chatovej oblasti Preláty.



**Obr. č. 31 Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V1**

Maximálna tlaková výška, ktorá sa v lokalite vyskytuje pri najnižších odberoch, teda v noci, sa pohybuje v rozmedzí od 39,8 do 108,8 m v. stl. Vo všeobecnosti sa dá povedať, že maximálna tlaková výška je približne o 8 m v. stl. vyššia, ako minimálna tlaková výška. Platí, že vyhovujúce tlaky do 60 m v. stl. sú v takmer celom centre obce. Tlaky do 70 m v. stl. sa vyskytujú v častiach ulíc Do Roklí, Nové Domy, K Lávce a v západnej časti chatovej oblasti Preláty. Vo zvyšku siete, najmä v chatovej oblasti Preláty prevládajú vysoké tlakové pomery až do 110 m v. stl. V žiadnej časti siete tlak neklesá pod minimálnu povolenú hodnotu 25 resp. 15 m v. stl.



Obr. č. 32 Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V1

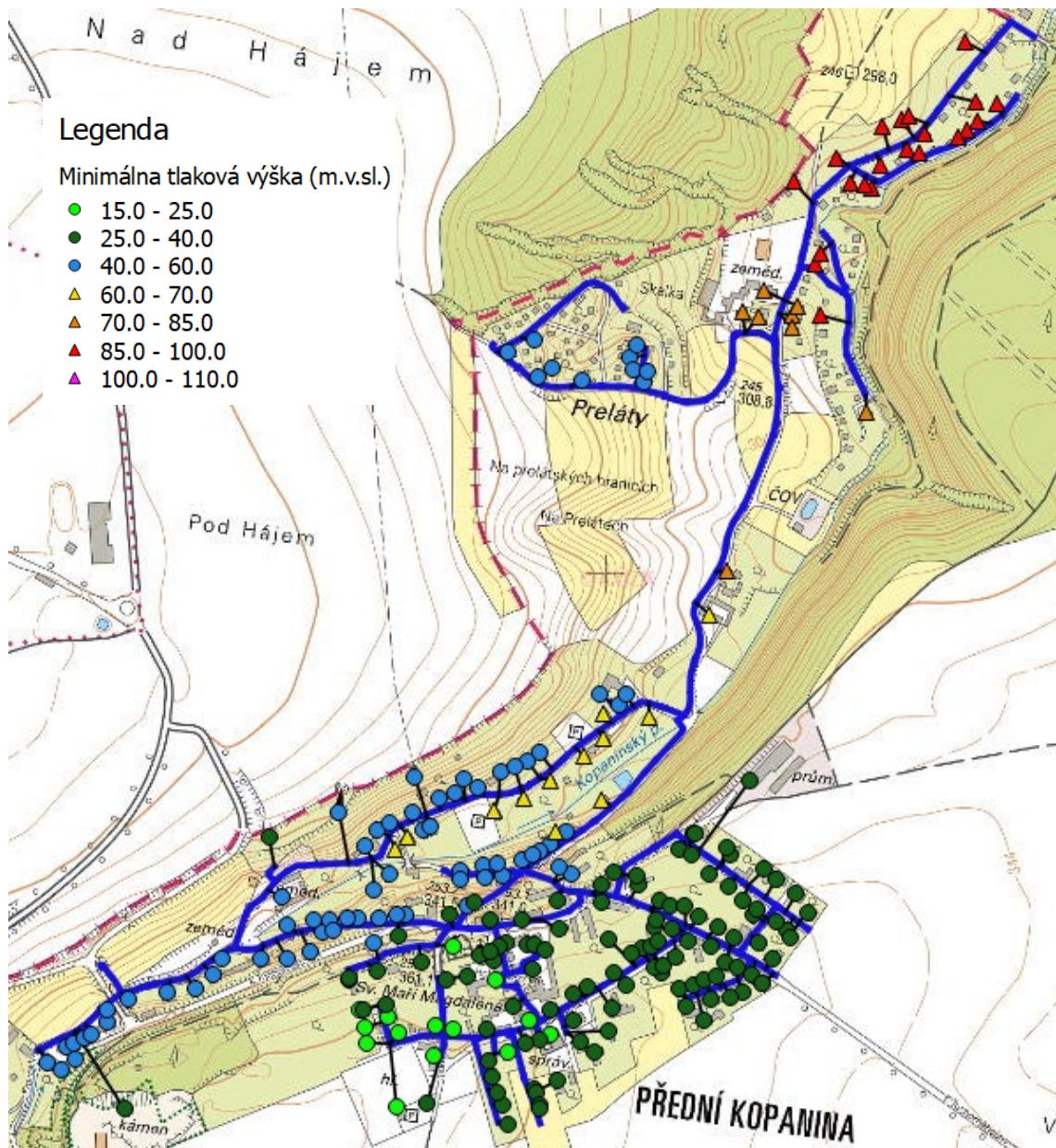
### Tlakové pomery nad zástavbou

Pre optimalizáciu tlakových pomerov je okrem tlaku nad terénom dôležitá tiež tlaková výška nad zástavbou, konkrétne minimálny požadovaný pretlak. V praxi sa za dostatočnú hodnotu tlaku nad zástavbou považuje hodnota 10 m v. stl., v ojedinelých prípadoch je možné ju znížiť na 5 m v. stl.

Do modelu boli informácie o výškach pripojených objektov doplnené z vrstvy Absolútne výšky budov z pražského geoportálu. Zo znalosti výšky pripojených

objektov, nadmorských výšok uzlov, ku ktorým sú objekty pripojené a tlaku v týchto uzloch siete bolo následne možné dopočítať tlak nad výškou zástavby.

Tlaková výška nad zástavbou je v rozmedzí od 21,3 do 96,1 m v. stl. Pre všetky objekty je teda dostatočná. Najnižšie hodnoty tlaku nad strechami do 25 m v. stl. sú v ulici U Třešňového sadu, Ke Goniu a v okolí Hokešova náměstí. Vysoké hodnoty tlaku nad 60 m v. stl. sú v časti ulice Nové Domy a v severovýchodnej časti chatovej oblasti Preláty, kde je momentálne pripojené len malé množstvo z existujúcich chát / rodinných domov. V ostatných častiach siete je tlak nad strechami v rozsahu 25 - 60 m v. stl.

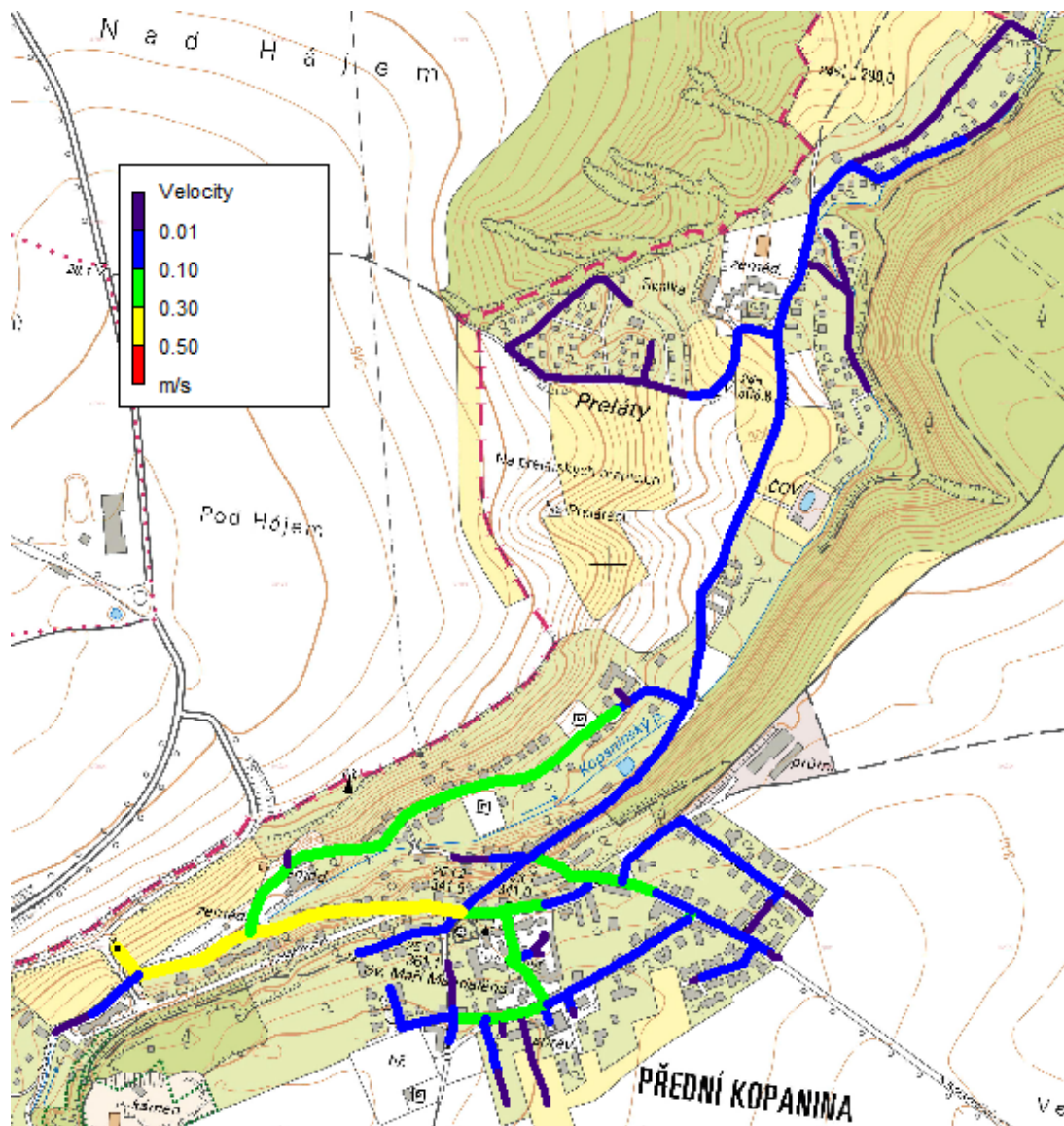


Obr. č. 33 Minimální tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V1

## Rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti

Rýchlosť prúdenia vody v potrubí by sa mala v ideálnom prípade pohybovať okolo 1 m/s. V záujmovej lokalite je rýchlosť prúdenia vody v sieti podstatne nižšia.

Hodnotené boli maximálne rýchlosti v potrubí. Najvyššia rýchlosť od 0,3 do 0,5 m/s sa vyskytuje v ulici Do Roklí v potrubí DN 160, ktoré privádza vodu do centra obce. O niečo nižšia rýchlosť prúdenia od 0,1 do 0,3 m/s je v uliciach Nové Domy, v častiach ulice K Tuchoměřicům, v okolí Hokešova náměstí a v časti ulice Na Padesátníku. Vo zvyšku siete je rýchlosť prúdenia nižšia ako 0,1 m/s. Najnižšie rýchlosti prúdenia pod 0,01 m/s sú hlavne v koncových úsekoch potrubí, napr. v uliciach K Lávce, Budislavova, K Václavu, Ke Goniu, časti ulice K Juliáně a v značnej časti chatovej oblasti Preláty.



Obr. č. 34 Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V1

Nízke rýchlosti v sieti sú spôsobené pomerne malým odberom mestskej časti, ktorý sa v priemere pohybuje okolo 1,5 l/s. Vzhľadom k tomuto odberu a prietoku v sieti sú dimenzie potrubí pomerne vysoké, čo spôsobuje nižšiu rýchlosť prúdenia vody.

Dimenzie potrubí sú ovplyvnené tiež tým, že vodovod slúži ako zdroj požiarnej vody, je teda potrebné, aby mal dostatočnú kapacitu a bol schopný dodať požadované množstvo vody pre hasenie požiaru. K vyšším rýchlostiam prúdenia by preto dochádzalo práve počas zvýšeného - požiarneho odberu.

### **Doba zdržania vody vo vodovodnej sieti**

Ďalším z výsledkov, ktoré je možné po simulácií v Epanete získať je doba zdržania vody vo vodovodnom systéme. Počas analýzy sa počíta doba zdržania vody v sieti pre každý uzol/potrubie. Pred začiatkom výpočtu je možné nastaviť v bode, z ktorého je sieť zásobovaná - rezervoár, alebo vodojem - počiatočnú kvalitu vody. Model následne simuluje distribúciu vody v systéme počas zvoleného časového úseku, v tomto prípade 1 týždeň.

Voda v blízkosti zdroja sa v potrubí vymení za kratšiu dobu, voda vo vzdialených častiach siete, prípadne v častiach s nízkymi odbermi, má oproti tomu vysokú dobu zdržania v sieti. V koncových častiach potrubia bez odberov rastie vek vody bez limitu po celú dobu simulácie.

V záujmovom území sa nachádza jeden zdroj vody, lokalita je zásobovaná z šachty v blízkosti ulice K Tuchoměřicům. Skôr ako sa voda dostane do tejto šachty dochádza k jej zdržaniu v nadradenom systéme zásobovania Hlavného mesta Prahy a v prívodnom potrubí DN 300. Doba zdržania je preto počítaná od posledného miesta v sieti s hygienickým zabezpečením, ktorým je vodojem Jesenice I.

Dobu zdržania, kým voda dotečie do mernej šachty je možné rozdeliť na 2 časti:

- Doba zdržania v nadradenom systéme Hlavného mesta Prahy, od vodojemu Jesenice I, po až po mernú šachtu na odbočke MŠ Na Padesátníku, vrátane zdržania vo vodojeme Kopanina. Z fungovania nadradeného systému vyplýva, že predpokladaná doba pre tento úsek je približne 87 hodín.
- Doba zdržania v prívodnom potrubí DN 300 z mernej šachty Na Padesátníku do mernej šachty K Tuchoměřicům. Pri dĺžke potrubia 1,8 km; pri priemernom prietoku 4 l/s a teda priemernej rýchlosti 0,06 m/s sa voda v tomto úseku zdrží približne 8,5 hodiny.

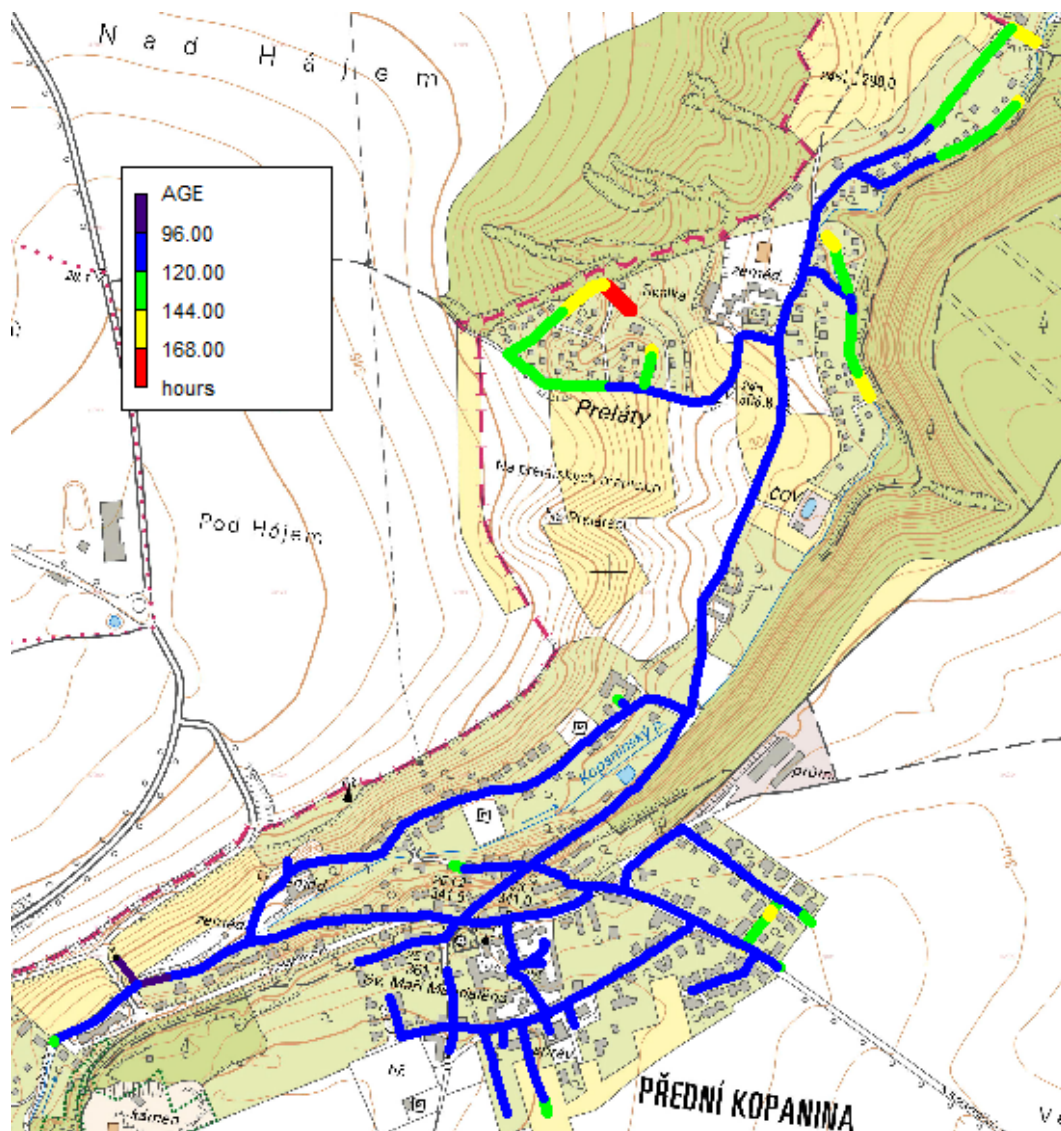
V mernej šachte na začiatku siete je teda predpokladaná doba zdržania vody  $87h + 8,5h = 95,5$  hodiny, čo sú približne 4 dni.

Po nastavení počiatkovej kvality na 95,5 hodiny je maximálna doba zdržania vody v sieti nasledovná:

V krátkej časti potrubia tesne za vstupnou šachtou je doba zdržania do 96 hodín - 4 dni.

V prevažnej časti siete, najmä v centre obce sa doba zdržania pohybuje do 120 hodín - 5 dní (modré úseky). Dlhšia doba zdržania do 6 až 7 dní - 144 až 168 hodín sa vyskytuje len v niekoľkých častiach siete, najmä v severnej časti v chatovej oblasti Preláty, kde je menší počet odberov, prípadne v koncových úsekoch potrubí v centre obce. Doba zdržania nad 7 dní - 168 hodín, ktorá je v mape znázornená červenou farbou, sa vyskytuje len v krátkom koncovom úseku potrubia chatovej oblasti Preláty.

Za dobrú kvalitu vody sa považuje doba zdržania do 5 dní. [29]



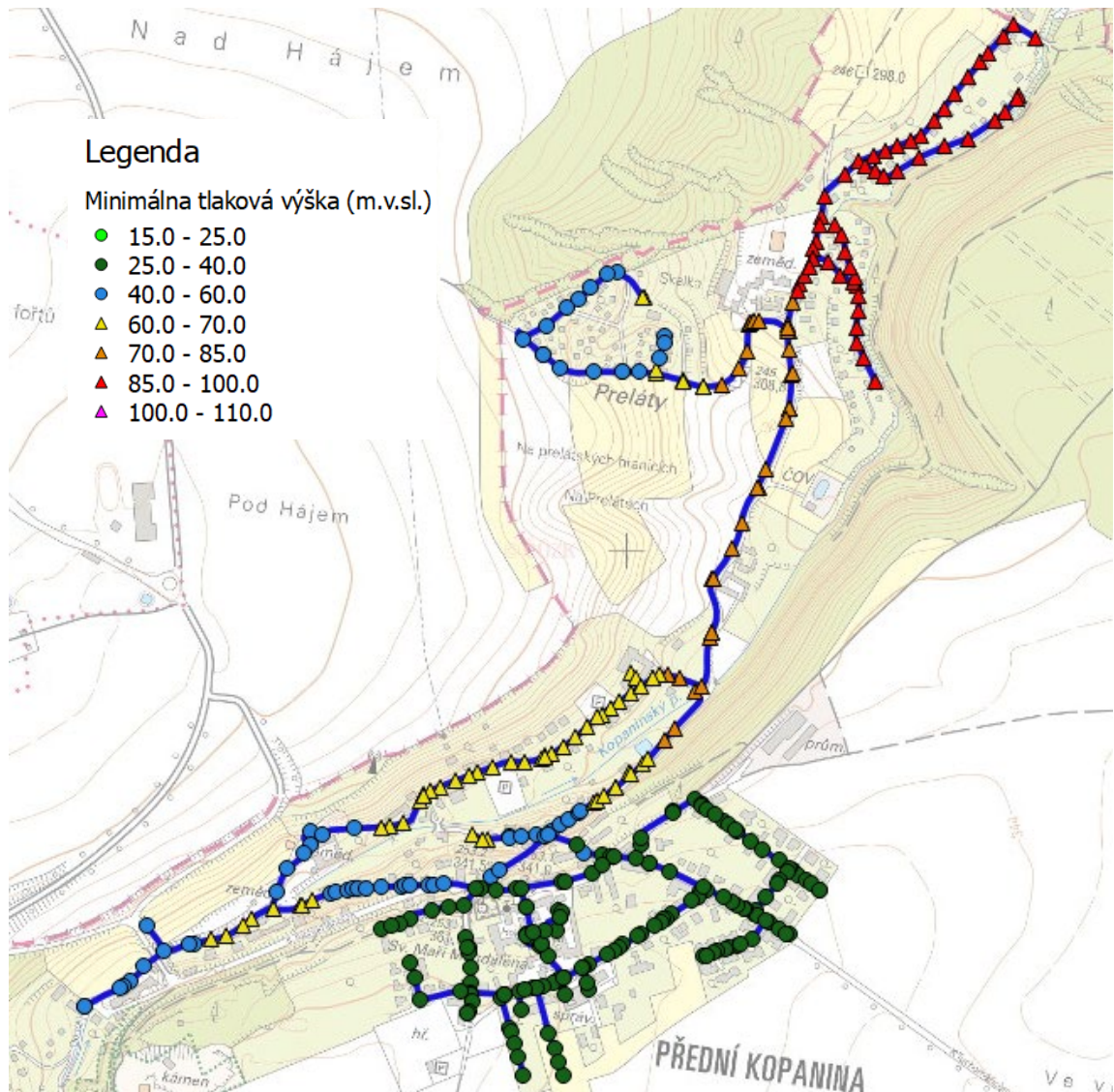
Obr. č. 35 Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V1



### 3.5.2 Súčasný stav v letnom období

Pre súčasný stav v lete bola zrealizovaná simulácia za obdobie od 14.6.2019 do 20.6.2019. Odbery pre jednotlivé pripojené objekty boli určené ako priemerná hodnota odberu za mesiace máj, jún a júl z roku 2019.

#### Tlakové pomery nad terénom

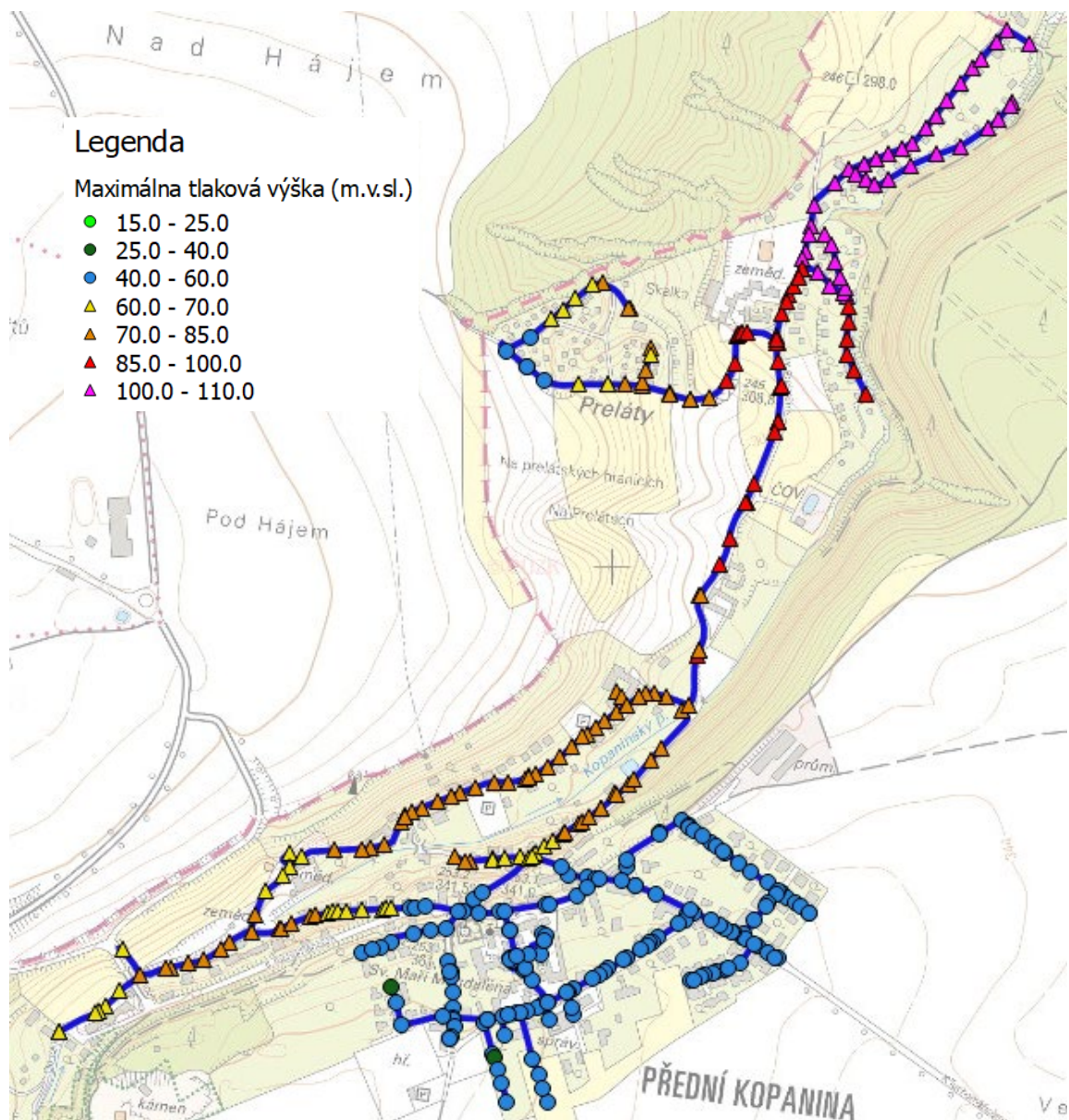


Obr. č. 36 Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V2

Minimálna tlaková výška nad terénom sa pre tento výpočtový variant pohybuje v rozsahu od 27,7 m v. stl. do 96,7 m v. stl. Pre všetky uzly v sieti je teda dodržaná minimálna povolená hodnota tlaku 25 (resp. 15) m v. stl. Nižší tlak do 40 m v. stl. je v takmer celom centre obce. Tlak do 60 m v. stl. je v častiach ulice Do Roklí, K Lávce, Nové Domy a v západnej časti chatovej oblasti Preláty. Vyšší tlak do 70 m v. stl. je

najmä v ulici Nové Domy. V ostatných častiach - v ulici K Prelátům a severovýchodnej časti osady Preláty - je tlak veľmi vysoký až do 100 m v. stl.

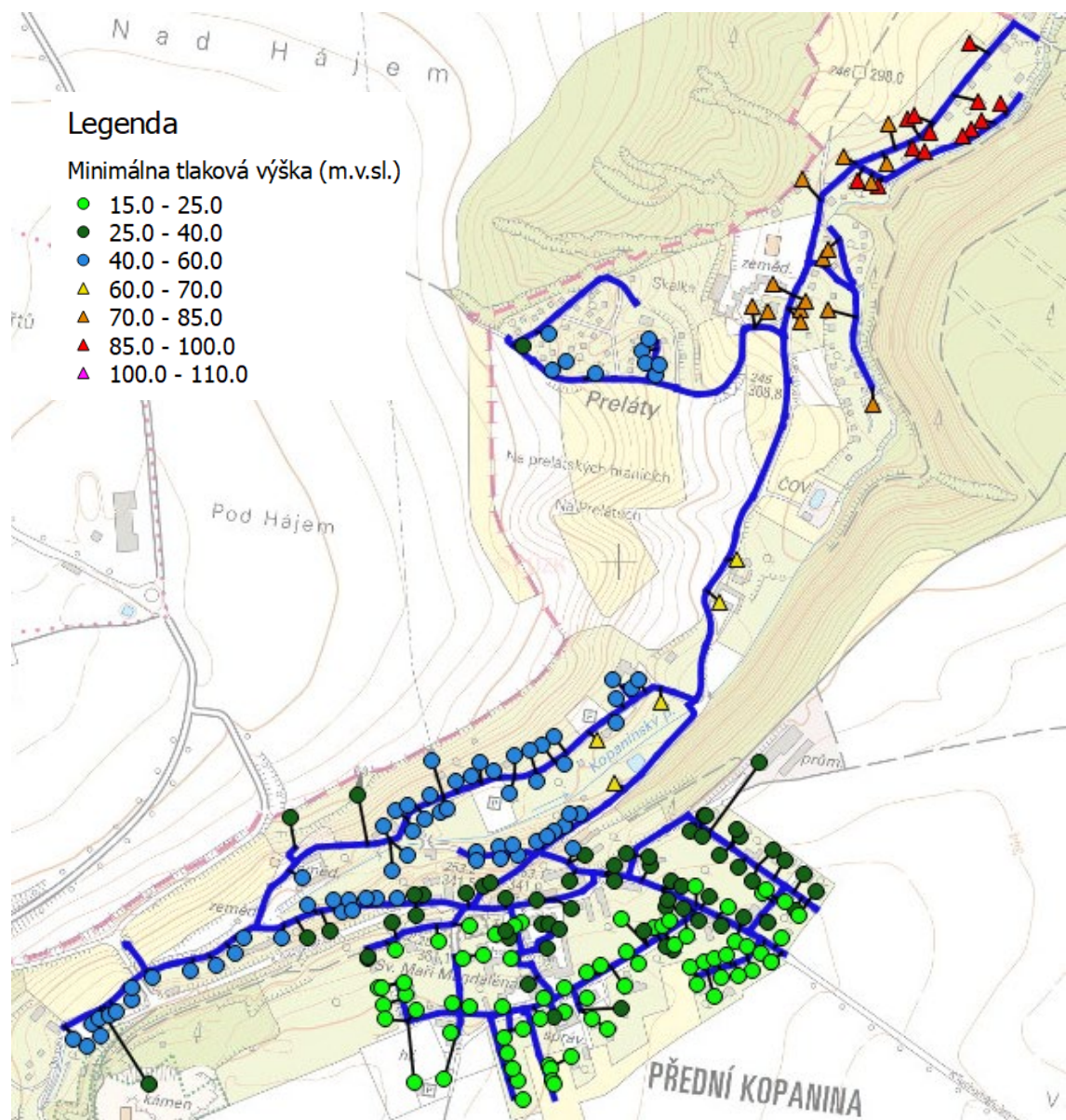
Tlaková výška nad terénom v maxime dosahuje hodnoty 39,5 - 108,5 m v. stl. Pre väčšinu odberných miest je približne o 11,8 m vyššia, ako minimálna tlaková výška. Tlaky do 60 m v. stl. evidujeme v centre obce a najvyššie položenej časti chatovej oblasti Preláty. V uliciach Do Roklí, K Lávce, Nové Domy, K Prelátům a západnej časti chatovej oblasti Preláty sa striedajú úseky s tlakom 60 - 70 m v. stl. a úseky s tlakom 70 - 85 m v. stl. Najvyšší tlak do 110 m v. stl. je v nízko položenom údolí Kopaninského potoka.



Obr. č. 37 Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V2

## Tlakové pomery nad zástavbou

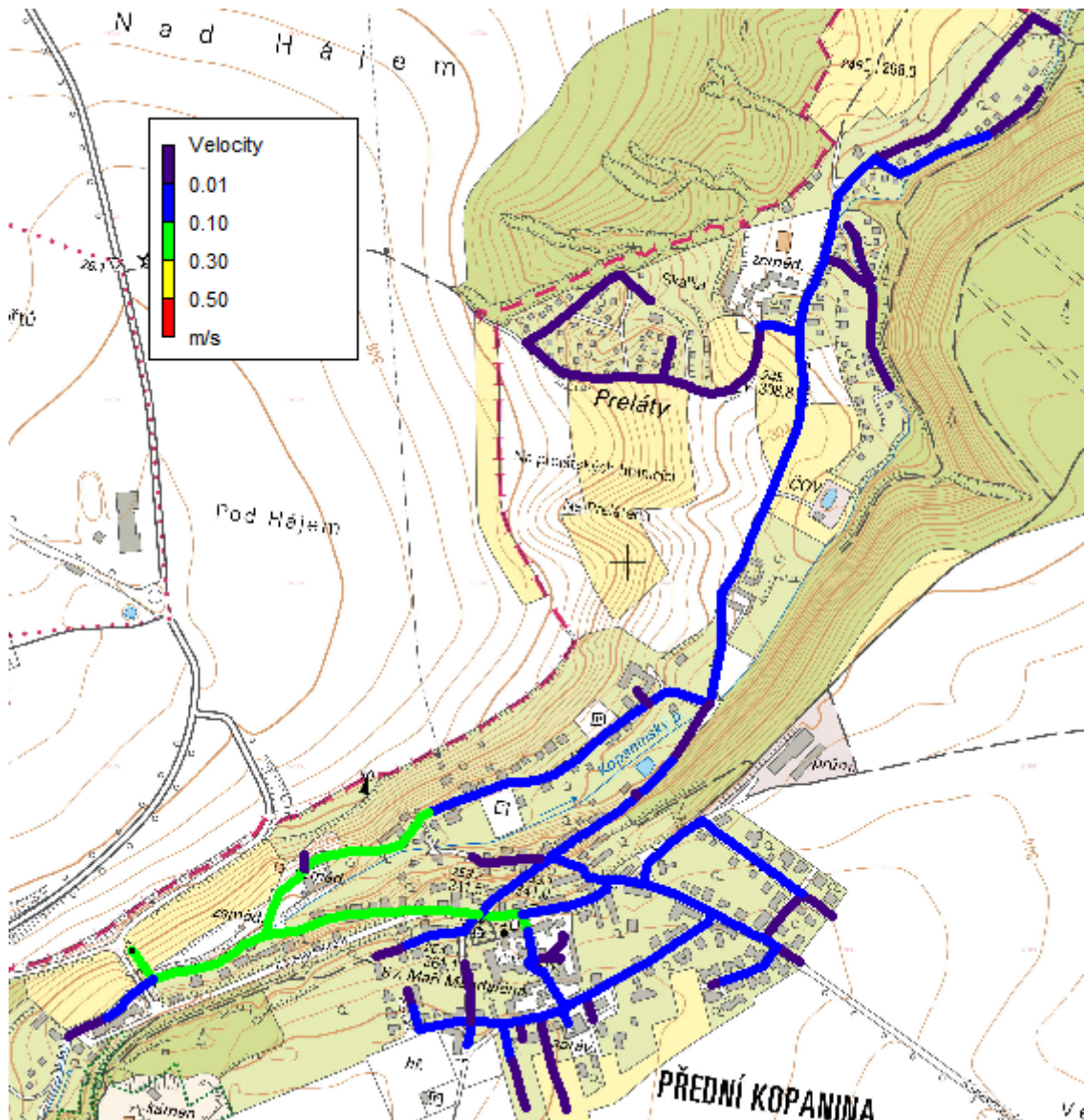
Pre všetky pripojené objekty je tlaková výška nad strechami postačujúca, vyššia než 15 m v. stl. Koliše v rozsahu od 17,4 do 92,1 m v. stl. Hodnoty 15 - 25 m v. stl. sa vyskytujú v uliciach Budislavova, K Václavu, Ke Goniu, U Třešňového sadu, Na Padesátníku a čiastočne v okolí Hokešova náměstí a ulici U Maří Magdaleny. V rozmedzí od 25 do 40 m v. stl. sa pohybujú tlakové pomery nad zástavbou v uliciach K Tuchoměřicům, K Juliáně a v niekoľkých uzloch v uliciach U Maří Magdaleny a Do Roklí. V západnej časti chatovej osady Preláty, ulici Nové Domy, K Lávce, Do Roklí a K Prelátům je tlak 40 - 60 m v. stl. Vo zvyšku siete je tlak nad zástavbou vyšší než 60 m v. stl.



Obr. č. 38 Minimální tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V2

## Rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti

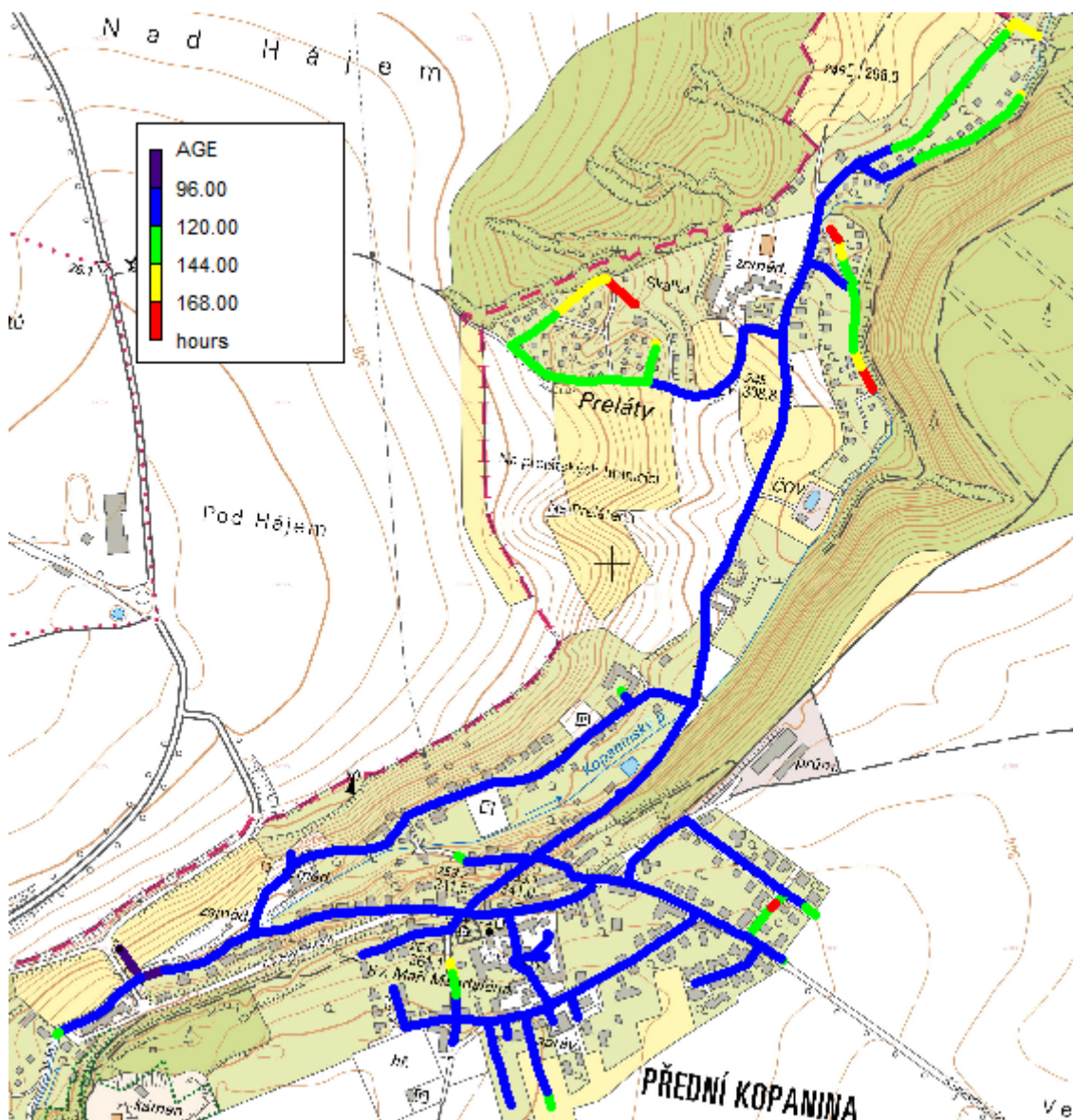
Rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti je nízka, nepresahuje 0,3 m/s. Najrýchlejšie od 0,1 do 0,3 m/s voda prúdi na začiatku siete v ulici Do Roklí a prvej polovici ulice Nové Domy. V ostatných častiach siete prevažuje rýchlosť 0,01 - 0,10 m/s. Rýchlosť nižšia ako 0,01 m/s je typická predovšetkým pre koncové rady s nízkymi odbermi - napr. v uliciach Ke Goniu, Budislavova, K Václavu, K Lávce, K Juliáně, tiež pre veľkú časť chatovej oblasti Preláty, kde je na vodovodnú sieť pripojené len malé množstvo odberateľov.



Obr. č. 39 Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti- variant V2

## Doba zdržania vody vo vodovodnej sieti

Rovnako ako v predchádzajúcom prípade, aj v tomto variante je počítaná doba zdržania vody od posledného miesta s hygienickým zabezpečením, ktorým je vodojem Jesenice I. Pre rezervoár simulujúci mernú šachtu K Tuchoměřicům bola nastavená počiatková doba zdržania vody 95,5 hodiny. Vyhodnotená je maximálna doba zdržania vody v sieti. Len v krátkom úseku, tesne za mernou šachtou, sa doba zdržania vody v sieti pohybuje do 4 dní - 96 hodín. V takmer celej sieti prevláda doba zdržania do 5 dní - 120 hodín. Nad 6 dní sa voda v sieti zdrží len v niekoľkých koncových úsekoch vodovodných radov, vo východnej časti ulice K Juliáně a v chatovej oblasti Preláty.

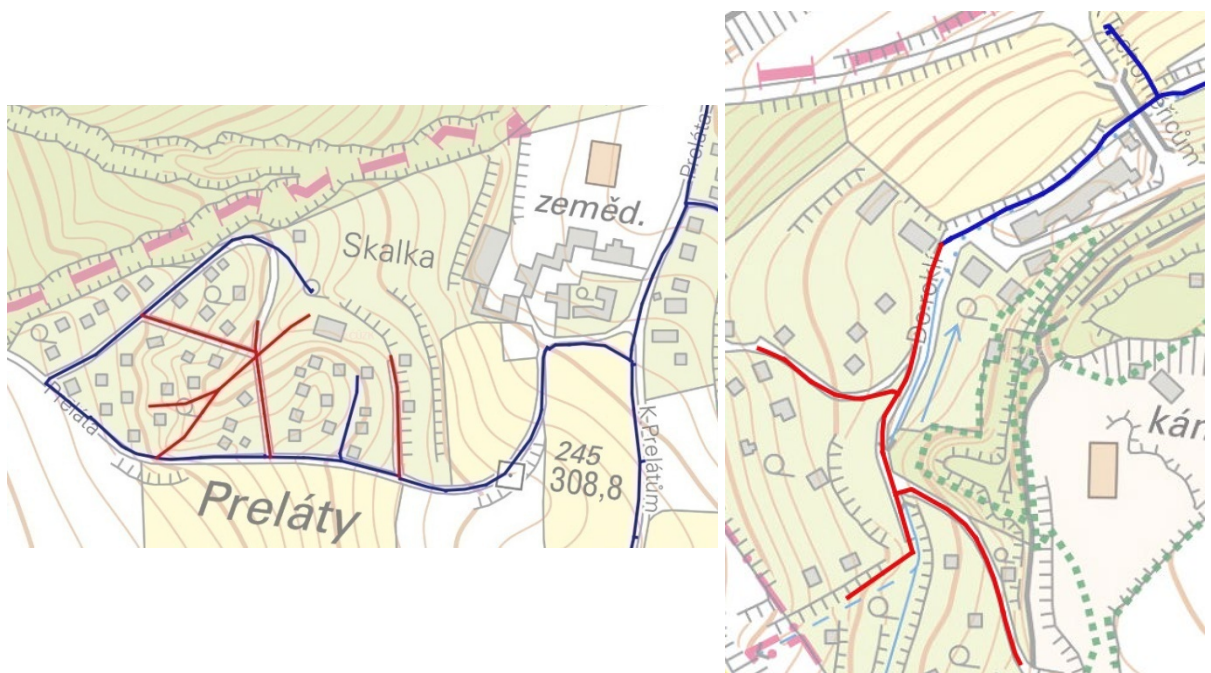


Obr. č. 40 Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V2

### 3.5.3 Výhľadový stav v jesennom období

Základom pre vytvorenie modelu výhľadového stavu v jesennom období bol súčasný stav v jesennom období - variant V1. Krivka kolísania hladiny rezervoáru, krivka nerovnomernosti odberov, hodnoty únikov vody pre jednotlivé uzly ako aj hodnoty odberov pre súčasné objekty sú preto totožné s variantom V1. Do modelu sú pridané odbery novo pripojených objektov, ich rozmiestnenie je znázornené na obrázku č.17. Výška odberu bola každému objektu priradená podľa tabuľky č.3.

Vo všetkých výhľadových stavoch sa okrem novo pripojených objektov nachádzajú aj nové, plánované úseky vodovodného potrubia. Konkrétne sa nové časti vodovodu nachádzajú v západnej časti chatovej osady Preláty a v chatovej oblasti Do Roklí.

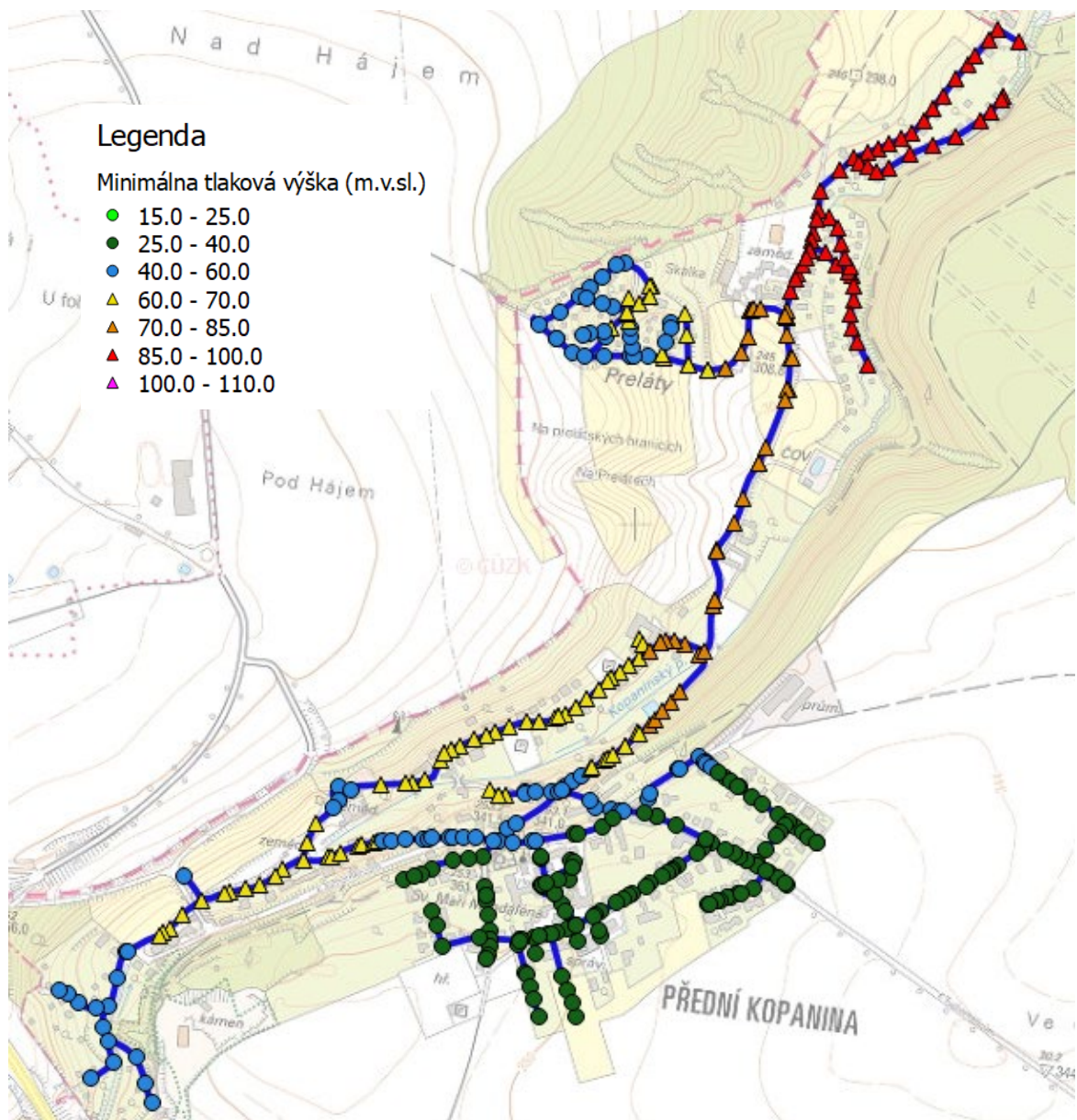


**Obr. č. 41 Nové úseky vodovodných radov doplnené do výhľadových stavov**

Na obrázku č. 41 sú nové úseky vodovodných radov znázornené červenou farbou. Všetky nové časti potrubia majú priemer DN 110, použitý materiál je polyetylén. Pre všetky úseky potrubia bola zvolená drsnosť 0,015. Trasy potrubí a umiestnenie uzlov boli prevzaté zo štúdie Vodovod v mestskej časti Praha - Přední Kopanina chatová oblasť Preláty a z výkresu Celková situácia Přední Kopanina - Pod silnicí vodovod. Výšky uzlov boli určené pomocou vrstvy Digitálny model povrchu. Predpokladaná hĺbka uloženia potrubí je 1,2 m pod povrchom. Výšky odberných miest boli doplnené z vrstvy Digitálny model terénu, výška zástavby z vrstvy Absolútne výšky budov. Pri plánovaných objektoch, u ktorých nebolo možné určiť výšku z vrstvy Absolútne výšky budov, sa predpokladá výška 3 m na 1 nadzemné podlažie.

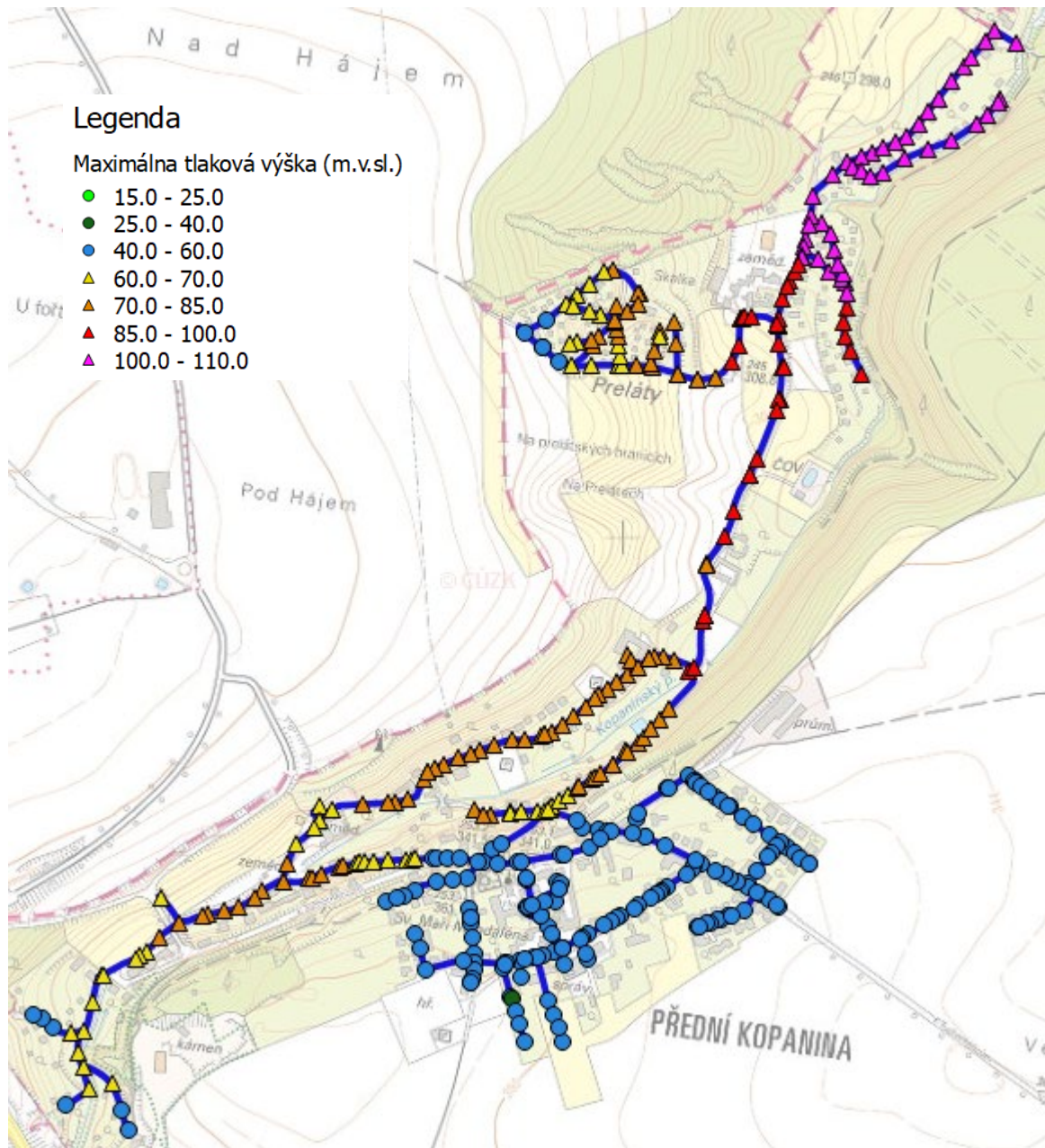
## Tlakové pomery nad terénom

Minimálne tlakové pomery nad terénom sú vo výhľadovom stave podobné ako v súčasnom stave pre jesenné obdobie. Minimálna tlaková výška nad terénom sa v centre obce oproti pôvodnému stavu znížila približne o 1,4 - 2,1 m v. stl. V ulici Nové Domy sa tlak znížil o 0,5 - 1,7 m v. stl. Tlak v novo pripojenej záhradkárskej osade Do Roklí má hodnoty od 46,7 do 59,8 m v. stl. Najvýraznejší pokles tlaku nastal v chatovej oblasti Preláty, kde po pripojení veľkého množstva nových objektov klesol tlak o 3,5 - 4 m v. stl. V novovybudovaných úsekoch potrubia v chatovej osade Preláty je tlak v rozmedzí od 50,0 do 66,0 m v. stl.



Obr. č. 42 Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V3

Maximálna tlaková výška nad terénom, ku ktorej dochádza v noci, pri najnižších odberoch, je takmer totožná ako v súčasnom stave - variante V1. V celej vodovodnej sieti je pokles tlaku oproti súčasnému stavu len o 0 - 0,10 m v. stl. V novo pripojenej oblasti Do Roklí je maximálna tlaková výška v rozmedzí od 54,9 do 67,9 m v. stl. V novo pripojených úsekoch potrubia, v chatovej osade Preláty, dosahuje tlak hodnoty 61,9 - 77,8 m v. stl.



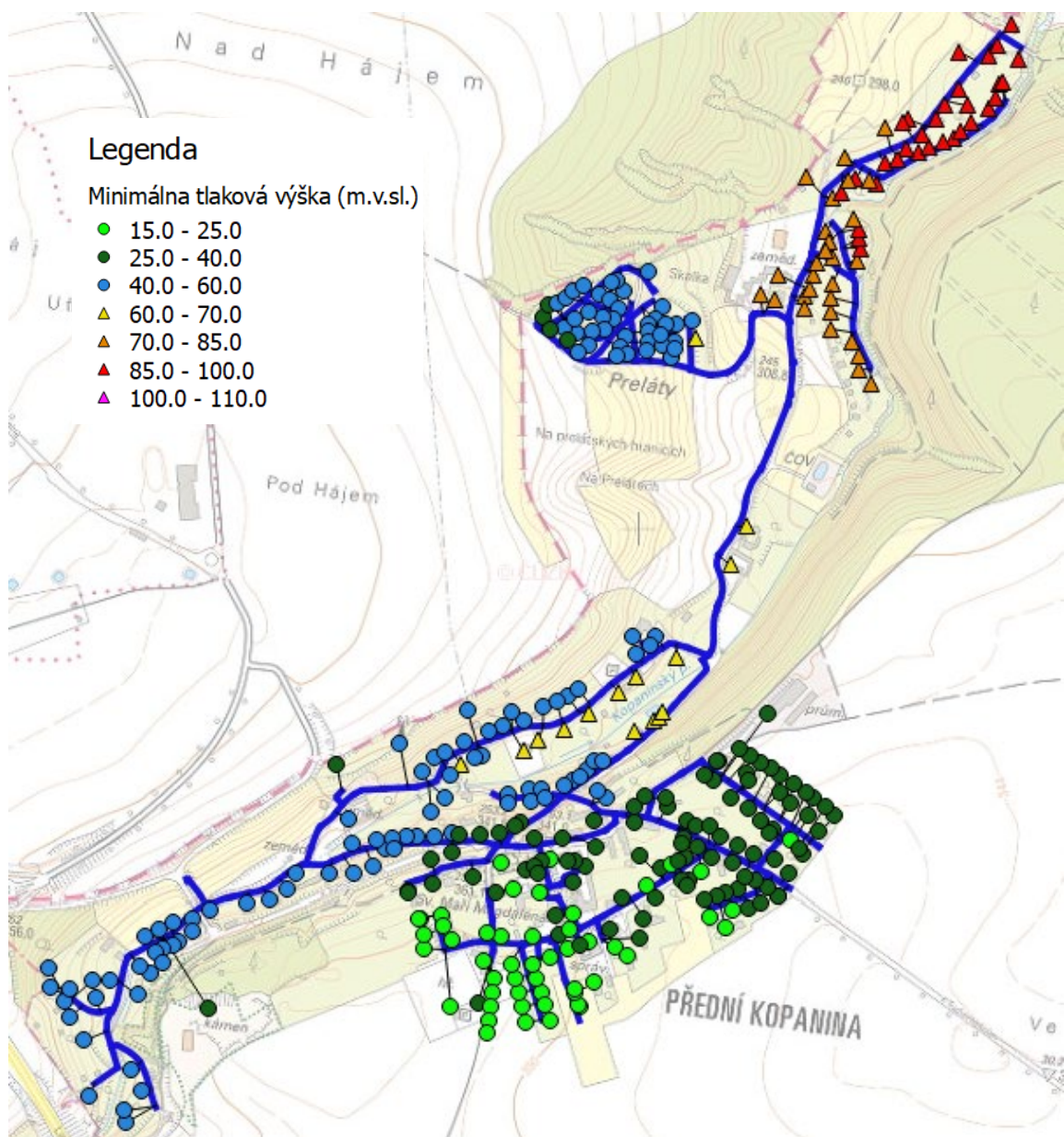
**Obr. č. 43 Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V3**



## Tlakové pomery nad zástavbou

Minimálna tlaková výška nad strechami pre výhľadový stav je v rozsahu od 19,3 do 92,7 m v. stl. Oproti variantu V1 dôjde v centre obce k zníženiu tlaku o 0,6 až 2,1 m v. stl. V chatovej oblasti Do Roklí sa tlak pohybuje od 41,9 do 51,2 m v. stl. V západnej časti chatovej osady Preláty dosahuje tlaková výška hodnoty 37,4 až 61,5 m v. stl. Vysoký tlak je v severovýchodnej časti osady Preláty - 73,0 až 92,7 m v. stl. Novo pripojené domy v okolí ulice Ke Goniu patria k zástavbe s najnižším tlakom nad strechami - 21,8 až 23,4 m v. stl.

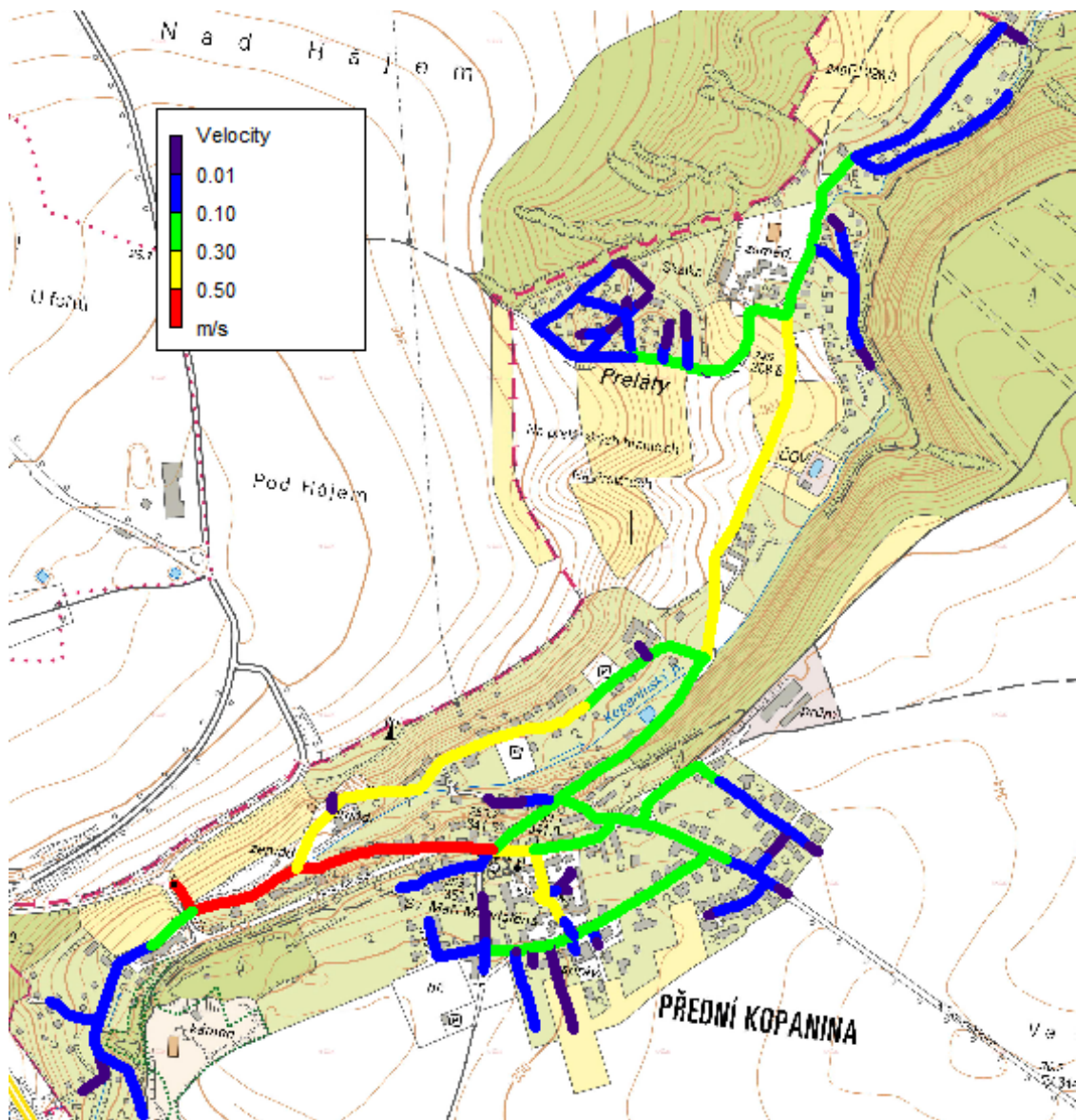
Hodnota tlaku nad strechami novo pripojených rodinných domov, východne od ulice K Juliáně, sa pohybuje v rozsahu 28,9 - 32,4 m v. stl.



Obr. č. 44 Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V3

## Rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti

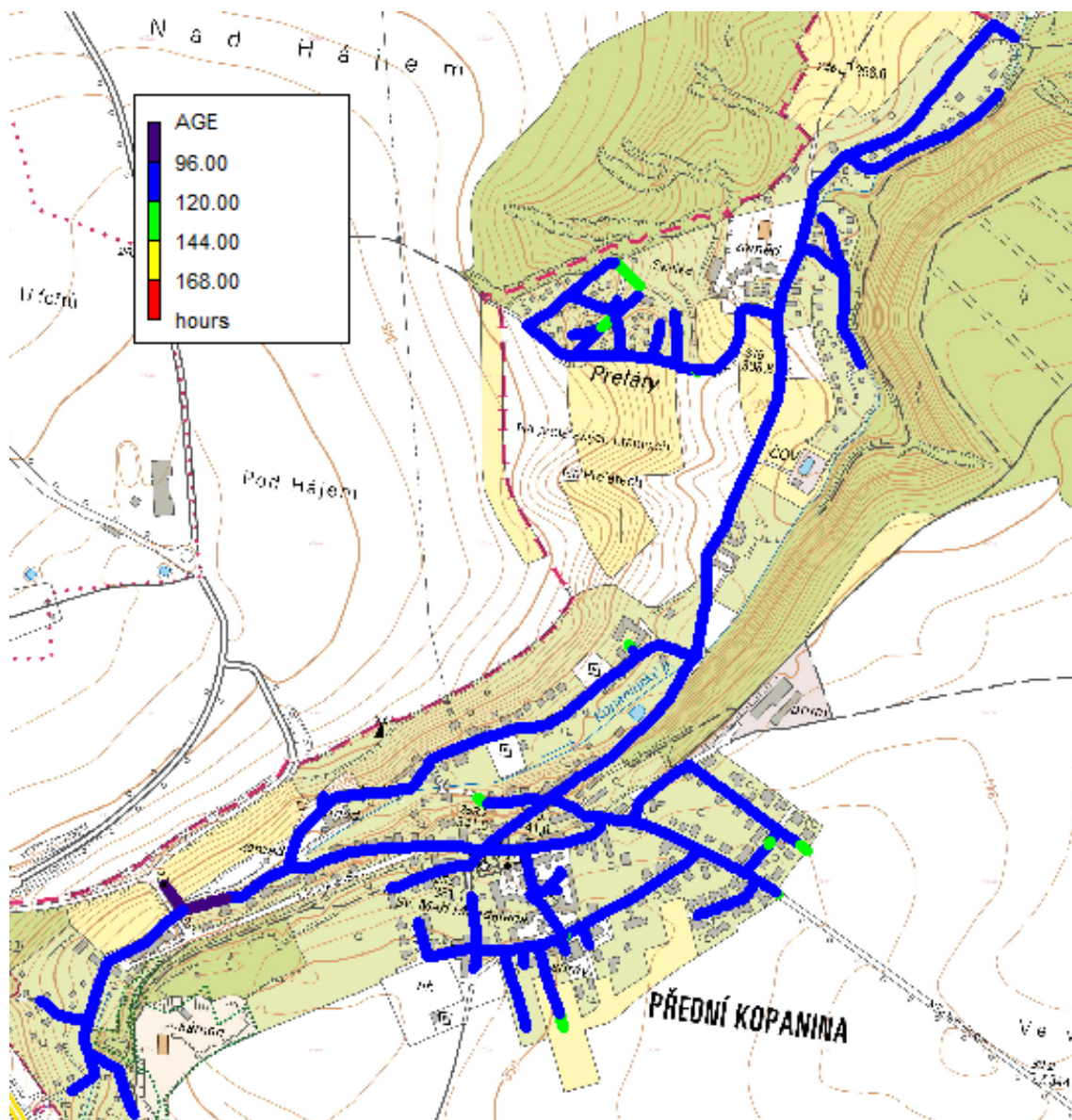
Pripojenie nových odberateľov k vodovodnej sieti má pozitívny vplyv na rýchlosť prúdenia vody v systéme. Pre variant V3 sa maximálna rýchlosť prúdenia na začiatku siete zvýši z pôvodných 0,49 m/s vo variante V1 na 1,02 m/s. Rýchlosť prúdenia nad 0,5 m/s je v celej ulici Do Roklí. V rozmedzí od 0,3 do 0,5 m/s sa rýchlosť pohybuje v časti ulice Nové Domy, K Prelátům a v okolí Hokešova náměstí. K zlepšeniu prúdenia dôjde tiež v chatovej oblasti Preláty, kde sa rýchlosť prúdenia zvýši o 0,01 až 0,20 m/s a úseky s rýchlosťou prúdenia pod 0,01 m/s sa obmedzia na krátke úseky koncových radov. V novo pripojenej chatovej oblasti Do Roklí prevažuje rýchlosť prúdenia 0,01 - 0,10 m/s.



Obr. č. 45 Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V3

## Doba zdržania vody vo vodovodnej sieti

Počiatočná doba zdržania vody v mernej šachte na začiatku siete je opäť 95,5 hodiny. Maximálna doba zdržania do 4 dní je v krátkom úseku potrubia v ulici Do Roklí. Celá vodovodná sieť, s výnimkou 7 krátkych úsekov, má maximálnu dobu zdržania do 120 hodín - 5 dní, čo je považované za dobrú kvalitu vody. Priaznivý vplyv nových odberov sa prejaví hlavne v chatovej oblasti Preláty, kde doba zdržania klesne v rôznych častiach o 5 až 41 hodín.



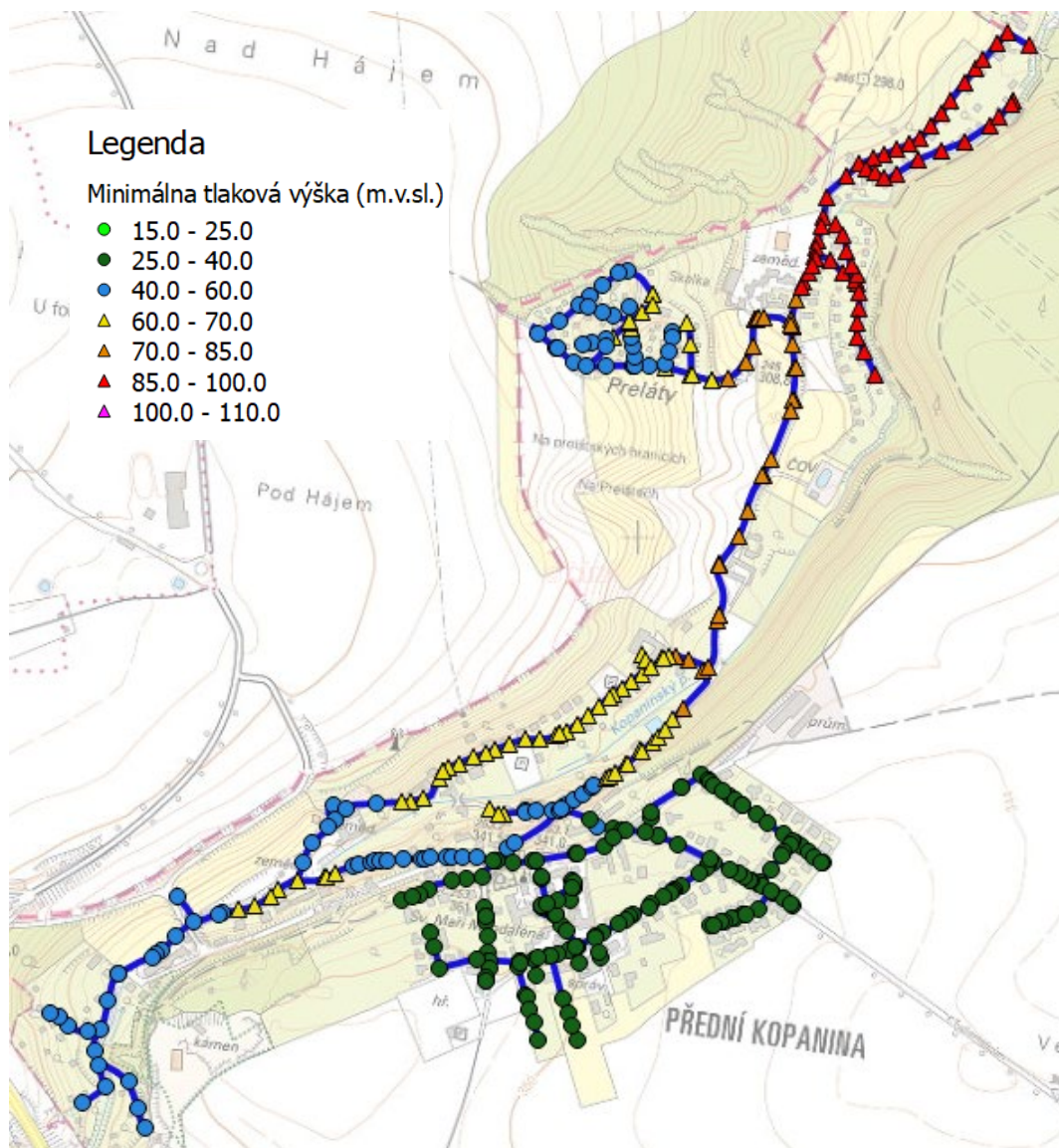
Obr. č. 46 Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V3

### 3.5.4 Výhl'adový stav v letnom období

Model výhl'adového stavu v letnom období vychádza z modelu súčasného stavu v letnom období - výpočtovej varianty V2. Zachovaná je rovnaká krivka nerovnomernosti odberov, krivka kolísania hladiny rezervoáru, úniky vody priradené uzlom a hodnoty odberov pre aktuálne pripojené objekty vypočítané ako priemer odberov za mesiace máj, jún a júl z roku 2019.

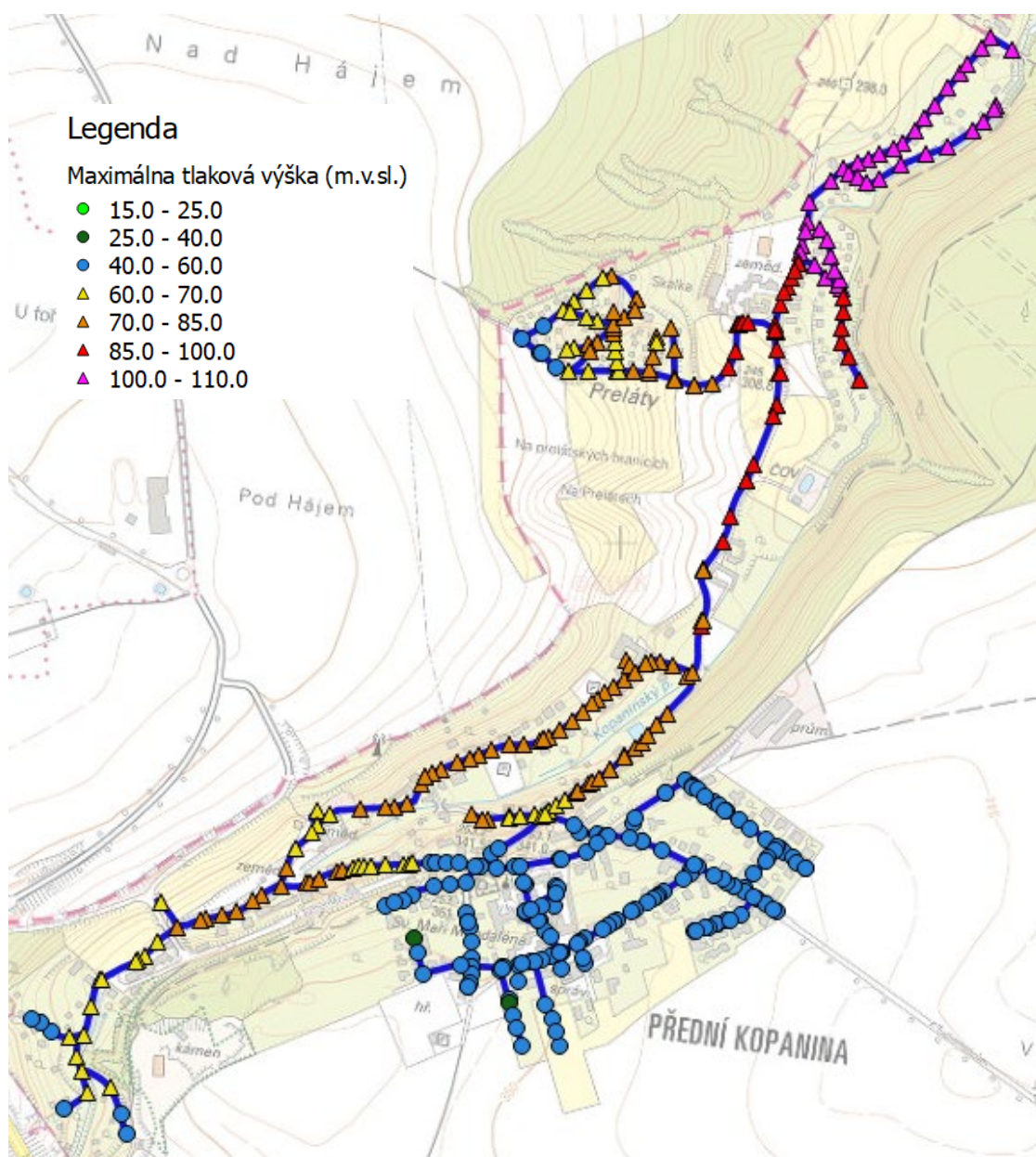
Do modelu sú pridané úseky plánovaného vodovodu v chatovej osade Do Roklí a Preláty s parametrami bližšie popísanými v kapitole 3.5.3. Nové odbery pripojené do výhl'adového stavu sú popísané v tabuľke č.3. Rozmiestnenie nových odberov v záujmovom území je graficky znázornené na obrázku č.17.

#### Tlakové pomery nad terénom



Obr. č. 47 Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V4

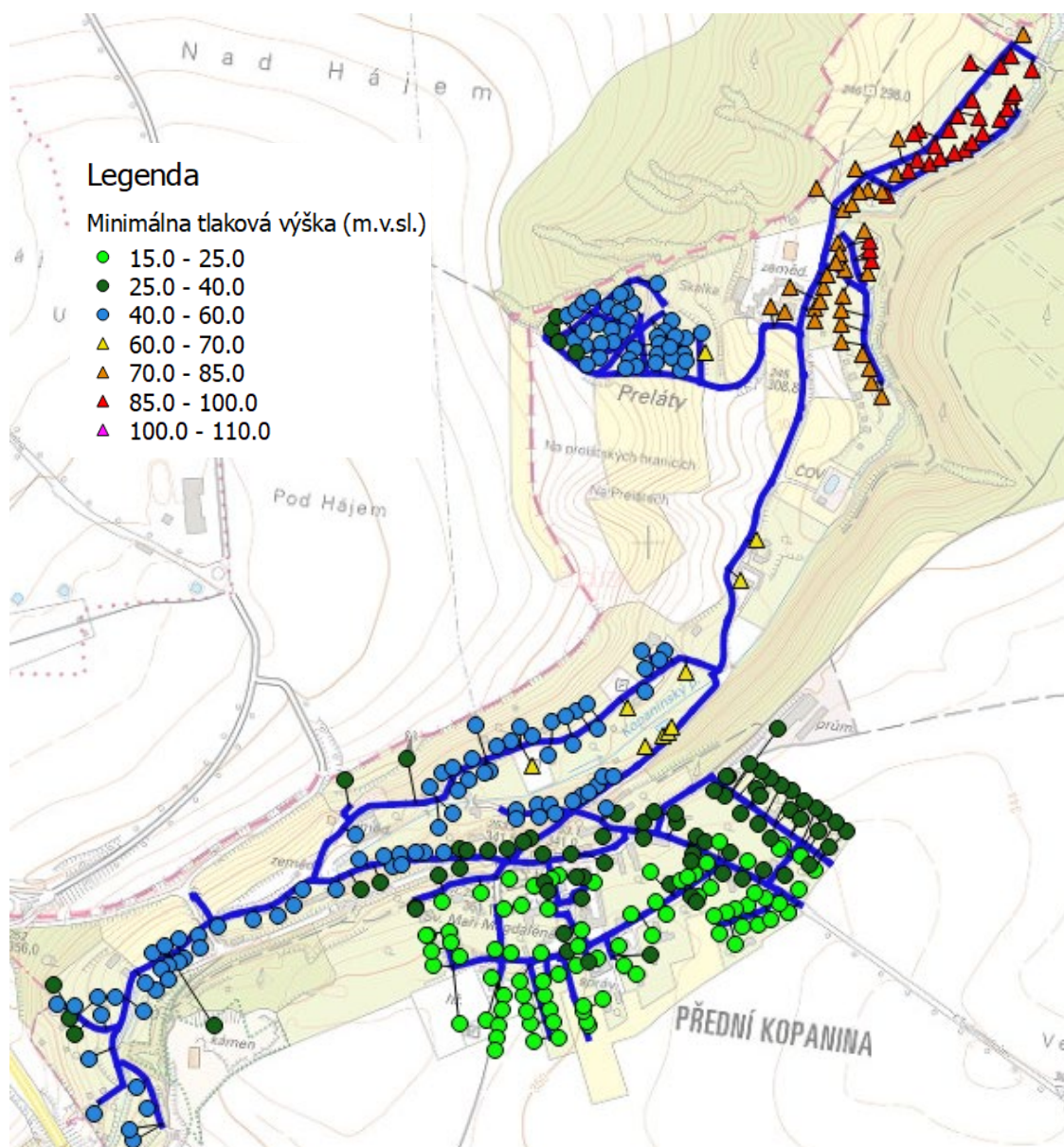
Minimálna tlaková výška nad terénom je v rozmedzí 27,5 - 96,4 m v. stl. V novo pripojenej osade Do Roklí dosahuje tlak hodnoty 42,7 - 54,7 m v. stl. V novo pripojenej časti, v osade Preláty, je min. tlaková výška 49,5 - 65,4 m v. stl. V porovnaní s pôvodným stavom - variantom V2, poklesla minimálna tlaková výška v centre obce o 0,1 až 0,2 m v. stl. Pokles tlaku v chatovej osade Preláty je v rozmedzí 0,3 - 0,4 m v. stl. Vo všetkých uzloch vodovodnej siete je dodržaná minimálna požadovaná tlaková výška - 15 m v. stl. V mnohých uzloch - prevažne v severovýchodnej časti osady Preláty, ulici Nové Domy a K Prelátům je prekročený maximálny povolený tlak 70 m. v. stl.



Obr. č. 48 Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V4

Maximálna tlaková výška nad terénom pre tento variant dosahuje hodnôt 39,5 - 108,5 m v. stl. Vyhovujúci tlak do 60 resp. 70 m v. stl. je v takmer celom centre obce, v chatovej oblasti Do Roklí a vyššie položenej - západnej časti chatovej osady Preláty. Vysoký tlak nad 70 m v. stl. je v ulici Nové Domy, K Prelátům a väčšej časti osady Preláty. Tlak v novo pripojenej časti - v osade Do Roklí, dosahuje hodnoty 54,5 - 66,5 m. v. stl. Tlak v plánovaných vodovodných radoch v oblasti Preláty je 61,6 - 77,6 m v. stl. Rozdiel v maximálnej tlakovej výške oproti pôvodnému stavu - variante V2 je nízky, 0 - 0,05 m v. stl.

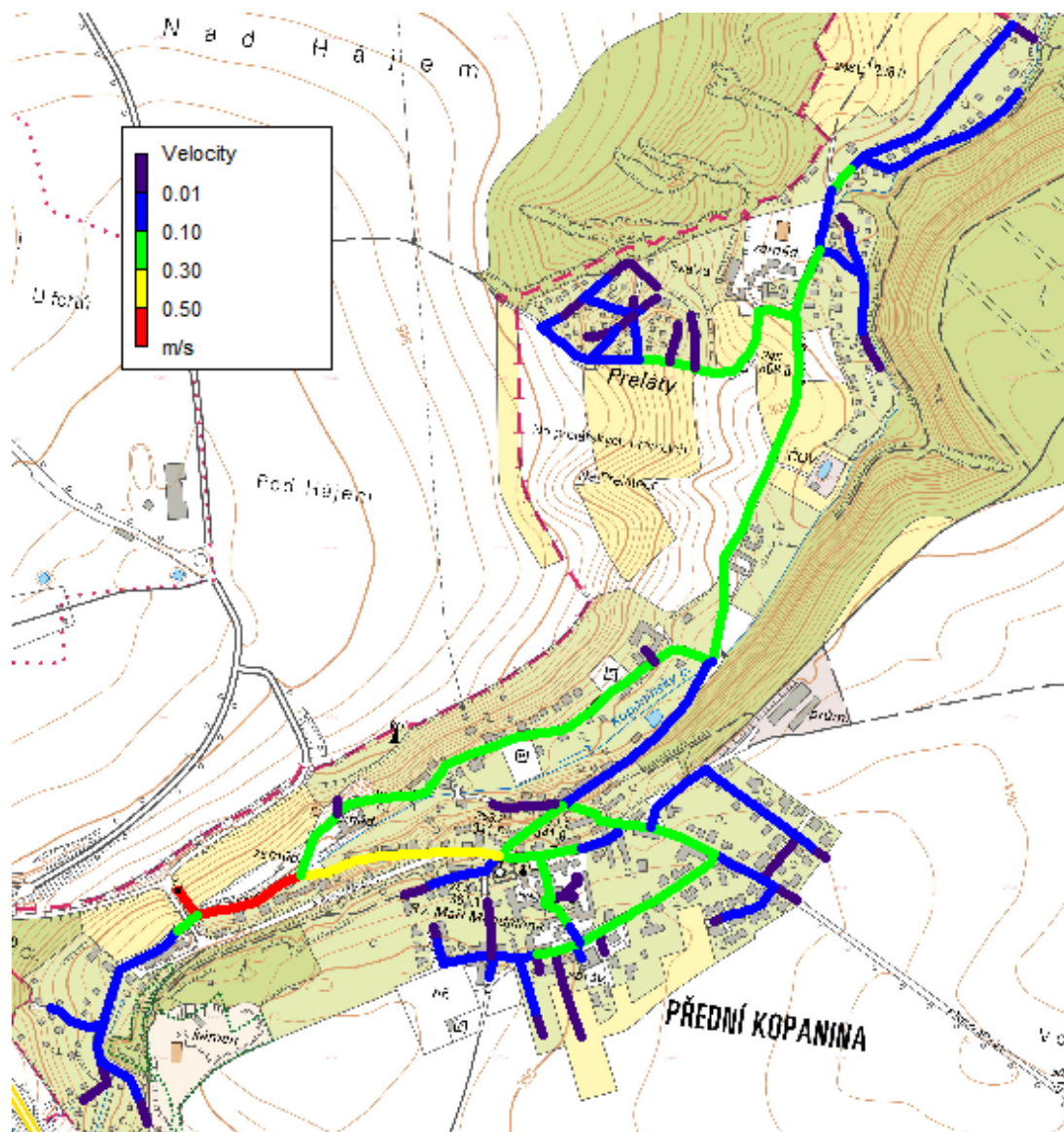
### Tlakové pomery nad zástavbou



Obr. č. 49 Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V4

Minimálna tlaková výška nad zástavbou má rozsah 17,2 - 92,2 m v. stl. Najnižšia tlaková výška 15 - 25 m v. stl. je opäť v centre obce - v uliciach U Třešňového sadu, Budislavova, K Václavu, Na Padesátníku, v okolí Hokešova náměstí. Do tejto skupiny tiež patrí rozvojová plocha blízko ulice Ke Goniu, s plánovanou výstavbou 10 rodinných domov, kde je tlak nad strechami 19,7 - 21,3 m v. stl. V ďalšej rozvojovej ploche východne od ulice K Juliáně dosahuje tlak hodnoty 26,6 - 30,0 m v. stl. V záhradkárskej osade Do Roklí je tlak nad zástavbou 38,0 - 47,2 m v. stl. V západnej časti oblasti Preláty sa tlak pohybuje od 36,9 - 61,0 m v. stl. Najvyššie tlakové pomery nad zástavbou sú v severovýchodnej časti osady Preláty 72,3 - 92,2 m v. stl.

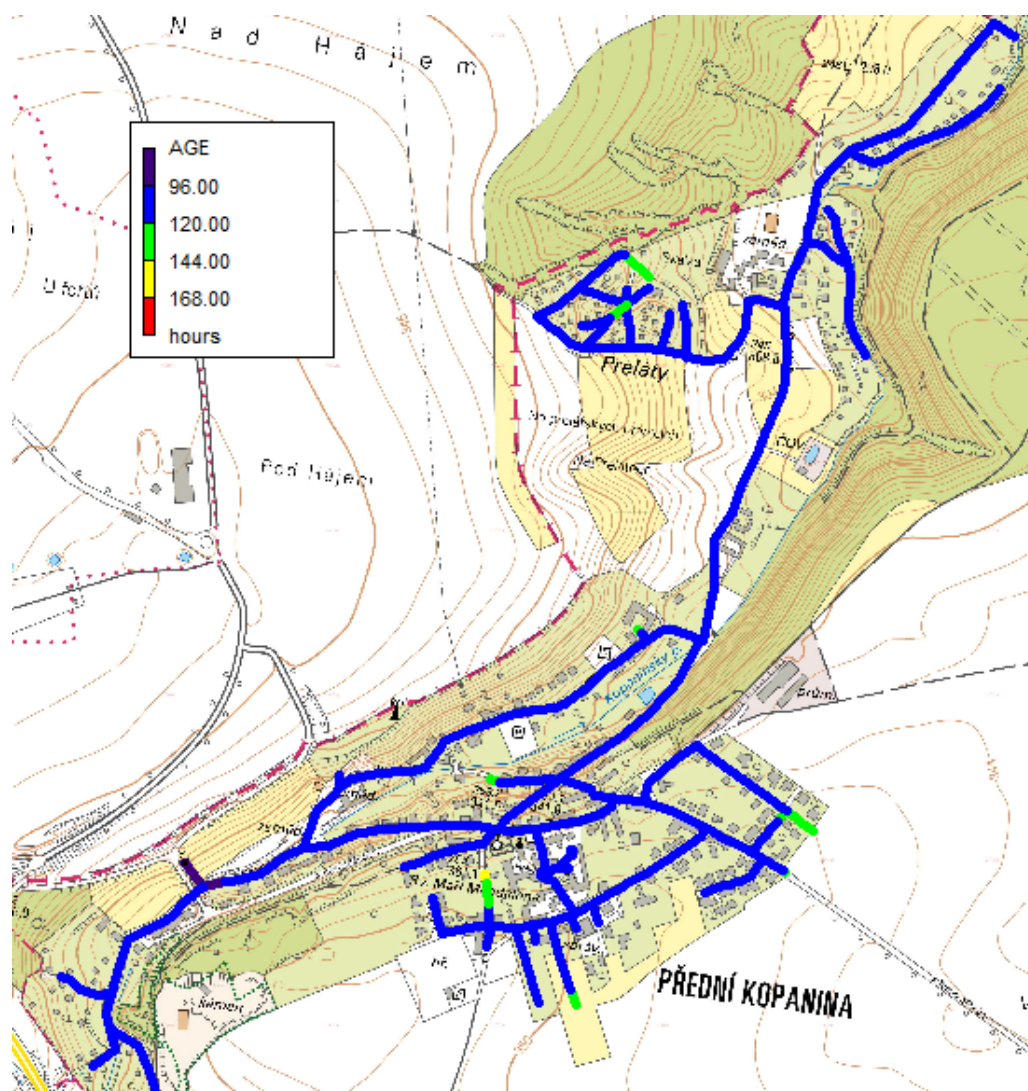
### Rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti



Obr. č. 50 Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V4

Maximálna rýchlosť prúdenia vody v systéme sa oproti variantu V2 zvýši v takmer celej sieti. Výrazný nárast rýchlosti nastane na začiatku siete, kde sa rýchlosť prúdenia zvýši z 0,28 m/s na 0,58 m/s a v okolí Hokešova námestí - zvýšenie z 0,09 na 0,23 m/s. Najrýchlejšie prúdi voda v ulici Do Roklí a to rýchlosťou 0,39 - 0,58 m/s. Rýchlosť od 0,1 do 0,3 m/s zaznamenávame v uliciach Nové Domy, Na Padesátníku, K Tuchoměřicům, K Prelátům a v okolí Hokešova náměstí. V chatovej oblasti Do Roklí je rýchlosť prúdenia prevažne 0,01 - 0,10 m/s. V chatovej oblasti Preláty sa rýchlosť zvýši v rôznych častiach o 0,01 - 0,22 m/s. V novo pripojených úsekoch vodovodu v západnej časti je rýchlosť prúdenia nízka, do 0,06 m/s. V celej sieti je naďalej pomerne veľké množstvo vodovodných radov, v ktorých voda prúdi pomalšie ako 0,01 m/s napr. v uliciach K Lávce, Budislavova, Ke Goniu, v chatovej osade Preláty.

### Doba zdržania vody vo vodovodnej sieti



Obr. č. 51 Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V4



Maximálna doba zdržania vody v systéme je do 145 hodín. Doba zdržania do 120 hodín - 5 dní je v celej sieti, okrem koncových úsekov radov v uliciach K Lávce, Ke Goniu, K Juliáně, Budislavova a v západnej časti chatovej oblasti Preláty. Dobu zdržania vody v záujmovej lokalite je preto možné považovať za vyhovujúcu. Pozitívny účinok - zníženie doby zdržania vody v systéme - sa prejaví predovšetkým v chatovej oblasti Preláty, kde sa doba zdržania zníži o 6,5 - 63,3 hodiny.

### **3.5.5 Súčasný stav v letnom období so zaťažením požiarnym odberom**

Ďalšie dva výpočtové varianty zahŕňajú zaťaženie vodovodnej siete požiarnym odberom. Pre zaťaženie požiarnym odberom bolo vybrané letné obdobie. Toto obdobie bolo vybrané z dôvodu, že v lete sa minimálne hodnoty vstupného tlaku v mernej šachte a následne aj minimálne hodnoty tlaku v sieti pohybujú nižšie, ako v jesennom období.

Zásady pre zásobovanie požiarnou vodou boli prevzaté z normy ČSN 73 0873 - Požiarna bezpečnosť stavieb - Zásobovanie požiarnou vodou. [30]

Pre zásobovanie požiarnou vodou sa musia zabezpečiť zdroje požiarnej vody, ktoré sú schopné trvale zaistiť požiaru vodu v predpísanom množstve po dobu aspoň 30 minút. Zásady pre rozmiestňovanie vonkajších odberných miest, hodnoty najmenej dimenzie potrubia a veľkosť odberu závisia od druhu objektu a jeho medznej plochy požiarneho úseku. Pre rodinné domy do zastavanej plochy  $\leq 200 \text{ m}^2$  a nevýrobné objekty do plochy  $120 \text{ m}^2$  platí:

- najmenšia vzdialenosť hydrantov je 200 – 400 m
- najmenšia dimenzia potrubia je DN 80 mm
- odber pre rýchlosť  $v = 0,8 \text{ m/s}$  sú 4 l/s

U najnepriaznivejšie položeného hydrantu má byť zaistený statický pretlak 0,2 MPa. [30]

Časový interval, v ktorom bola sieť zaťažená požiarnym odberom 4 l/s bol vybraný tak, aby bola zachytená extrémna situácia - čo najnižší vstupný tlak. Ten sa v mernej šachte vyskytol v čase simulácie 129 hodín 25 minút. Celková doba trvania požiarneho odberu sú 2 hodiny. Požiarny odber začína 1 hodinu pred výskytom najnižšieho vstupného tlaku a končí 1 hodinu po výskyte tejto hodnoty - v intervale 128 h 25 min - 130 h 25 min. Umiestnenie požiarneho odberu prebehlo postupne v 4 bodoch, v miestach, ktoré boli pri mernej kampani zaťažené hydrantovými testami - hydrantoch HT1 - HT4.

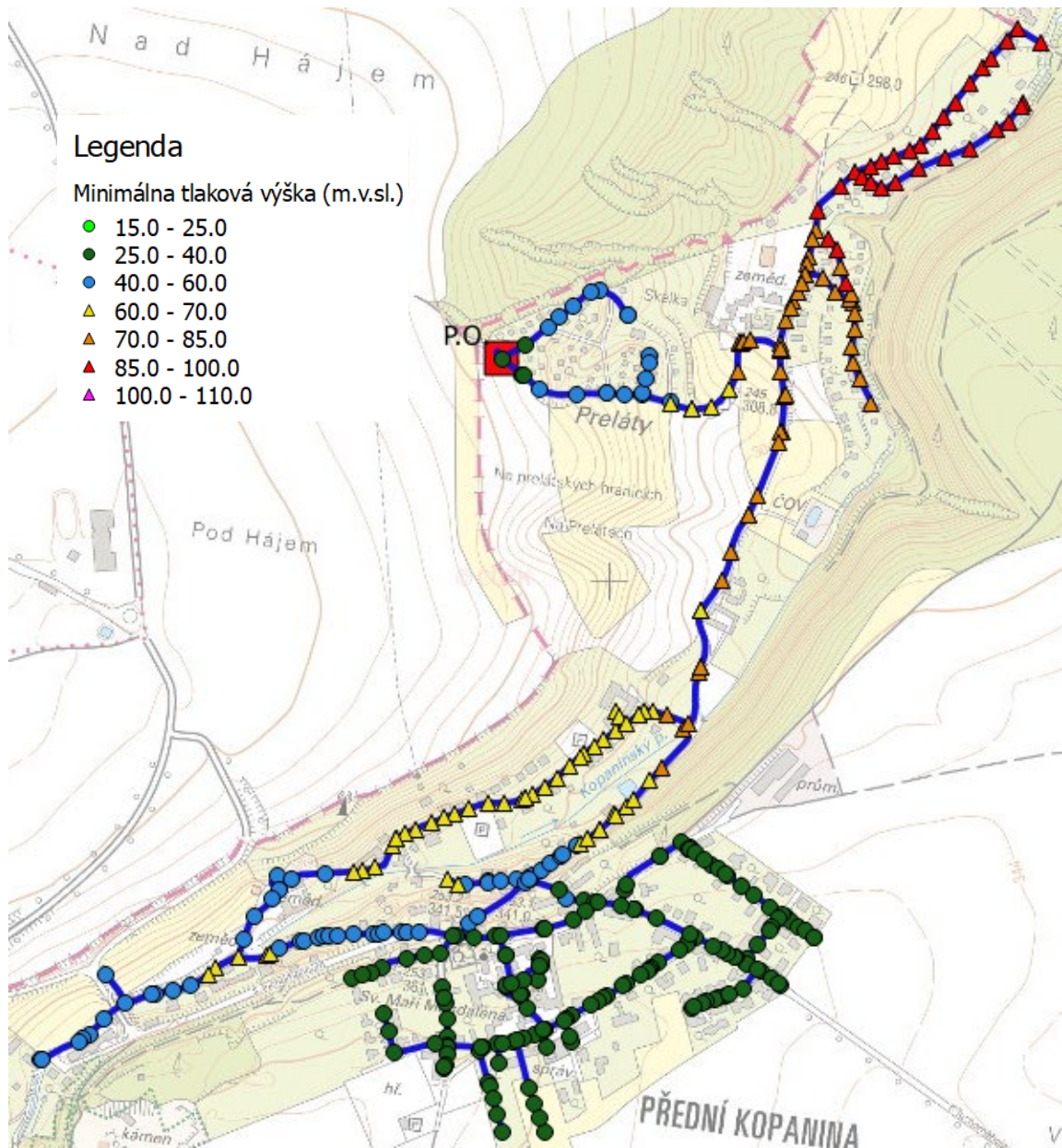
Najvýraznejší vplyv na tlakové pomery v sieti malo umiestnenie odberu do uzlu HT4. Preto je vo variantoch V5 a V6 vyhodnotená práve situácia, kedy je požiarny odber 4 l/s v čase 128 h 25 min - 130 h 25 min umiestnený v hydrante HT4.

### **Tlakové pomery nad terénom**

Maximálne tlakové pomery nad terénom zostali pri zaťažení požiarnym odberom rovnaké, ako vo variante bez zaťaženia - variant V2. Preto sú nižšie vyhodnotené len minimálne tlakové výšky nad terénom.

Po zaťažení siete požiarnym odberom dôjde k najväčšiemu poklesu tlaku, približne o 7,5 m v. stl., v mieste požiarného odberu - hydrante HT4. Výrazný pokles tlaku o 4,7 - 7,5 m v. stl. je v celej západnej časti chatovej oblasti Preláty. V severnej časti osady Preláty je pokles tlaku rovnomerný, oproti variantu V2 sa tlak zníži o 4,7 m v. stl. V ulici K Prelátum, ktorá spája centrum obce s chatovou oblasťou, klesne tlak o 0,8 - 4,7 m v. stl. Pritom platí, že najmenší pokles tlaku nastane na začiatku ulice v centre obce, smerom von z centra k chatovej osade je pokles výraznejší a maximum dosahuje na konci ulice K Prelátum v chatovej osade. Pre ostatné časti vodovodnej siete - celé centrum mestskej časti je pokles tlaku nízky - maximálne 1 m v. stl.

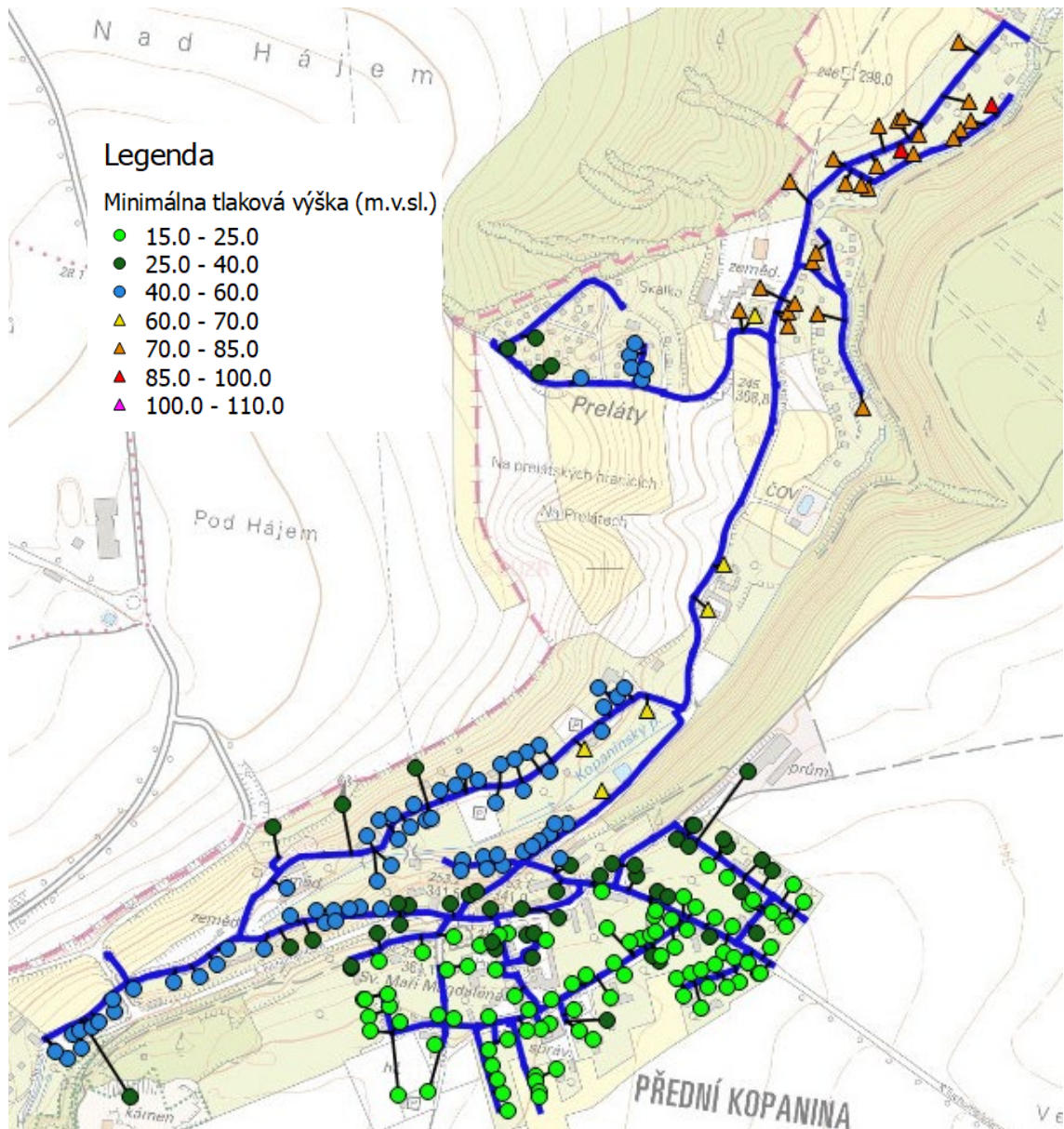
V celej sieti je naďalej dodržaná minimálna tlaková výška požadovaná vyhláškou č. 428/2001 Sb., v žiadnom uzle neklesne pod 25 m v. stl. Zároveň pre tento záťažový stav vyhovuje minimálna tlaková výška tiež norme ČSN 73 0873, ktorá stanovuje minimálny požadovaný statický pretlak pri požiarnom odbere na 0,2 MPa  $\approx$  20 m v. stl. Tlaková výška nad terénom je opäť príliš vysoká v uliciach Nové Domy, K Prelátum a v severnej časti chatovej osady Preláty.



Obr. č. 52 Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V5

### Tlakové pomery nad zástavbou

Minimálna tlaková výška nad zástavbou poklesne úmerne tlakovej výške nad terénom. Rozšíri sa preto oblasť, kde sa tlaková výška pohybuje v rozmedzí od 15 do 25 m v. stl. a to o objekty v uliciach K Juliáně, K Tuchoměřicům a v okolí Hokešova náměstí. V celom centre obce, ako aj v západnej časti chatovej osady Preláty, dosahuje tlaková výška nad zástavbou vyhovujúce hodnoty do 60 m v. stl. V severovýchodnej časti osady Preláty sú tlakové pomery nad strechami naďalej vysoké. Znížením o 4,7 m v stl. však klesnú pre väčšinu objektov pod 85 m v. stl.

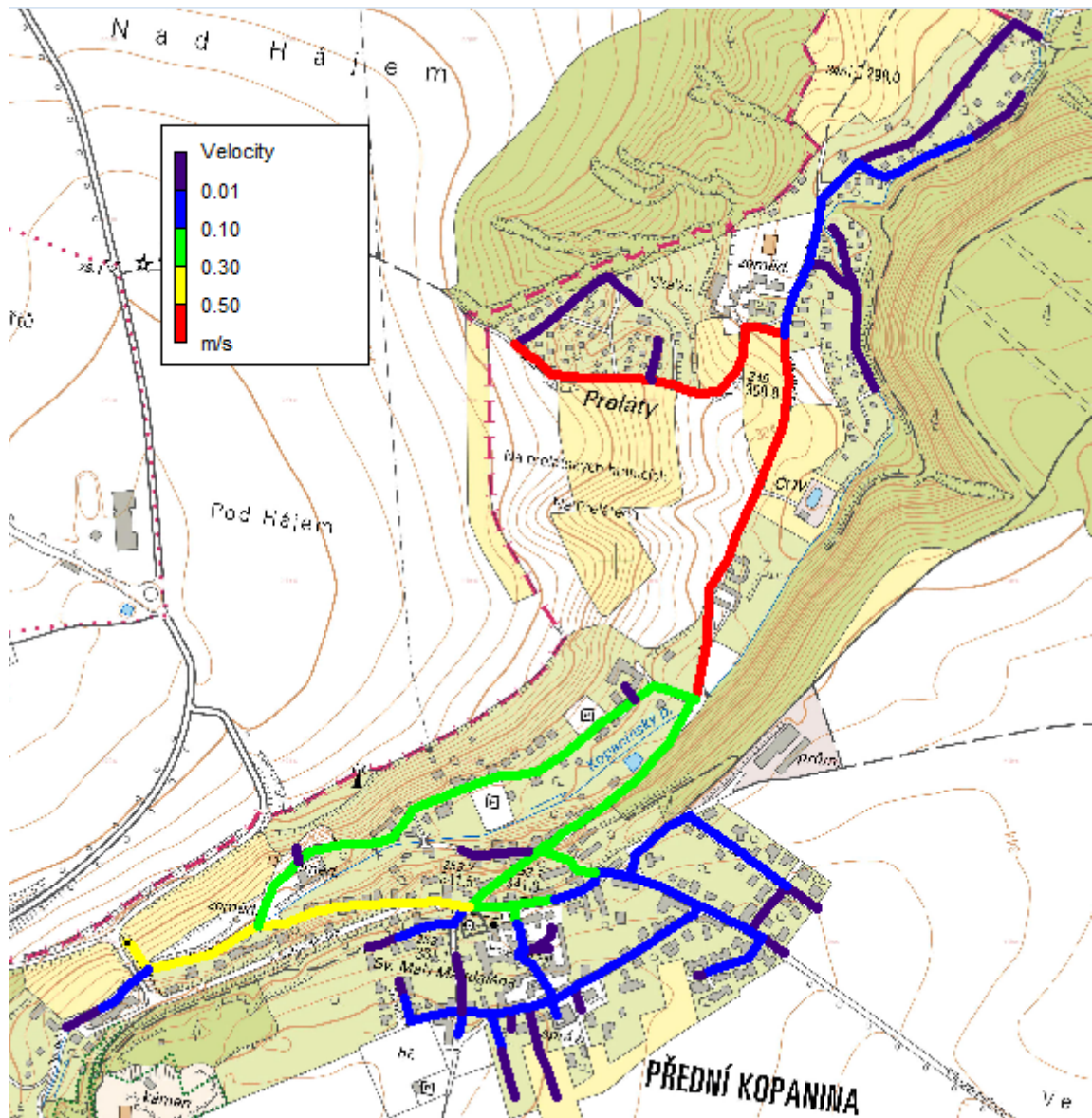


Obr. č. 53 Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V5

### Rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti

Vo variante V5 došlo v porovnaní so stavom bez požiarneho odberu - variantom V2 k nárastu maximálnej rýchlosti a to najmä v potrubí blízko hydrantu HT4. Maximálna rýchlosť sa zvýšila v ulici K Prelátum a v západnej časti chatovej osady Prelátý z 0,003 - 0,060 m/s na 0,19 - 0,67 m/s. V ulici Do Roklí sa rýchlosť zdvihla z 0,19 - 0,28 m/s na 0,34 - 0,47 m/s. V ulici Nové Domy je nárast maximálnej rýchlosti z 0,05 - 0,12 m/s na 0,19 - 0,23 m/s. Pre ostatné časti siete sa rýchlosť prúdenia výraznejšie nezmenila. V centre obce, ktoré je požiarным odberom ovplyvnené menej ako chatová osada

Preláty, prevažuje rýchlosť v sieti do 0,10 m/s, v časti ulice K Tuchoměřicům je vyššia rýchlosť prúdenia do 0,20 m/s.



Obr. č. 54 Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V5

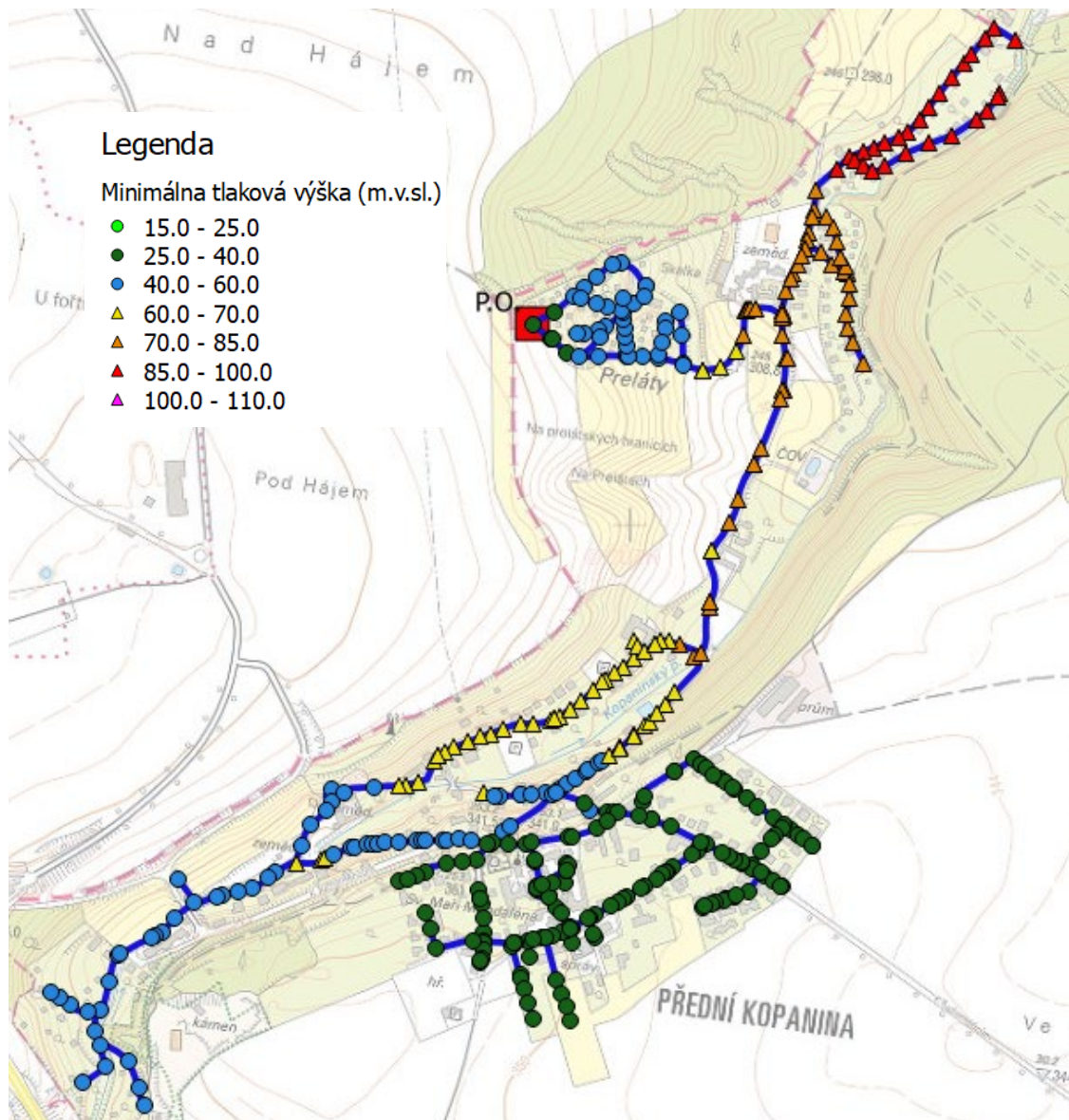
#### Doba zdržania vody vo vodovodnej sieti

Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti je rovnaká ako v súčasnom stave pre letné obdobie - variante V2.

### 3.5.6 Výhl'adový stav v letnom období so zaťažením požiarnym odberom

V tomto výpočtovom variante bola sieť opäť zaťažená požiarnym odberom. Jeho výška zostala rovnaká ako vo variante V5 - 4 l/s. Umiestnenie požiarného odberu a časový interval sú taktiež zhodné s predchádzajúcim variantom - odber nastane v čase simulácie 128 h 25 min - 130 h 25 min v mieste hydrantu HT4.

#### Tlakové pomery nad terénom



Obr. č. 55 Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V6

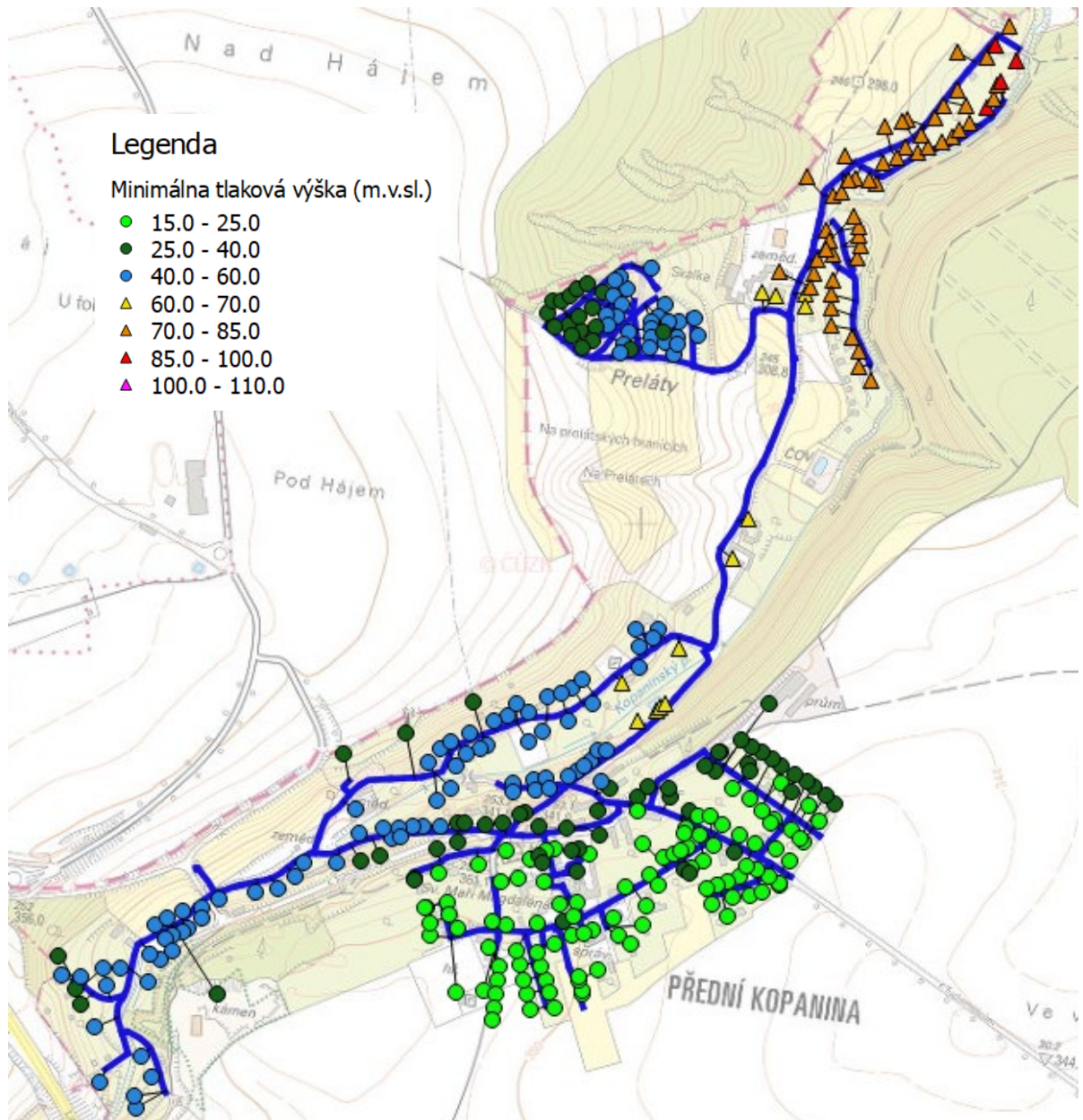
Maximálna tlaková výška nad terénom je rovnaká ako pre výpočtový variant V4 - výhľadový stav v letnom období. Nižšie je preto popísaná len minimálna tlaková výška nad terénom.

Minimálna tlaková výška nad terénom je porovnávaná s variantom V4. Najvýraznejšie klesne v bode požiarneho odberu - hydrante HT4 a to približne o 8 m v. stl. Celkový pokles tlaku v západnej časti chatovej osady Preláty je od 5,7 m v. stl. do 8,0 m v. stl. V severovýchodnej oblasti osady Preláta, v okolí Kopaninského potoka, sa tlak zníži rovnomerne o 5,7 m v. stl. Pokles tlakovej výšky v ulici K Prelátům postupne graduje, v centre obce je najnižší - 1,0 m v. stl. a pomaly rastie na hodnotu 5,7 m v. stl. v mieste, kde ulica končí a začína osada Preláty. V centre mestskej časti tlak poklesne o 0,4 - 1,3 m v. stl. V chatovej osade do Roklí sa tlaková výška zníži o 0,44 m v. stl.

V celej sieti je naďalej dodržaná minimálna tlaková výška požadovaná vyhláškou č. 428/2001 Sb., v žiadnom uzle neklesne pod 25 m v. stl. Zároveň pre tento záťažový stav vyhovuje minimálna tlaková výška tiež norme ČSN 73 0873, ktorá stanovuje minimálny požadovaný statický pretlak pri požiarnej odbere na 0,2 MPa  $\approx$  20 m v. stl. Tlaková výška nad terénom je opäť príliš vysoká v uliciach Nové Domy, K Prelátům a v severnej časti chatovej osady Preláty.

### **Tlakové pomery nad zástavbou**

Minimálna tlaková výška nad strechami klesne úmerne tlakovej výške nad terénom a pohybuje sa v rozmedzí od 16,2 m v. stl. do 86,5 m v. stl. Niekoľkým objektom v uliciach K Juliáně, K Tuchoměřicům a v okolí Hokešova náměstí klesne tlak pod 25 m v. stl. Približne tretina objektov v západnej časti chatovej osady Preláty sa presunie z rozsahu tlaku 40 - 60 m v. stl. do tlaku v rozsahu 25 - 40 m v. stl. V severovýchodnej časti osady Preláty klesne tlak nad zástavbou pre takmer všetky pripojené objekty pod 85 m v. stl. V chatovej osade Do Roklí sa tlakové pomery nad strechami prakticky nezmenia.



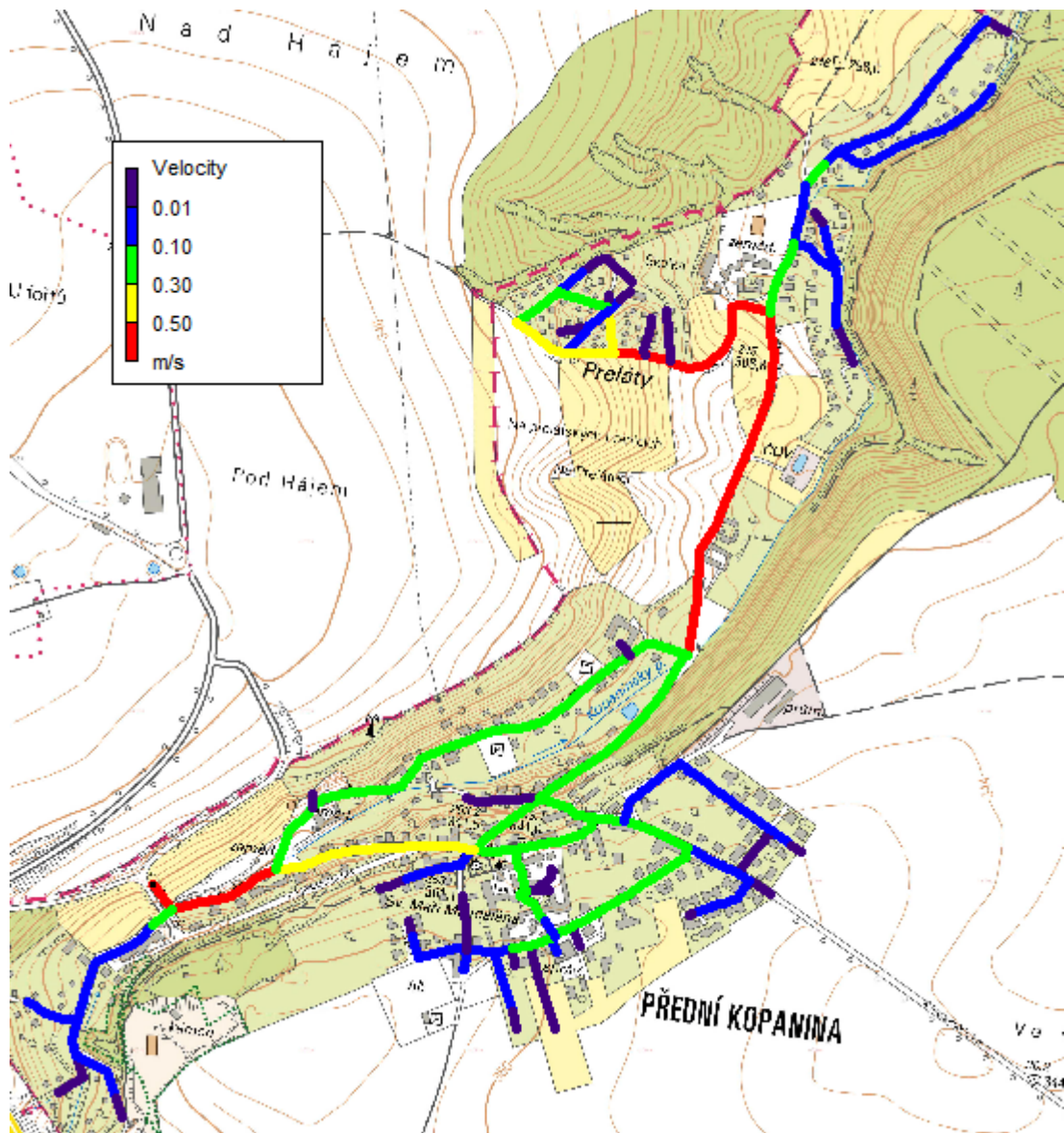
**Obr. č. 56 Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V6**

### **Rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti**

Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti sa zvýšila hlavne v ulici K Prelátům a v okolí hydrantu HT4, kde je umiestnený požiarny odber. V ulici K Prelátům vzrástla maximálna rýchlosť z hodnôt 0,06 - 0,27 m/s na 0,23 - 0,79 m/s. V západnej časti chatovej osady Prelátym dosahuje maximálna rýchlosť 0,70 m/s. V bezprostrednej blízkosti hydrantu HT4 je rýchlosť prúdenia, vďaka čiastočnému zokruhovaniu siete, o niečo nižšia - 0,27 - 0,36 m/s. V centre obce prevažuje rýchlosť prúdenia vody vo vodovodnej sieti od 0,1 do 0,3 m/s, túto rýchlosť sme zaznamenali napr. v uliciach



Nové Domy, K Prelátům, K Tuchoměřicům, Na Padesátníku a v okolí Hokešova náměstí. V ulici Do Roklí dosahuje rychlost' průdenia hodnoty 0,45 - 0,64 m/s.



Obr. č. 57 Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V6

#### Doba zdržania vody vo vodovodnej sieti

Doba zdržania vody vo vodovodnej sieti je rovnaká ako vo variante V4 - výhľadový stav v letnom období.

### 3.6 Vyhodnotenie a navrhované opatrenia

V tabuľke č.6 je uvedený súhrn posudzovaných veličín pre všetky výpočtové varianty V1 - V6. Tabuľka obsahuje rozsah, v ktorom sa pohybuje minimálna a maximálna tlaková výška nad terénom, rozsah hodnôt minimálnej výšky nad zástavbou a maximálnej doby zdržania vody v sieti a maximálnu rýchlosť prúdenia v konkrétnom modeli, vrátane miesta, v ktorom bola dosiahnutá.

**Tabuľka č. 6 Súhrnná tabuľka výsledkov pre varianty V1 - V6**

	minimálna tlaková výška nad terénom (m. v. stl.)	maximálna tlaková výška nad terénom (m. v. stl.)	minimálna tlaková výška nad zástavbou (m. v. stl.)	maximálna rýchlosť prúdenia v modeli (m/s)	maximálna doba zdržania vody v sieti (hodiny)
<b>variant V1</b>	31,7 - 100,7	39,8 - 108,8	21,3 - 96,1	0,49 za mernou šachtou	95,5 - 178
<b>variant V2</b>	27,7 - 96,7	39,5 - 108,5	17,4 - 92,1	0,28 za mernou šachtou	95,5 - 190
<b>variant V3</b>	29,7 - 96,8	39,8 - 108,7	19,3 - 92,7	1,02 za mernou šachtou	95,5 - 143
<b>variant V4</b>	27,5 - 96,3	39,5 - 108,5	17,2 - 92,1	0,58 za mernou šachtou	95,5 - 145
<b>variant V5</b>	26,9 - 92,0	39,5 - 108,5	16,6 - 87,4	0,67 ulica K Prelátům	95,5 - 190
<b>variant V6</b>	26,5 - 90,6	39,5 - 108,5	16,2 - 86,5	0,79 ulica K Prelátům	95,5 - 145

Zo všetkých záťažových stavov vyplýva, že tlakové pomery nad terénom v centre obce sú pre väčšinu uzlov vyhovujúce. Výnimkou sú ulice Do Roklí, Nové Domy, K Lávce a K Prelátům, v ostaných uliciach je tlak nad terénom do 60 m v. stl. Ani v jednom zo záťažových stavov neklesá tlak v žiadnom mieste siete pod minimálnu hodnotu 25 m v. stl., ktorá má byť podľa vyhlášky zabezpečená na vodovode v mieste prípojky. Vyššie hodnoty tlaku nad 60 resp. 70 m v. stl. sa vyskytujú vo všetkých variantoch výpočtu v uliciach Do Roklí, Nové Domy, K Prelátům a K Lávce. V týchto uliciach, v závislosti od výpočtového variantu, kolíše tlak od 38,5 m v. stl. do 85,6 m v. stl. pri minimálnej tlakovej výške a od 51,5 m v. stl. do 94,0 m v. stl. pri maximálnej tlakovej výške. V chatovej osade Do Roklí, ktorá je k vodovodnej sieti pripojená len vo výhľadových stavoch, sú minimálne tlakové pomery nad terénom do 60 m v. stl., maximálne tlakové pomery do 70 m v. stl., čo je vzhľadom k zástavbe do 2 nadzemných podlaží vyhovujúca hodnota. V západnej časti chatovej oblasti Preláty je rozmedzie

tlaku, ktorý sa v sieti vyskytuje široké kvôli členitému terénu. Tlak nadobúda za bežných prevádzkových podmienok hodnoty 43,4 - 94,0 m v. stl. Pri zaťažení požiarom odberom môže minimálna hodnota klesnúť ešte nižšie - na 35,3 m v. stl. Severovýchodná časť osady Preláty je najnižšie položeným miestom celej vodovodnej siete a vyskytujú sa tu najvyššie tlaky, ktoré vo všetkých výpočtových stavoch výrazne presahujú povolenú hodnotu 70 m v. stl. a v maxime dosahujú hodnoty až 100 - 108,5 m v. stl.

Ďalšou hodnotenou veličinou bola minimálna tlaková výška nad zástavbou. Tá je vo všetkých variantoch výpočtu pre všetky pripojené objekty postačujúca, v žiadnom mieste neklesá pod hodnotu 15 m v. stl. V rozsahu od 15 do 25 m v. stl. sa pre väčšinu variantov pohybuje v uliciach U Třešňového sadu, Budislavova, K Václavu, Na Padesátníku, Ke Goni, v menšom rozsahu v uliciach K Juliáně a pre niektoré objekty na Hokešovom náměstí. V ostatných uliciach v centre obce - K Juliáně, K Tuchoměřicům, K Maří Magdaléne, na Hokešovom náměstí je tlak nad strechami do 40 m v. stl. Tlak od 40 do 60 resp. 70 m v. stl. je v uliciach Do Roklí, Nové Domy, K Prelátům, v chatovej osade Do Roklí. V západnej časti chatovej osady Preláty je minimálna tlaková výška nad strechami prevažne v rozsahu od 40 do 60 m v. stl., pri zaťažení požiarom odberom klesne tlak o 4,7 - 8 m v. stl. Rovnako ako pri tlakových pomeroch nad terénom, aj v tomto prípade je najvyšší tlak v severovýchodnej časti osady Preláty. Minimálny tlak nad strechami v tomto území je v rozsahu od 70 do 100 m v. stl.

Maximálna rýchlosť prúdenia v sieti je pomerne nízka, len v malej časti potrubí presiahne 0,5 m/s. Najrýchlejšie voda prúdi na začiatku siete - v ulici Do Roklí. Vyššie rýchlosti sú tiež v zokruhovaných častiach siete - v ulici Nové Domy a v centre obce v okolí Hokešova náměstí. Vo výhľadových stavoch sa rýchlosť prúdenia zvýši v ulici K Prelátům a v uliciach K Tuchoměřicům a Na Padesátníku. Voda tu prúdi rýchlosťou 0,1 - 0,3 m/s. Pri zaťažení siete požiarom odberom 4 l/s vzrastie rýchlosť prúdenia vody hlavne v blízkosti hydrantu HT4, z ktorého je voda čerpaná a v ulici K Prelátům - z tej sa stane úsek s najrýchlejším prúdením. Veľmi nízke rýchlosti pod 0,1 m/s sú prakticky vo všetkých vetvených častiach siete - na konci chatovej osady Do Roklí, v uliciach Budislavova, K Václavu, Ke Goni, U Třešňového sadu, K Lávce, U Maří Magdaleny a mnohých úsekoch chatovej osady Preláty.

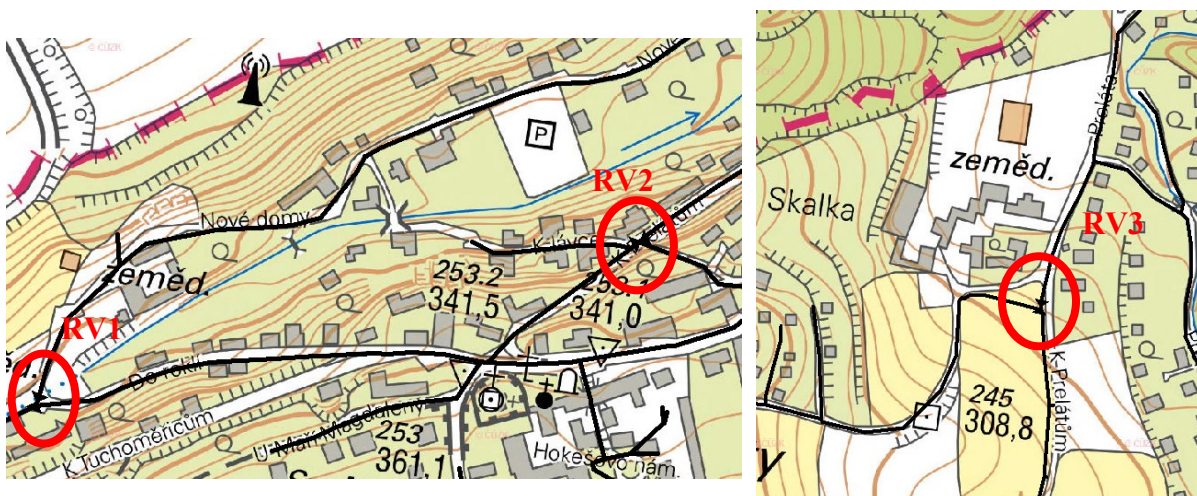
Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti je vo veľkej miere závislá od toho, ako dlho trvá, kým sa voda dostane z vodojemu Jesenice I, cez vodojem Kopanina a ďalej prírodným potrubím DN 300 až do mernej šachty, blízko ulice K Tuchoměřicům. Za predpokladu, že doba zdržania vo vstupnej šachte na začiatku výpočtu je približne 96 hodín - 4 dni platí, že v takmer celej sieti sa voda vymení do 5 dní. Doba zdržania nad 5 dní sa pre všetky varianty vyskytuje hlavne v koncových úsekoch nezokruhovaných radov s nízkymi odbermi. Pre súčasné stavy - varianty V1, V2 a V5, v ktorých je v chatovej osade Preláty pripojené len malé množstvo objektov, je v tejto oblasti dlhšia doba zdržania vo vodovodnej sieti - zväčša do 6 - 7 dní.

### Navrhované opatrenia

Výškový rozsah zásobovaného územia je pomerne veľký 282 - 355 m n. m. Preto aj tlakové pomery kolíšu vo veľkom rozpätí a na niektorých miestach presahujú maximálne povolené hodnoty. Z tohto dôvodu by bolo vhodné znížiť tlak v uliciach, Do Roklí, Nové Domy, K Prelátům a v skoro celej chatovej osade Preláty, osadením redukčných ventilov tlaku.

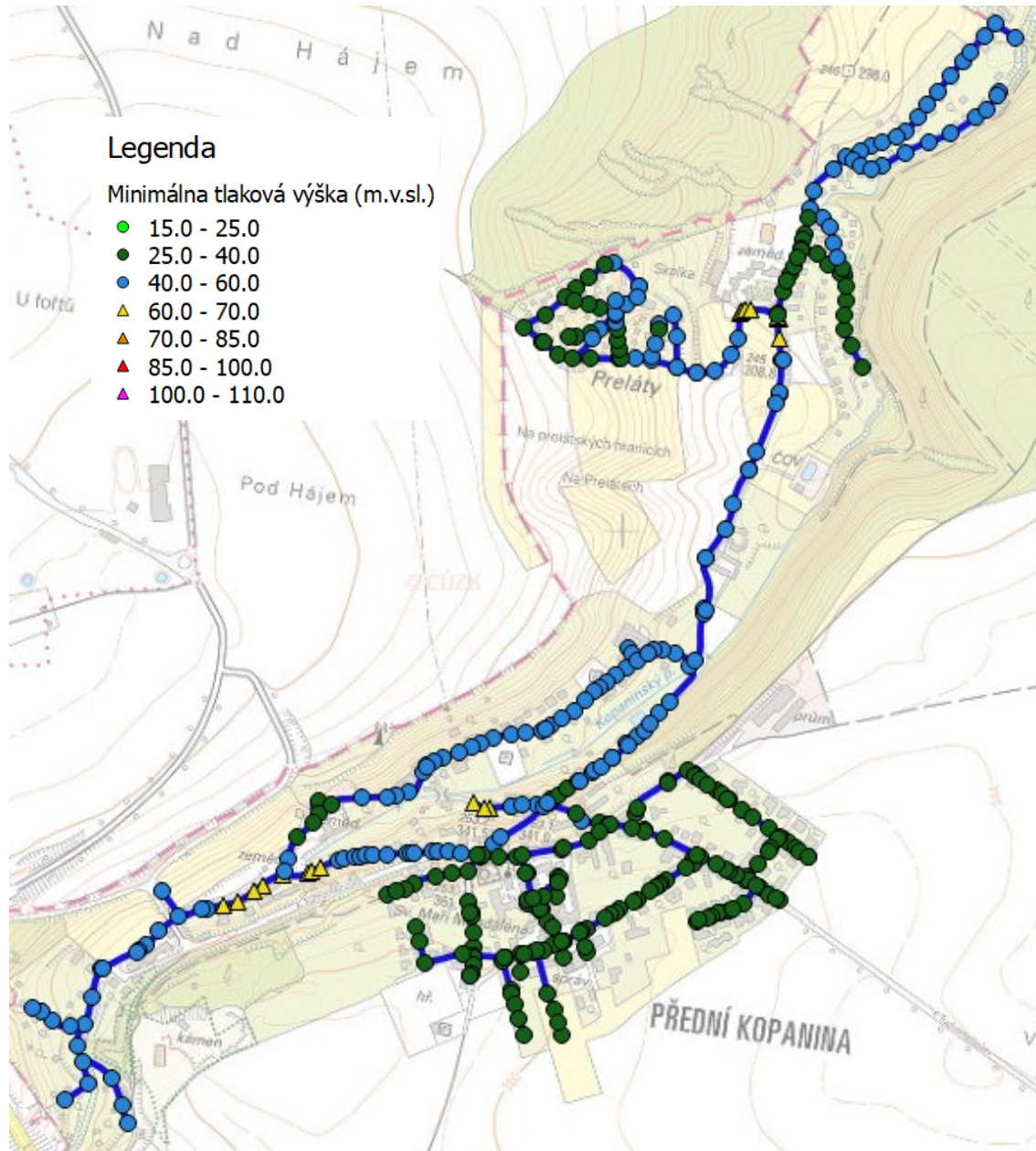
Navrhujem osadenie 3 redukčných tlakových ventilov:

- redukčný ventil RV1 na križovatke ulíc Do Roklí a Nové Domy - redukcia tlaku o 18 m v. stl.
- redukčný ventil RV2 na križovatke ulíc K Lávce a K Prelátům - redukcia tlaku o 18 m v. stl.
- redukčný ventil RV3 v severovýchodnej časti osady Preláty na Križovatke ulíc K Prelátům a Preláta - redukcia tlaku o 31 m v. stl.



Obr. č. 58 Umiestnenie redukčných ventilov RV1 - RV3

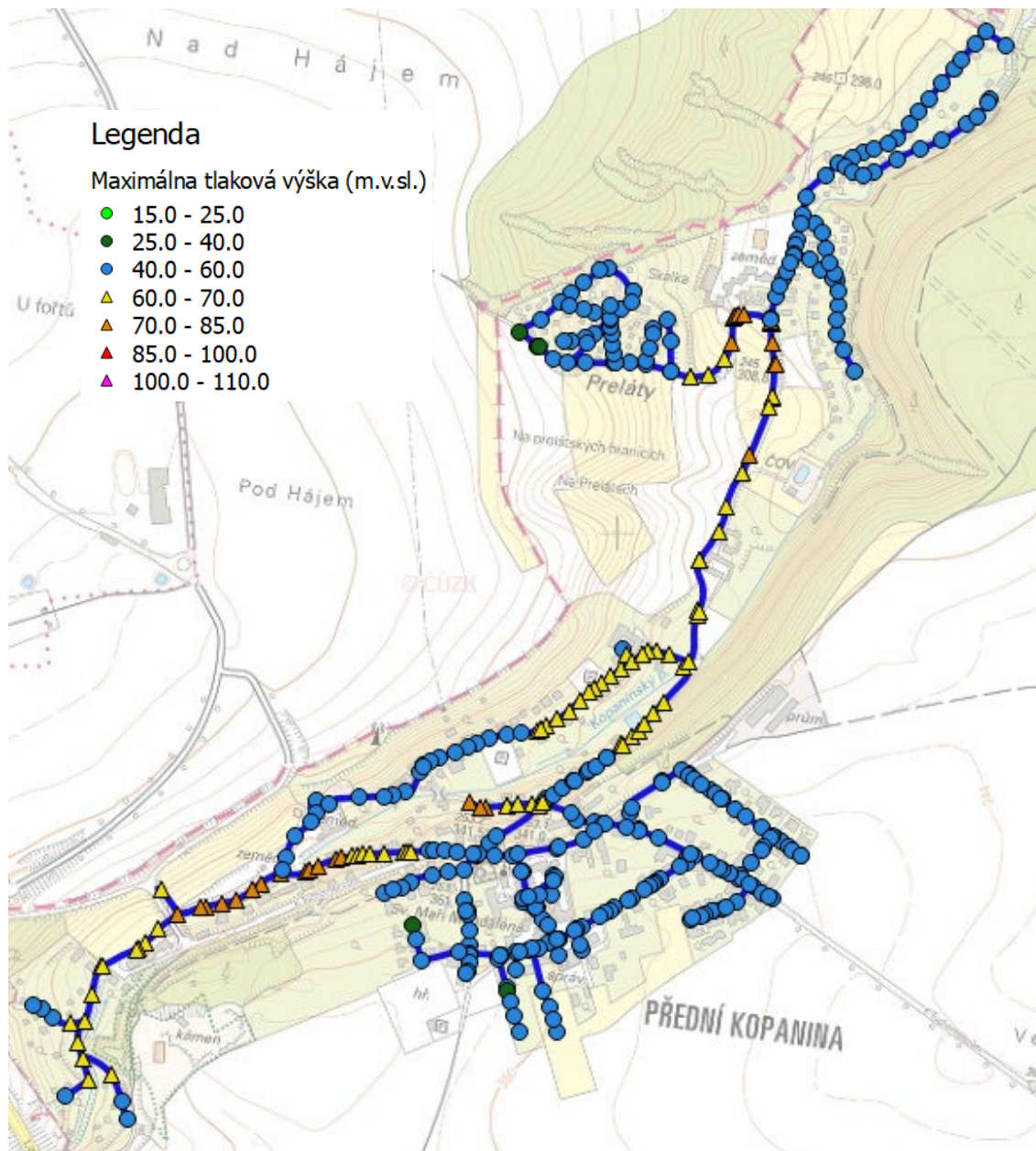
Navrhnuté opatrenia pre zníženie tlaku boli overené na výpočtovom variante V4 - Výhľadový stav v letnom období. Obrázky č.59, 60 a 61 ukazujú zlepšenie situácie a zníženie tlakových pomerov v niektorých častiach vodovodného systému.



**Obr. č. 59 Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. po redukcii tlaku**

Minimálna tlaková výška nad terénom je po redukcii tlaku vo všetkých miestach siete vyhovujúca. Pohybuje sa v rozsahu 25,4 - 63,6 m v. stl., nad hodnotu 60 m v. stl. vystúpi len v ojedinelých prípadoch v uliciach Do Roklí, K Lávce a na začiatku chatovej osady Preláty.

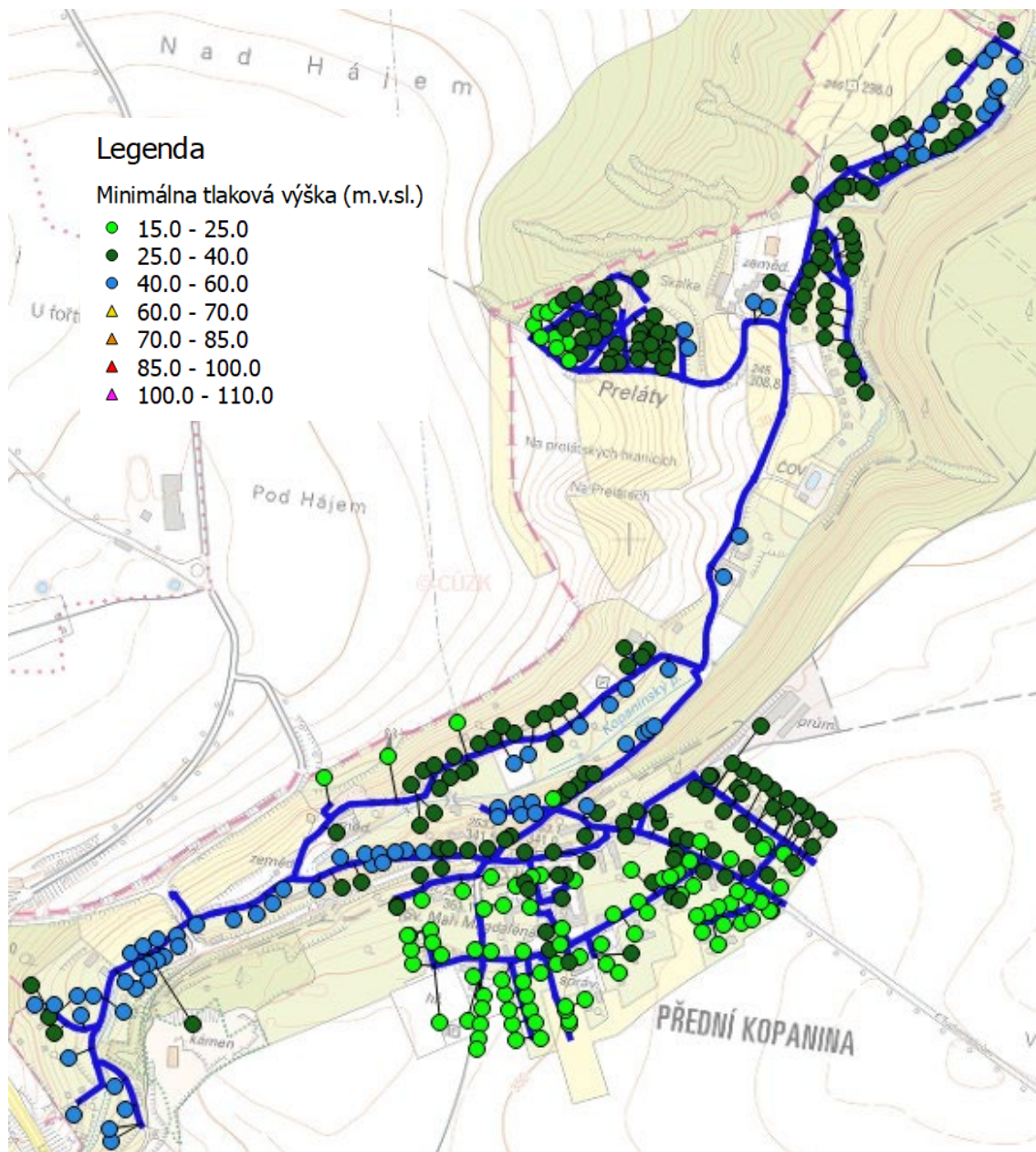
Maximálna tlaková výška nad terénom dosahuje hodnoty 37,5 - 75,7 m v. stl. V niekoľkých uzloch, opäť v uliciach Do Roklí, K Lávce a na začiatku osady Preláty, je tlak vyšší než 70 m v. stl. Pre tieto uzly nebol tlak ďalej optimalizovaný pomocou ďalších tlakových ventilov, prípadne ďalším znížením tlaku v už navrhnutých redukčných ventiloch, aby sa predišlo poklesu minimálnej tlakovej výšky vo vyššie položených uzloch pod 25 m v. stl.



**Obr. č. 60 Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. po redukcii tlaku**

K najvýraznejšiemu rozdielu a zlepšeniu situácie došlo v severovýchodnej časti osady Prelátka. V tejto lokalite sa tlak znížil približne o 49 m v. stl. z 94,1 - 108,5 m v. stl. na

44,9 - 59,5 m v. stl. v maxime. Nižší tlak vo vodovodnej sieti je lepší z prevádzkového hľadiska, nakoľko pri ňom dochádza k nižším únikom vody zo siete a zároveň kladie menšie nároky na životnosť armatúr na potrubí i na vodovodných prípojkách.



**Obr. č. 61 Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. po redukcii tlaku**

Minimálna tlaková výška nad zástavbou je v rozmedzí 16,3 - 56,9 m v. stl. Oblasť s nižším tlakom pod 25 m v. stl. sa rozšírila o objekty na západe chatovej osady Preláty, 3 objekty v ulici Nové Domy a jeden objekt v ulici K Prelátům. Minimálna tlaková výška nad zástavbou v centre obce sa nezmenila. Pre žiadny z objektov tlak neklesá pod 15 m v. stl., tlaková výška nad strechami je postačujúca.

## 4 Záver

Cieľom diplomovej práce bolo zhrnúť poznatky o zásobovaní vodou a matematickom modelovaní distribučných sietí a zároveň nadobudnuté vedomosti aplikovať pri tvorbe matematického modelu a hydraulickej analýze vodovodnej siete.

Teoretická časť práce sa venuje problematike zásobovania pitnou vodou. Popisuje proces, ktorým sa voda dostáva zložitým systémom od zdroja až k spotrebiteľovi. Zaoberá sa základnými fyzikálnymi zákonmi, ktoré popisujú prúdenie vody v potrubí, potrebou vody, jej výpočtom a rozdelením do skupín podľa typu odberu. Zahŕňa zásady pre tvorbu matematického modelu, typy, podmienky a metódy hydraulickej analýzy. Na teoretický základ nadväzuje kapitola o dostupných softwarových prostriedkoch, ktoré je možné využiť pre daný typ úlohy, modelovanie prúdenia v tlakových sieťach.

Praktická časť sa následne zaoberá záujmovým územím a stavbou modelu vodovodnej siete podľa poskytnutých podkladov. Model distribučnej siete som zostavila spracovaním údajov pasportu vodovodnej siete, dokumentácií už existujúcich i plánovaných vodovodných radov, údajov o plánovanom rozvoji v obci a potrebe vody pre nové objekty a spracovaním dát od prevádzkovateľa. Modely súčasných stavov obsahujú 367 uzlov, 1 rezervoár, 371 úsekov a 240 odberných miest. Modely výhľadových stavov obsahujú 404 uzlov, 1 rezervoár, 410 úsekov a 348 odberných miest. Pre overenie funkčnosti modelu boli jeho výstupy porovnané s terénnymi meraniami tlaku na vodovodnej sieti počas mernej kampane. Úpravou drsností jednotlivých častí potrubí bol model skalibrovaný. Ďalšia časť dát bola použitá pre verifikáciu modelu.

Skalibrovaný a zverifikovaný model zodpovedajúci realite umožňuje vykonať simulácie rôznych záťažových stavov vodovodnej siete. Súčasťou práce je 6 výpočtových variantov - 6 záťažových stavov. Vzájomne sa líšia krivkami nerovnomernosti odberov, krivkami kolísania hladiny rezervoáru, počtom pripojených odberných miest a veľkosťou odberov. Posledné 2 varianty skúmajú správanie siete pri zaťažení požiarom odberom. Cieľom simulácií bolo zistiť a vyhodnotiť, aké sú tlakové pomery v lokalite a porovnať, ako sa menia v závislosti na type záťažového stavu.

Pre výpočtové varianty som vyhodnotila minimálne a maximálne tlakové pomery nad terénom, minimálne tlakové pomery nad výškou zástavby, rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti a dobu zdržania vody vo vodovodnej sieti. Z výstupov modelu vyplynulo, že minimálna tlaková výška nad terénom, stanovená vyhláškou č. 428/2001



Sb. na 25 metrov vodného stĺpca, je v celej sieti dodržaná pre všetky varianty výpočtu. Rovnako aj minimálna tlaková výška nad zástavbou je pre všetky varianty výpočtu dostatočná. Pre niektoré časti siete je však prekročený maximálny povolený pretlak v sieti, ktorý vyhláška č. 428/2001 Sb. stanovuje na 60 resp. 70 m vodného stĺpca. V závere práce boli preto navrhnuté a čiastočne overené opatrenia, ktoré by pomohli znížiť vysoký tlak v nízko položených miestach siete. Konkrétne ide o 3 redukčné ventily v uliciach Nové Domy, K Prelátům a na začiatku severovýchodnej časti chatovej oblasti Preláty.

Zostavený hydraulický model vodovodnej siete bude prínosom hlavne pre mestskú časť Praha - Přední Kopanina a prevádzkovateľa vodovodnej siete. V budúcnosti môže model slúžiť ako podklad pre riadenie systému zásobovania vodou, posúdenie možnosti pripojenia nových odberateľov, posúdenie rôznych štandardných či neštandardných prevádzkových podmienok a situácií. Pre zachovanie správneho fungovania modelu je dôležité priebežne ho aktualizovať, dopĺňať a spresňovať. Pri väčších zmenách na sieti je nutné opätovne previesť kalibráciu a verifikáciu modelu.

## 5 Zoznam použitej literatúry

- [1] HASÍK, Otakar a DOSTÁLOVÁ, Jarmila. *Stavby pro zásobování vodou a odkanalizování: pro rozsah studia jednoho semestru*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 2002. ISBN 80-248-0222-8.
- [2] TESAŘÍK, Igor. *Vodárenství*. Praha: SNTL, 1985.
- [3] SLAVÍČKOVÁ, Kateřina a SLAVÍČEK, Marek. *Vodní hospodářství obcí 1. Úprava a čištění vody*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2006. ISBN 80-01-03534-4.
- [4] GRÜNWARD, Alexander, MACEK, Lubomír a ŠRYTR, Petr. *Vodárenství*. Praha: Český svaz stavebních inženýrů, 1998. ISBN 80-902460-7-9.
- [5] ŠŤASTNÝ Bohumil. VIZP – Vodohospodářské inženýrství a životní prostředí. Přednáška č. 3 – *Zdroje vody, zásobování vodou a úprava vody pro účely zásobování, doprava vody* [online]. Dostupné z: <http://vizp.fsv.cvut.cz> [Citácia: 26. 3. 2020].
- [6] KYNCL, Miroslav a HEVIÁNKOVÁ, Silvie. *Udržitelné systémy veřejných vodovodů a veřejných kanalizací*. Ústí nad Labem: Univerzita Jana Evangelisty Purkyně Fakulta životního prostředí, 2014. ISBN: 978-80-7414-799-9.
- [7] Směrnice ze dne 20. července 1973 ministerstva lesního a vodního hospodářství ČSR a ministerstva zdravotnictví ČSR - hlavního hygienika ČSR pro výpočet potřeby vody při navrhování vodovodních a kanalizačních zařízení a posuzování vydatnosti vodních zdrojů [online]. Dostupné z: <https://www.epravo.cz/vyhledavani-aspi/?Id=32306&Section=1&IdPara=1&ParaC=2> [Citácia: 14. 5. 2020].
- [8] HAVLÍK, Aleš a PICEK, Tomáš. Přednáška *Hydraulika potrubí* [online]. Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke\\_stazeni/prednasky/HY2V\\_04\\_Hydraulika\\_potrubí.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/HY2V/ke_stazeni/prednasky/HY2V_04_Hydraulika_potrubí.pdf) [Citácia: 11. 3. 2020]
- [9] MASE, George .E. *Theory and problems of continuum mechanics*. New York: McGrawHill Book Company, 1970.
- [10] ŘÍHA, Jaromír a kolektiv. *Matematické modelování hydrodynamických a disperzních jevů*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 1997. ISBN 80-214-0827-8.
- [11] Kolektiv autorů zaměstnanců katedry hydrauliky a hydrologie FSv ČVUT v Praze. Přednáška *Základy hydrodynamiky* [online]. Dostupné z:

- [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke\\_stazeni/pre  
dnasky/03\\_zaklady\\_hydrodynamiky.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Hydraulika/Hydraulika/Predmety/Hya/ke_stazeni/pre<br/>dnasky/03_zaklady_hydrodynamiky.pdf) [Citácia: 13. 3. 2020]
- [12] VESELÝ, Pavel. *Aktualizace generelu zásobování vodou hl. m. pro území jihovýchodní části Prahy Přehledné schéma tlakových pásem*. Praha: D-plus projektová a inženýrská a.s., 2019.
- [13] Vyhláška Ministerstva zemědělství, kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). Dostupné online z: [https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=428/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo\\_zakona\\_smlouvy](https://aplikace.mvcr.cz/sbirka-zakonu/SearchResult.aspx?q=428/2001&typeLaw=zakon&what=Cislo_zakona_smlouvy) [Citácia: 14.5. 2020].
- [14] Aquion - *Jak vylepšit kvalitu vody při její distribuci?* [online] Dostupné z: <https://www.aquion.cz/sluby/56-generely-a-vypocty-vak/397-jak-vylepsit-kvalitu-vody-pri-jeji-distribuci-jak-lepe-proplachovat> [Citácia: 13. 3. 2020].
- [15] COOPER, James P. *Computer modeling of water distribution systems*. American Water Works Association, 2018.
- [16] TUHOVČÁK, Ladislav a kolektiv. *Vodárenství*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2006.
- [17] NOVÁKOVÁ, Jana. *Bakalářská práce - Hydraulická analýza vodovodní sítě obce Hnojník*. VUT v Brně, 2016.
- [18] ROSSMAN, Lewis A. *EPANET 2 Users manual*. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency, 2000.
- [19] DHI. *Mike Urban User Guide - Water Distribution, Modeling of Water Distribution Systems*, 2017.
- [20] ALZAMARO, Martinez a CABRERA, Enrique. *Mathematical modelling of water distribution systems in service*. Valencia: Universidad Politecnica de Valencia, 1993.
- [21] INGEDULD, Petr a VYČÍTAL, Jarmil. *Matematické modelování vodovodních sítí část IV*. SOVAK: časopis oboru vodovodů a kanalizací. Hostivice: Facom, 1999, roč. 8, č. 6. ISSN 1210-3039.
- [22] GRAYMAN, Walter M.. *History of water quality modeling in distribution systems*. International WDSA / CCWI 2018 Joint Conference, Kingston, Ontario, Canada – July 23-25, 2018.

- [23] Water distribution software. *EPANET* [online]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/waterdistributionsoftware/epanet> [Citácia: 21. 3. 2020].
- [24] MIKE Powered by DHI. *MIKE URBAN* [online] Dostupné z: <https://www.mikepoweredbydhi.com/products/mike-urban> [Citácia: 21. 3. 2020]
- [25] Aquion - *Úvod do SiteFlow* [online]. Dostupné z: <https://www.aquion.cz/software/7-siteflow/226-uvod-do-siteflow> [Citácia: 22. 3. 2020].
- [26] Innoyze - *Advanced Software for Modeling and Managing Water Distribution Networks* [online]. Dostupné z: <https://www.innoyze.com/en-us/products/infowater> [Citácia: 22. 3. 2020].
- [27] Innoyze - *Model, Analyze, and Design Water Distribution Networks within AutoCAD* [online]. Dostupné z: <https://www.innoyze.com/en-us/products/infowater/h2onet> [Citácia: 22. 3. 2020].
- [28] KYPIPE - *Pipe2020: KYPipe Overview (Steady-State)* [online]. Dostupné z: [https://kypipe.com/kypipe/?gclid=EAIaIQobChMIioG7wZGp6AIVR0PTCh2JNgVTEAAYASAAEgKqIvD\\_BwE](https://kypipe.com/kypipe/?gclid=EAIaIQobChMIioG7wZGp6AIVR0PTCh2JNgVTEAAYASAAEgKqIvD_BwE) [Citácia: 25. 3. 2020].
- [29] TEJKL, Adam a KOZICKÁ, Martina. *Generel zásobování vodou hl. m. Prahy detailní fáze pro území Smíchov, Jinonice, Košíře, Motol, Radlice, Zlíchov Vyhodnocení stávajícího stavu*. Praha: D-plus projektová a inženýrská a.s., 2018.
- [30] ČSN 73 0873. *Požární bezpečnost staveb: Zásobování požární vodou*. Praha: Český normalizační institut, 2003.

## 6 Zoznam obrázkov

Obr. č. 1 Schéma zásobovania pitnou vodou.....	12
Obr. č. 2 Graficky zobrazená Bernoulliho rovnica.....	19
Obr. č. 3 Rozdelenie siete na tlakové pásma .....	20
Obr. č. 4 Grafické znázornenie okruhovej podmienky.....	23
Obr. č. 5 Podklady pre modelovanie vodovodnej siete .....	28
Obr. č. 6 Časový diagram pre rozkolísanie odberu v programe Epanet.....	32
Obr. č. 7 Vodovodná sieť pred a po schematizácií.....	34
Obr. č. 8 Pracovné prostredie programu Epanet.....	36
Obr. č. 9 Pracovné prostredie programu Mike Urban.....	38
Obr. č. 10 Situácia širších vzťahov .....	42
Obr. č. 11 Schéma vodovodnej siete mestskej časti Praha - Přední Kopanina.....	45
Obr. č. 12 Priebeh tlaku v mernej šachte K Tuchoměřicům v roku 2019 .....	47
Obr. č. 13 Krivka kolísania hladiny rezervoáru pre obdobie 14.6.2019 - 20.6.2019 .....	48
Obr. č. 14 Krivka kolísania hladiny rezervoáru pre obdobie 14.10.2019 - 20.10.2019 .....	48
Obr. č. 15 Koeficienty nerovnomernosti odberov pre obdobie 14.6.2019 - 20.6.2019 .....	49
Obr. č. 16 Koeficienty nerovnomernosti odberov pre obdobie 14.10.2019 - 20.10.2019 .....	50
Obr. č. 17 Rozvojové plochy a vo výhl'ade novo pripojené objekty v obci .....	51
Obr. č. 18 Merná kampaň - umiestnenie tlakomerov (body P1-P8) a hydrantových testov (body HT1- HT4) .....	57
Obr. č. 19 Mapa výsledných drsností potrubí v modeli po kalibrácii.....	58
Obr. č. 20 Graf korelácie medzi nameranými a vypočítanými hodnotami tlaku pri kalibrácii .....	59
Obr. č. 21 Graf korelácie medzi nameranými a vypočítanými hodnotami tlaku pri verifikácii.....	60
Obr. č. 22 Priebeh tlaku v bode P1 počas mernej kampane.....	61
Obr. č. 23 Priebeh tlaku v bode P2 počas mernej kampane.....	61
Obr. č. 24 Priebeh tlaku v bode P3 počas mernej kampane.....	62
Obr. č. 25 Priebeh tlaku v bode P4 počas mernej kampane.....	62
Obr. č. 26 Priebeh tlaku v bode P5 počas mernej kampane.....	63
Obr. č. 27 Priebeh tlaku v bode P6 počas mernej kampane.....	63
Obr. č. 28 Priebeh tlaku v bode P7 počas mernej kampane.....	64

Obr. č. 29	Priebeh tlaku v bode P8 počas mernej kampane.....	64
Obr. č. 30	Prehľad ulíc v mestskej časti Praha - Přední Kopanina.....	65
Obr. č. 31	Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V1.....	67
Obr. č. 32	Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V1.....	68
Obr. č. 33	Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V1.....	69
Obr. č. 34	Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V1.....	70
Obr. č. 35	Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V1.....	72
Obr. č. 36	Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V2.....	73
Obr. č. 37	Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V2.....	74
Obr. č. 38	Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V2.....	75
Obr. č. 39	Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti- variant V2.....	76
Obr. č. 40	Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V2.....	77
Obr. č. 41	Nové úseky vodovodných radov doplnené do výhľadových stavov.....	78
Obr. č. 42	Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V3.....	79
Obr. č. 43	Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V3.....	80
Obr. č. 44	Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V3.....	81
Obr. č. 45	Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V3.....	82
Obr. č. 46	Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V3.....	83
Obr. č. 47	Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V4.....	84
Obr. č. 48	Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V4.....	85
Obr. č. 49	Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V4.....	86
Obr. č. 50	Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V4.....	87
Obr. č. 51	Maximálna doba zdržania vody vo vodovodnej sieti - variant V4.....	88
Obr. č. 52	Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V5.....	91
Obr. č. 53	Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V5.....	92
Obr. č. 54	Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V5.....	93
Obr. č. 55	Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. - variant V6.....	94
Obr. č. 56	Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. - variant V6.....	96
Obr. č. 57	Maximálna rýchlosť prúdenia vo vodovodnej sieti - variant V6.....	97
Obr. č. 58	Umiestnenie redukčných ventilov RV1 - RV3.....	100
Obr. č. 59	Minimálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. po redukcii tlaku.....	101
Obr. č. 60	Maximálna tlaková výška nad terénom v m v. stl. po redukcii tlaku.....	102
Obr. č. 61	Minimálna tlaková výška nad zástavbou v m v. stl. po redukcii tlaku.....	103

## **7 Zoznam tabuliek**

Tabuľka č. 1 Hodnoty súčiniteľa ka.....	17
Tabuľka č. 2 Spotreba vody v obci za rok 2019 .....	44
Tabuľka č. 3 Novo pripojiteľné objekty pre výhľadový stav .....	52
Tabuľka č. 4 Kalibračná štatistika pre tlak .....	59
Tabuľka č. 5 Verifikačná štatistika pre tlak.....	60
Tabuľka č. 6 Súhrnná tabuľka výsledkov pre varianty V1 - V6.....	98

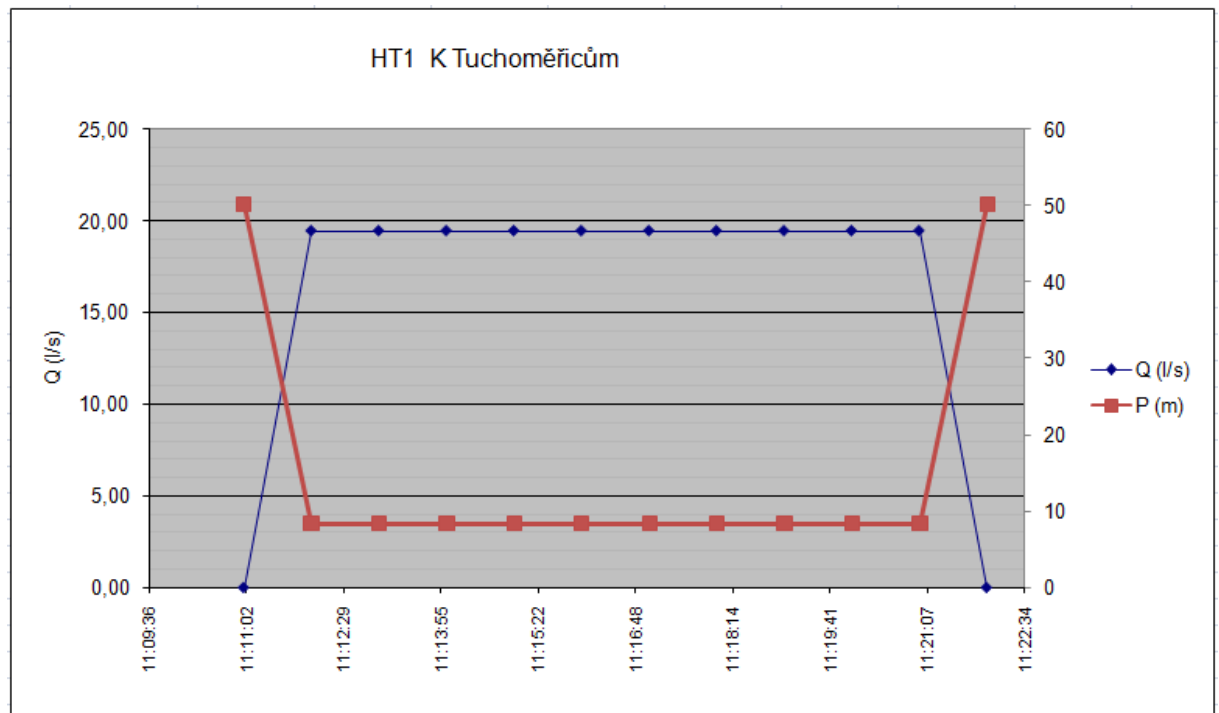
## **8 Zoznam príloh**

Príloha č. 1 Priebeh hydrantových testov .....	112
--	-----

## Príloha č. 1 Priebeh hydrantových testov

### Hydrantový test č.1

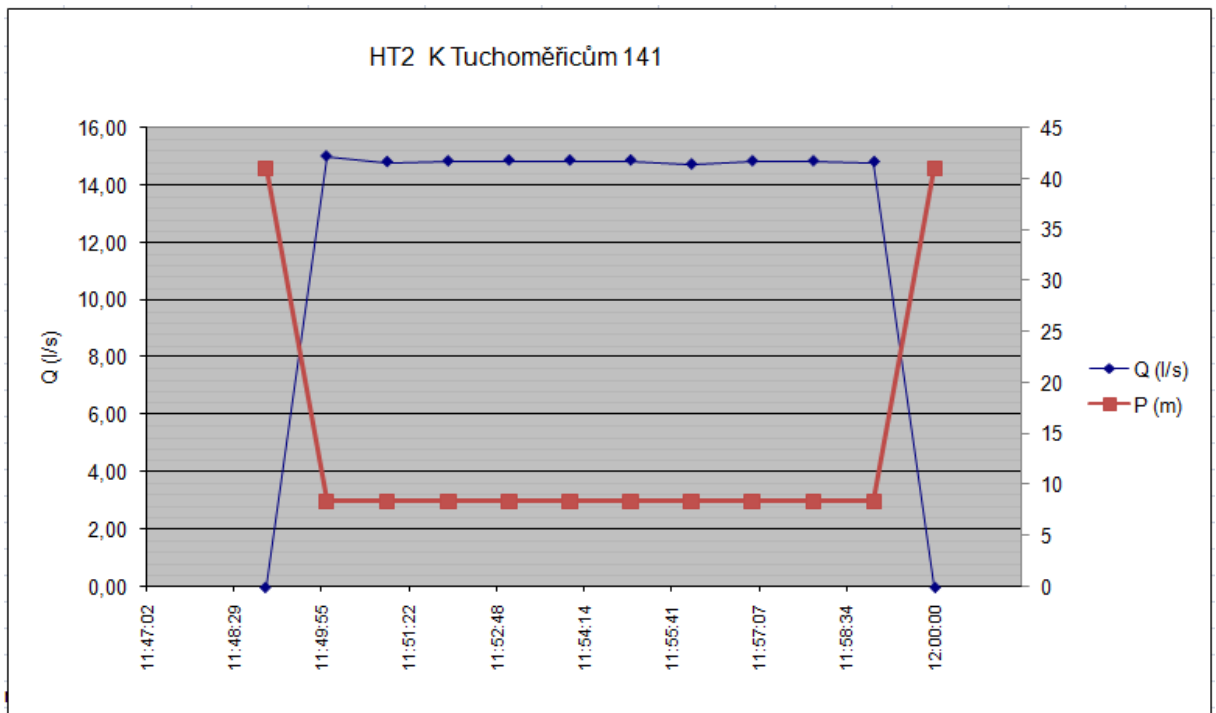
Čas	Q (m3/hod)	P (Bar)	Čas	Q (l/s)	P (m)
11:11	0	4,9	16.10.2019 11:11:00	0,00	50,13
11:12	70	0,8	16.10.2019 11:12:00	19,44	8,32
11:13	70	0,8	16.10.2019 11:13:00	19,44	8,32
11:14	70	0,8	16.10.2019 11:14:00	19,44	8,32
11:15	70	0,8	16.10.2019 11:15:00	19,44	8,32
11:16	70	0,8	16.10.2019 11:16:00	19,44	8,32
11:17	70	0,8	16.10.2019 11:17:00	19,44	8,32
11:18	70	0,8	16.10.2019 11:18:00	19,44	8,32
11:19	70	0,8	16.10.2019 11:19:00	19,44	8,32
11:20	70	0,8	16.10.2019 11:20:00	19,44	8,32
11:21	70	0,8	16.10.2019 11:21:00	19,44	8,32
11:22	0	4,9	16.10.2019 11:22:00	0,00	50,13





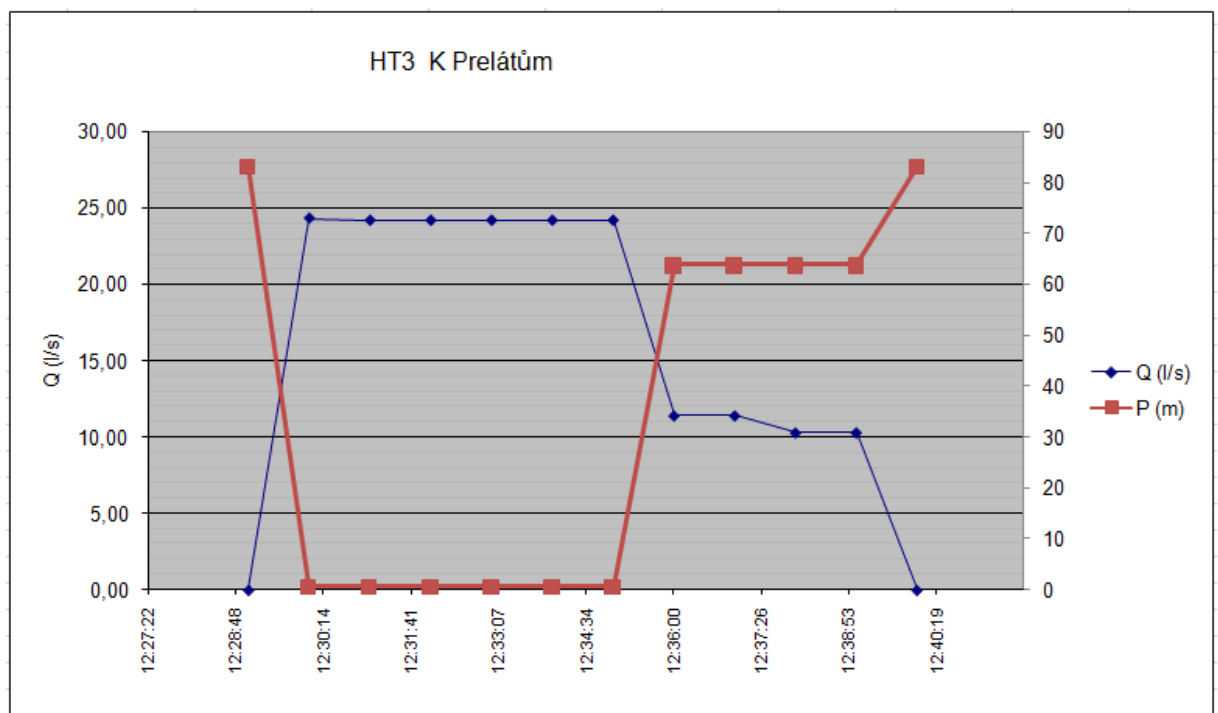
## Hydrantový test č.2

Čas	Q (m3/hod)	P (Bar)	Čas	Q (l/s)	P (m)
11:49	0	4	16.10.2019 11:49:00	0,00	41,05
11:50	54	0,8	16.10.2019 11:50:00	15,00	8,42
11:51	53,3	0,8	16.10.2019 11:51:00	14,81	8,42
11:52	53,4	0,8	16.10.2019 11:52:00	14,83	8,42
11:53	53,5	0,8	16.10.2019 11:53:00	14,86	8,42
11:54	53,5	0,8	16.10.2019 11:54:00	14,86	8,42
11:55	53,5	0,8	16.10.2019 11:55:00	14,86	8,42
11:56	53	0,8	16.10.2019 11:56:00	14,72	8,42
11:57	53,4	0,8	16.10.2019 11:57:00	14,83	8,42
11:58	53,4	0,8	16.10.2019 11:58:00	14,83	8,42
11:59	53,3	0,8	16.10.2019 11:59:00	14,81	8,42
12:00	0	4	16.10.2019 12:00:00	0,00	41,05



### Hydrantový test č.3

Čas	Q (m3/hod)	P (Bar)	Čas	Q (l/s)	P (m)
12:29	0	8,1	16.10.2019 12:29:00	0,00	83,16
12:30	87,5	0	16.10.2019 12:30:00	24,31	0,56
12:31	87	0	16.10.2019 12:31:00	24,17	0,56
12:32	87	0	16.10.2019 12:32:00	24,17	0,56
12:33	87	0	16.10.2019 12:33:00	24,17	0,56
12:34	87	0	16.10.2019 12:34:00	24,17	0,56
12:35	87	0	16.10.2019 12:35:00	24,17	0,56
12:36	41	6,2	16.10.2019 12:36:00	11,39	63,78
12:37	41	6,2	16.10.2019 12:37:00	11,39	63,78
12:38	37	6,2	16.10.2019 12:38:00	10,28	63,78
12:39	37	6,2	16.10.2019 12:39:00	10,28	63,78
12:40	0	8,1	16.10.2019 12:40:00	0,00	83,16



## Hydrantový test č.4

Čas	Q (m3/hod)	P (Bar)	Čas	Q (l/s)	P (m)
13:00	0	5,3	16.10.2019 13:00:00	0,00	54,40
13:01	34,5	0,6	16.10.2019 13:01:00	9,58	6,48
13:02	34,5	0,6	16.10.2019 13:02:00	9,58	6,48
13:03	34,5	0,6	16.10.2019 13:03:00	9,58	6,48
13:04	34,5	0,6	16.10.2019 13:04:00	9,58	6,48
13:05	35	0,6	16.10.2019 13:05:00	9,72	6,48
13:06	35	0,6	16.10.2019 13:06:00	9,72	6,48
13:07	35	0,6	16.10.2019 13:07:00	9,72	6,48
13:08	35	0,6	16.10.2019 13:08:00	9,72	6,48
13:09	35	0,6	16.10.2019 13:09:00	9,72	6,48
13:10	35	0,6	16.10.2019 13:10:00	9,72	6,48
13:11	0	5,4	16.10.2019 13:11:00	0,00	55,42

