

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

TEPLOTA VODY VE VODOVODNÍ SÍTI OBCE SLATINKY

WATER TEMPERATURE IN THE WATER SUPPLY NETWORK OF THE MUNICIPALITY OF SLATINKY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Jan Veniger

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Ručka, Ph.D.

BRNO 2026

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav vodního hospodářství obcí
Student:	Bc. Jan Veniger
Vedoucí práce:	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Akademický rok:	2025/26
Studijní program:	N0732A260025 Stavební inženýrství – vodní hospodářství a vodní stavby

Děkan Fakulty Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Teplota vody ve vodovodní síti obce Slatinky

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci řešení diplomové práce budou vyhodnocena data o teplotě vody, která byla získána během řízeného proplachu vodovodní sítě obce Slatinky. Informace o teplotě vody budou zpracovány do mapových podkladů obce. V rámci teoretické části bude provedena rešerše aktuální literatury na dané téma.

Cíle a výstupy diplomové práce:

V rámci řešení diplomové práce budou vyhodnocena data o teplotě vody, která byla získána během řízeného proplachu vodovodní sítě obce Slatinky.

Seznam doporučené literatury a podklady:

[1] Agudelo-Vera, C.; Avvedimento, S.; Boxall, J.; Creaco, E.; de Kater, H.; Di Nardo, A.; Djukic, A.; Douterelo, I.; Fish, K.E.; Iglesias Rey, P.L.; Jacimovic, N.; Jacobs, H.E.; Kapelan, Z.; Martinez Solano, J.; Montoya Pachongo, C.; Piller, O.; Quintiliani, C.; Ručka, J.; Tuhovčák, L.; Blokker, M. Drinking Water Temperature around the Globe: Understanding, Policies, Challenges and Opportunities. *Water*, 2020, roč. 1049, č. 12(4), s. 1-19. ISSN: 2073-4441.

[2] RUČKA, J.; HAŠKA, A.; RAJNOCHOVÁ, M.; ZUZAŇÁK, R. Vyhodnocení teploty vody ve vodovodní síti v horkém letním období – případová studie. *VODA ZLÍN 2025*. 28. Olomouc: Moravská vodárenská, a.s., Tovární 41, 779 00 Olomouc, 2025. s. 117-123. ISBN: 978-80-909129-1-5.

[3] Rossman, L.A. (2020) EPANET 2.2 User Manual. Water Supply and Water Resources Division, National Risk management Laboratory, USEPA, Cincinnati, OH.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 17. 3. 2025

L. S.

doc. Ing. Petr Hlušík, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Jan Ručka, Ph.D.
vedoucí práce

prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA, dr. h. c.
děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá analýzou teploty vody ve vodovodní síti obce Slatinky, která se nachází v okrese Prostějov v Olomouckém kraji. Úvodní část shrnuje dosavadní poznatky v této problematice, které jsou doplněny o aktuální odbornou literaturu publikovanou v posledních měsících. Tyto teoretické podklady slouží jako východisko pro následnou analýzu a interpretaci naměřených dat o teplotě vody ve vodovodní síti obce Slatinky. Pro měření teploty vody byla použita technologie Astacus, kterou společnost VODA BRNO, s.r.o. využívá k řízenému proplachu vodovodního potrubí. Měření probíhalo v letním a zimním období pro lepší pochopení souvislostí v této tematické oblasti. Práce dále popisuje průběh teploty vody podél jednotlivých úseků vodovodních řadů. Závěrečná část se zaměřuje na posouzení vlivu vybraných faktorů na teplotu pitné vody ve vodovodní síti a popisuje sezónní změny v distribuční síti.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zásobování pitnou vodou, pitná voda, teplota vody, kvalita vody

ABSTRACT

This thesis deals with the analysis of water temperature in the water supply network of the municipality of Slatinky, located in the district of Prostějov in the Olomouc Region. The introductory section summarizes the current knowledge on this issue, supplemented by recent professional literature published in recent months. This theoretical background serves as a starting point for the subsequent analysis and interpretation of the measured data on water temperature in the water supply network of the municipality of Slatinky. Astacus technology, which VODA BRNO, s.r.o. uses for controlled flushing of water pipes, was used to measure water temperature. The measurements were taken in summer and winter to better understand the context of this topic. The thesis also describes the water temperature along individual sections of the water mains. The final part focuses on assessing the impact of selected factors on the temperature of drinking water in the water supply network and describes seasonal changes in the distribution network.

KEYWORDS

Drink water supply, drinking water, water temperature, water quality

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VENIGER, Jan. *Teplota vody ve vodovodní síti obce Slatinky*. Brno, 2025. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí Ing. Jan Ručka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané diplomové práce s názvem *Teplota vody ve vodovodní síti obce Slatinky* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 15. 1. 2026

Bc. Jan Veniger

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Teplota vody ve vodovodní síti obce Slatinky* zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 15. 1. 2026

Bc. Jan Veniger

autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu práce Ing. Janu Ručkovi, Ph.D. za ochotu a vstřícnost během konzultací. Dále bych chtěl poděkovat také rodině za podporu během celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	1
1.1	Cíl práce	1
1.2	Současný stav řešené problematiky	2
2	ÚVOD DO PROBLEMATIKY TEPLoty PITNÉ VODY	3
2.1	Faktory ovlivňující teplotu vody.....	3
2.1.1	Vliv půdy a materiálu potrubí	4
2.1.2	Vliv urbanizovaných oblastí na teplotu půdy a vody	8
2.1.3	Doba zdržení vody v potrubí.....	9
2.1.4	Závislost výskytu nežádoucích látek na teplotě pitné vody	12
3	SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ V PROBLEMATICE	14
3.1	Případová studie ve městě Almere	14
3.2	Vliv vysoké teploty pitné vody na její mikrobiologické složení.....	16
3.3	Shrnutí dosavadních znalostí o teplotě pitné vody.....	22
4	TEPLOTA PITNÉ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI OBCE SLATINKY	24
4.1	Popis zájmové lokality.....	24
4.2	Technologie Astacus	24
4.3	Podmínky v průběhu měření.....	26
4.4	Získaná data	29
4.4.1	Povrch nad vodovodním potrubí	30
4.4.2	Hydraulický model vodovodní sítě	32
4.4.3	Analýza získaných dat	35
4.4.4	Zajímavé průběhy teploty vody a jejich sezónní vývoj	43
4.4.5	Zajímavé průběhy teploty vody v jednotlivých obdobích měření.....	48
5	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ	52

5.1	Závěry	52
5.2	Doporučení.....	54
6	POUŽITÁ LITERATURA.....	56
7	SEZNAM TABULEK.....	59
8	SEZNAM OBRÁZKŮ	60
9	SEZNAM GRAFŮ	62
10	SEZNAM ZKRATEK	63

1 ÚVOD

Tato diplomová práce se věnuje analýze dat o teplotě pitné vody (TPV) v distribučním systému. Měření těchto dat bylo provedeno pomocí technologie Astacus, kterou používá společnost VODA BRNO, s.r.o. Lokalitou měření byla obec Slatinky, kde je vodovodní potrubí o délce 3 611 metrů. Měření TPV bylo pro lepší pochopení změn teploty vody provedeno dvakrát. Poprvé na začátku září 2024, tedy v období letním, a podruhé v březnu 2025, tedy v zimě. Pro ucelení znalostí o problematice budou využity některé závěry z bakalářské práce, které budou následně doplněny o nejnovější poznatky. Zpracování dat bylo oproti předchozí práci jednodušší, jelikož došlo ke zdokonalení výstupů technologie Astacus, která nyní automaticky generuje grafy s průběhy teploty vody na daném proplachovaném úseku, včetně údajů o minimální, maximální a průměrné naměřené teplotě pitné vody. Ke zpracování dat byla použita aplikace Microsoft Excel a aplikace QGIS, kde lze spolehlivě zobrazit teplotní průběhy po délce potrubí v mapových podkladech.

Nyní již lze s jistotou říci, že teplota pitné vody ovlivňuje celou řadu jejích vlastností. Má přímý vliv na její kvalitu, která souvisí se složením a chutí, což je důležité zejména pro provozovatele z hlediska spokojenosti jejich zákazníků – odběratelů. [4]

Teplota je zcela jistě zásadním parametrem pitné vody, který je důležité zohlednit vzhledem ke globální změně klimatu. Je třeba se touto poměrně opomíjenou problematikou zabývat již nyní, aby bylo možné v budoucnu přijmout vhodná opatření. Z hlediska monitoringu teploty pitné vody se hovoří především o překročení doporučené hodnoty 25 °C, kterou stanovila Světová zdravotnická organizace (WHO).

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce je získat a analyzovat data o teplotě pitné vody ve vodovodní síti obce Slatinky. Vzhledem k unikátnosti získaných dat lze na tuto problematiku pohlížet také z hlediska sezónních změn TPV během ročních období. S ohledem na stávající znalosti o jednotlivých faktorech, které teplotu vody v potrubí ovlivňují, je cílem co přesněji interpretovat výsledky měření. Informace

o TPV jsou zapracovány do mapových podkladů obce. V rámci teoretické části byla provedena rešerše aktuální literatury na dané téma.

1.2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

V České republice určuje vyhláška č. 252/2004 Sb. doporučenou hodnotu pro TPV, která je 8–12 °C. Kromě toho v této vyhlášce, konkrétně v příloze č. 1, lze nalézt také další parametry, které určují hygienickou nezávadnost pitné vody. Jedná se o biologické, mikrobiologické, fyzikální, chemické a organoleptické ukazatele. Mezi nimi lze najít koncentrace například pro chlor, vápník a hořčík, železo a dusičnany. Dále také zákal, barvu nebo nejvyšší mezní hodnoty pro koliformní bakterie. [1]

V posledních přibližně dvou letech se objevuje větší množství studií na toto téma. Stále více článků se věnuje také faktorům, které výslednou teplotu vody ovlivňují. Kromě toho lze najít také informace o tom, jak vyšší teplota ovlivňuje koncentraci chloru, zákal, složení biofilmu a další kvalitativní parametry. [2]

Globálně se doporučuje sledovat především limit 25 °C, který uvádí WHO jako hranici, pod kterou je důležité udržet TPV pro zachování její hygienické kvality. Je to především kvůli riziku mikrobiálního růstu, snížení účinnosti dezinfekce a kvůli zachování organoleptických vlastností. Podrobnější informace lze nalézt v publikaci *Guidelines for Drinking-water Quality* (GDWQ), kterou vydala Světová zdravotnická organizace v roce 2017. [3] [11]

2 ÚVOD DO PROBLEMATIKY TEPLoty PITNÉ VODY

Tato úvodní kapitola bude mít za cíl shrnout dosavadní poznatky o TPV v distribučním systému pitné vody (DSPV) obecně. Částečně to bylo nastíněno již na předchozích stránkách. Nejprve budou uvedeny aktuální informace o faktorech ovlivňujících teplotu pitné vody a následně bude vysvětleno, co znamenají nízké a vysoké hodnoty teploty vody. Tyto informace budou použity k vyhodnocování a interpretaci dat o TPV ze Slatinek. Snahou bude ověřit dosavadní tvrzení a vyvodit nové závěry a doporučení, které se této problematiky týkají a mohou do budoucna pomoci k efektivnějšímu hospodaření s pitnou vodou.

Odborná literatura v České republice v tomto ohledu příliš detailní informace nenabízí. Zahraniční literatura, zejména v poslední době, prezentuje poměrně zajímavé poznatky. Na vodu v potrubí působí mnoho vnějších činitelů, které ji ovlivňují příznivě či nepříznivě, a to zejména v kontextu zachovávání její hygienické kvality pro spotřebitele. Příznivě v tomto případě znamená, že díky nim je teplota vody nižší, naopak nepříznivým působením se rozumí stav, kdy dochází k prohřívání potrubí, potažmo vody v něm. K tomu většinou dochází kombinací určitých faktorů. Může docházet k tomu, že vyšší teplota pitné vody má větší tendenci ztrácet požadovanou kvalitu. Díky vyšším teplotám může být ve vodě vyšší koncentrace zákalu, může docházet ke změně ve složení biofilmu a také chuti. [2] [4]

Vzhledem k trendu narůstajících letních teplot, kdy se často lze setkat s maximy překračujícími hodnotu 30 °C, je důležité vědět, jak výslednou teplotu vody ovlivní její bezprostřední okolí, kterým je materiál potrubí a půda. Kromě toho má významný vliv také půdní pokryv, tím je v urbanizovaných oblastech nejčastěji asfalt, případně beton. Vyšší hustota zeleně a vegetační pokryv se také významně podílí na výsledné teplotě vody uvnitř potrubí. Dalším významným činitelem je v této problematice doba zdržení vody v potrubí, v okrajových částech distribučního systému to totiž mohou být i desítky hodin. [4] [15]

2.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ TEPLotu VODY

Poprvé se o formulaci závěrů na toto téma pokusili v Nizozemsku v roce 2013. Byla to studie, která se zabývala právě vlivem různých faktorů na výsledný kvalitativní

stav vody v potrubí, přičemž se také snažili o sestavení modelu, který by mohl predikovat výslednou teplotu pitné vody v určitém místě. [4] [15]

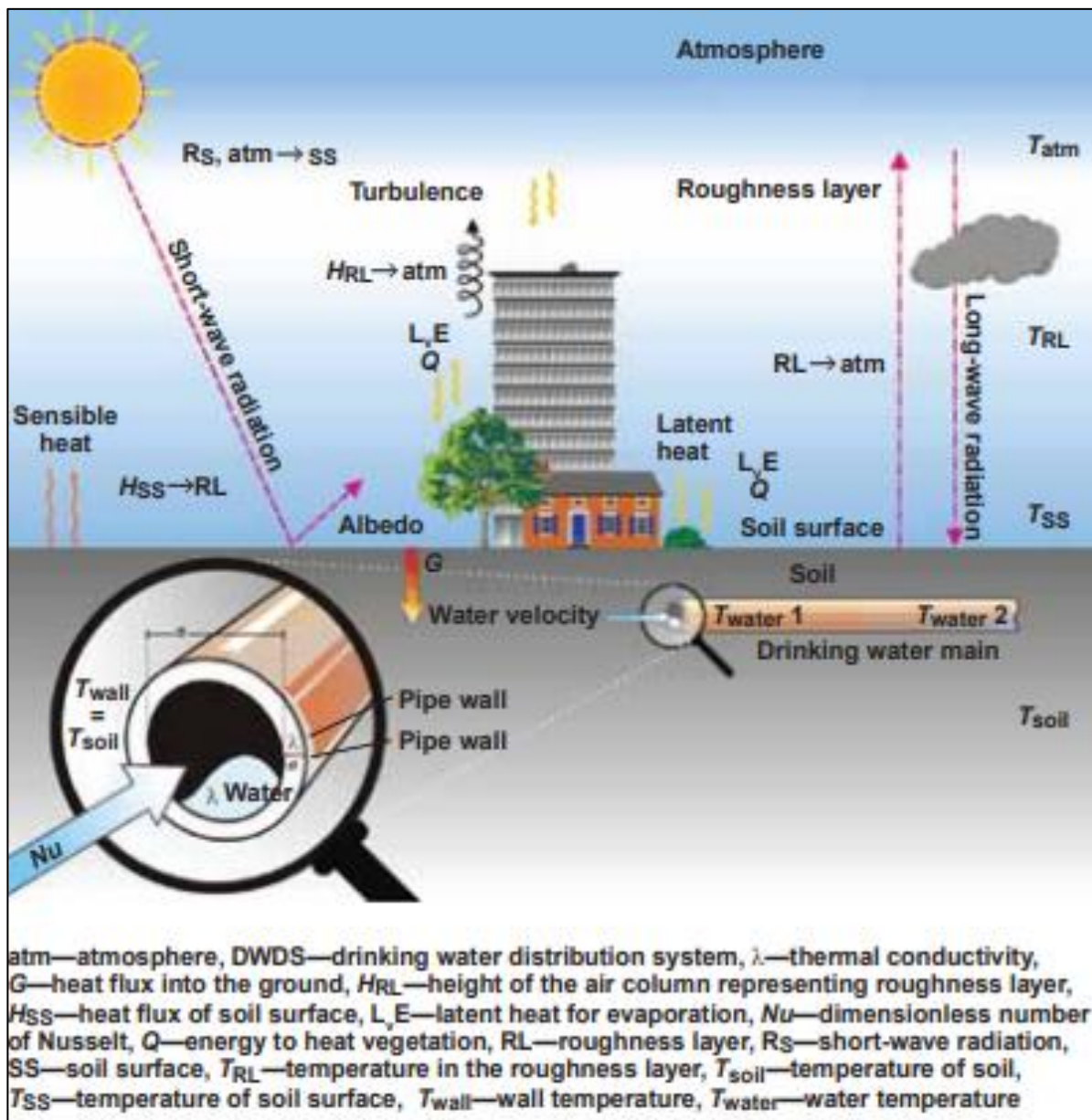
Už v té době se setkali v určitých oblastech sítě s hodnotami, které překračovaly hranici 25 °C. Trend je aktuálně takový, že se teplota vody čím dál více pohybuje kolem této hranice, a dokonce i nad ní. Je to dáno především tím, jak se vyvíjí klimatické podmínky během letních dní. Stále častěji se setkáváme s tzv. tropickým dnem, což je den, během něhož teplota dosáhne nebo překročí 30 °C. [4]

2.1.1 Vliv půdy a materiálu potrubí

Z předchozích kapitol je už zřejmé, co může způsobit ohřívání pitné vody. K tomu poměrně zásadně přispívá půda, která obklopuje vodovodní potrubí a také použitý materiál potrubí. Prostředí okolo vodovodního řadu by se dalo rozdělit do jednotlivých vrstev. Sem spadá nejen půda, ale také to, co ji pokrývá a obklopuje, tedy vzduch a intenzita slunečního záření. Teplota vzduchu a sluneční záření většinou souvisí s geografickou polohou a hustotou vegetace. [4] [10]

Z výzkumů vyplývá, že pokud lze efektivně zabránit prohřívání půdy, je to právě pomocí výsadby a intenzifikace zeleně. To je důležité především v hustě osídlených oblastech. Města často produkují velké množství tepla do okolního prostředí, v této souvislosti se uvádí pojem tzv. městské tepelné ostrovy. Jsou to místa, která produkují nadměrné množství tepla do okolního prostředí. Může za to právě nedostatek vegetace a velké množství nepropustných ploch. Betonové chodníky, asfaltové komunikace, ale také budovy, které velmi dobře akumulují teplo, jsou

ve výsledku činitelé, kteří ovlivňují procesy, které se odehrávají uvnitř vodovodního potrubí a mají významný vliv na výsledný stav pitné vody putující ke spotřebitelům.

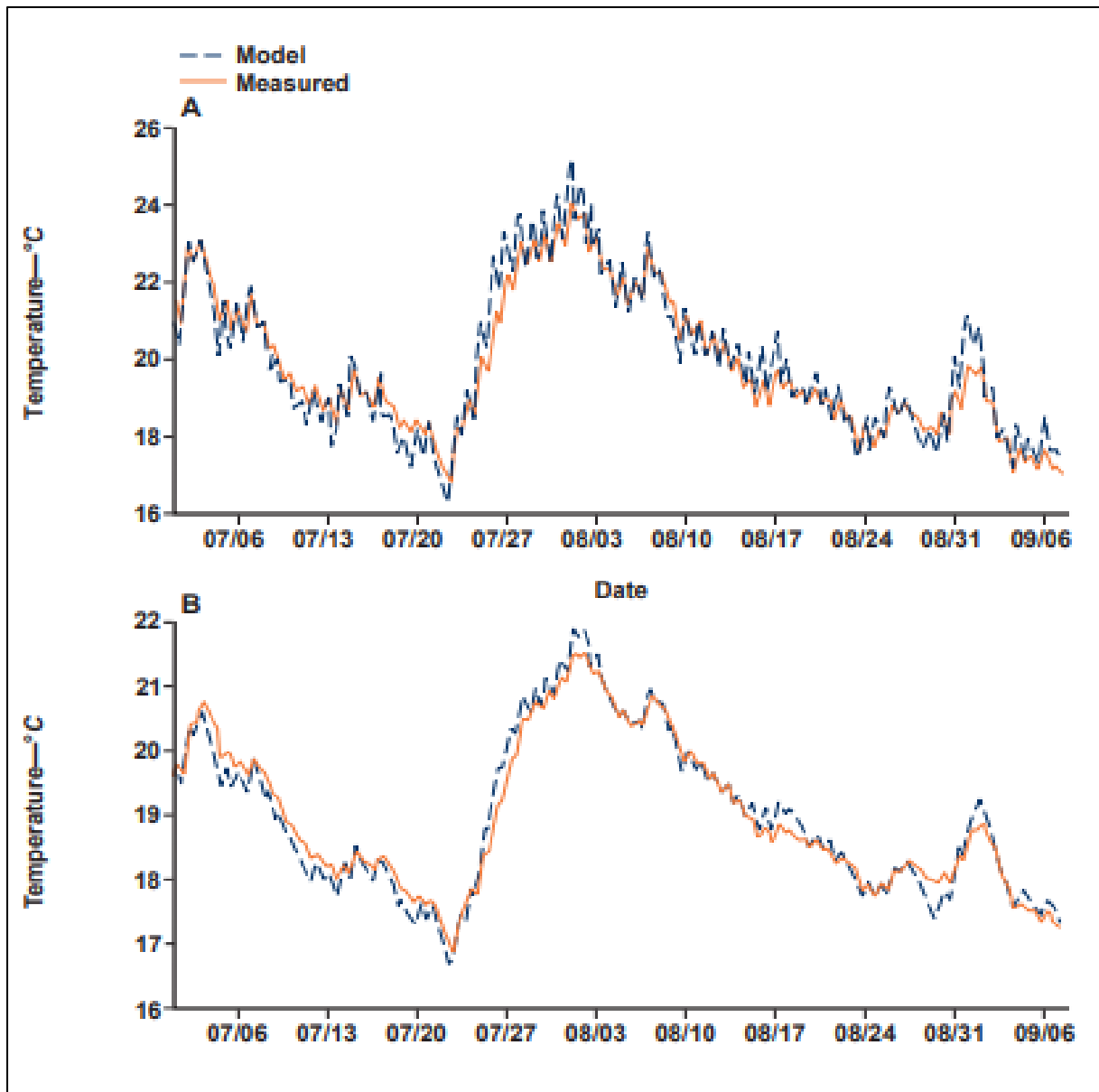


Obr. 1 Schéma prostředí a přenosu energie mezi jednotlivými vrstvami [4]

Jednotlivé činitele a procesy znázorňuje Obr. 1. Schéma pochází ze studie, kde je řečeno, že zásadní vliv na teplotu a přenos energie má v intravilánu výška budov, v extravilánu výška korun stromů. Tyto faktory určují teplotu okolního prostředí půdy v oblastech s různou hustotou osídlení. Výsledkem tohoto působení je nahromaděné teplo, které působí na půdu a dochází v jejím okolí k různým

intenzitám akumulace, které jsou dány například složením půdy, půdním pokryvem a dalšími faktory. [4]

Z hlediska přenosu tepla se v půdě zkoumá především tepelná vodivost. Ta je definována jako schopnost látky přenášet teplo, v případě zemin se jedná o to, jaký typ půdy je schopen nejlépe předat vodovodnímu potrubí a následně i vodě svoji tepelnou energii. Největším tepelným přenašečem je písek. Pokud je mokrý, tato veličina ještě narůstá, podobné parametry má také štěrk. [4]



Obr. 2 Vývoj teploty půdy v 50 a 100 cm pod povrchem [4]

Dalším důležitým fyzikálním parametrem je tepelná kapacita, která určuje schopnost daného materiálu akumulovat teplo. [4]

Do budoucna bude určitě důležité se zamyslet nad tím, jestli je vhodné nadále používat pískový nebo štěrkopískový obsyp potrubí, vzhledem ke snaze zamezit nárůstu teplot pitné vody, a to především během letních měsíců.

Na **Obr. 2** lze vidět průběh teploty půdy ve dvou různých hloubkách. Zásadní je vědět, že i v takových podmínkách může být teplota půdy téměř 22 °C. Jsou to hodnoty naměřené během letních měsíců, kdy teplota vzduchu byla okolo 30 °C. [4]

Důležitá je také volba vhodného materiálu vodovodního potrubí. Je to prvek, přes který dochází k přestupu tepla z půdy do vody, a tedy platí, že při vhodné volbě lze tento děj značně korigovat. [3]

Při přenosu tepla z potrubí na pitnou vodu je popsán určitý paradox. U „teplovodivých“ materiálů závisí přenos tepla (konvekce) na průtoku. Čím vyšší je průtok, tím snadněji se voda ohřívá. Na druhou stranu, pokud se průtok snižuje a voda v potrubí stagnuje delší dobu, tak potom jednodušeji přejímá teplo z okolního prostředí. Konkrétně se jedná o dva režimy přenosu tepla – při vyšším průtoku roste intenzita nucené konvekce, takže se teplo z potrubí do vody předává účinněji v daném okamžiku. Naopak při nízkém průtoku nebo stagnaci má voda delší čas na výměnu tepla s potrubím a okolím, takže se její teplota může výrazněji přiblížit teplotě prostředí. Výsledná teplota vody je tedy dána kombinací průtoku, doby setrvání v potrubí a teplotního rozdílu. [4]

Tab. 1 Tepelná vodivost materiálů potrubí [4]

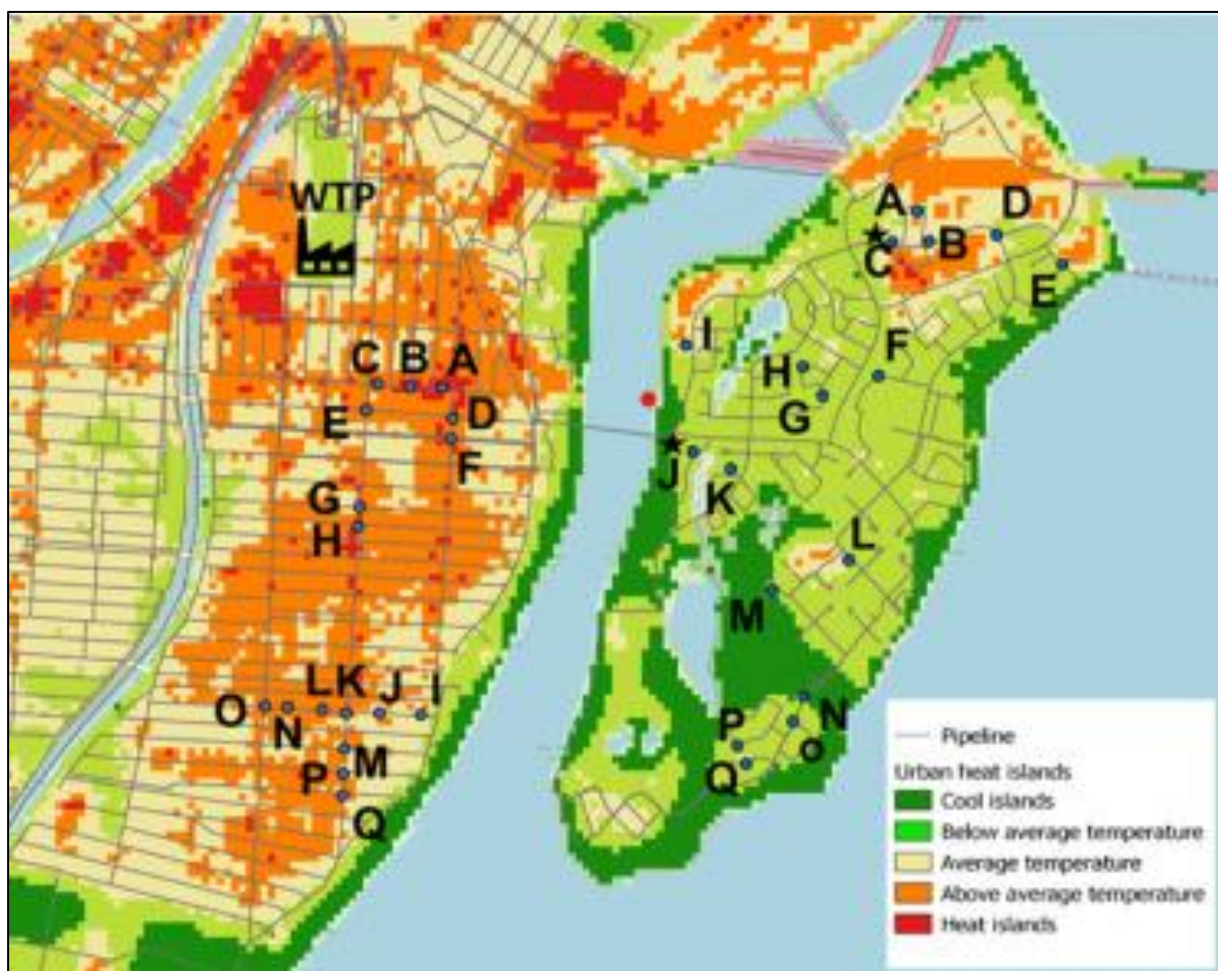
Materiál	Tepelná vodivost λ [W/m*K]
Litina	60
PVC	0,16

Z hlediska tepelné vodivosti jsou uvedeny dva opačné příklady, což ukazuje **Tab. 1** Tepelná vodivost materiálů potrubí [4] Z výzkumu vyplývá, že v letních obdobích má plastové potrubí až o 2 °C nižší teplotu než okolní půda. Zatímco v případě litiny jsou tyto dvě hodnoty totožné. [4]

2.1.2 Vliv urbanizovaných oblastí na teplotu půdy a vody

Je zřejmé, že půdní pokryv hraje velkou roli v této problematice. Nepropustné plochy zvyšují evapotranspiraci, povrchový odtok a přispívají k tvorbě a významnosti městských tepelných ostrovů, které ovlivňují klima v hustě osídlených oblastech a jejich blízkém okolí. Díky tomu dochází k prohřívání pitné vody v potrubí, a to má za následek rychlejší rozklad chloru, vznikají vedlejší produkty dezinfekce a významně se zvyšuje koncentrace dusitanů. [4] [10] [20]

Studie, která vznikla v kanadském Montrealu předkládá zajímavé zjištění. Dvě kontrastní oblasti, ve kterých byla naměřena TPV ve městě Montreal, se nacházejí v těsné blízkosti a jsou zásobované z jedné úpravně vody (ÚV). Místa se zeleným šrafováním jsou hustě pokryta zelení, zatímco ty červené a oranžové mají větší zastoupení nepropustných ploch. Tyto dvě oblasti jsou rozděleny podle naměřených hodnot do pěti tříd. [4] [10]



Obr. 3 Zóny s různými druhy povrchu [4]

V obou zónách byla provedena analýza stejným způsobem: pomocí teplotního čidla umístěného na vnější straně vodovodního potrubí uvnitř budov. Monitorovány byly budovy komerční i obytné. Uvedená písmena na **Obr. 3** znázorňují místa měření. [4] [10]

Naměřené údaje ukazuje **Tab. 2.** a je tam vidět, že jsou rozdíly mezi jednotlivými naměřenými hodnotami poměrně velké. To potvrzuje vliv odlišného půdního pokryvu v jednotlivých měřených oblastech. [4] [10]

Tab. 2 Přehled naměřených teplot podle jednotlivých tříd oblastí [4] [10]

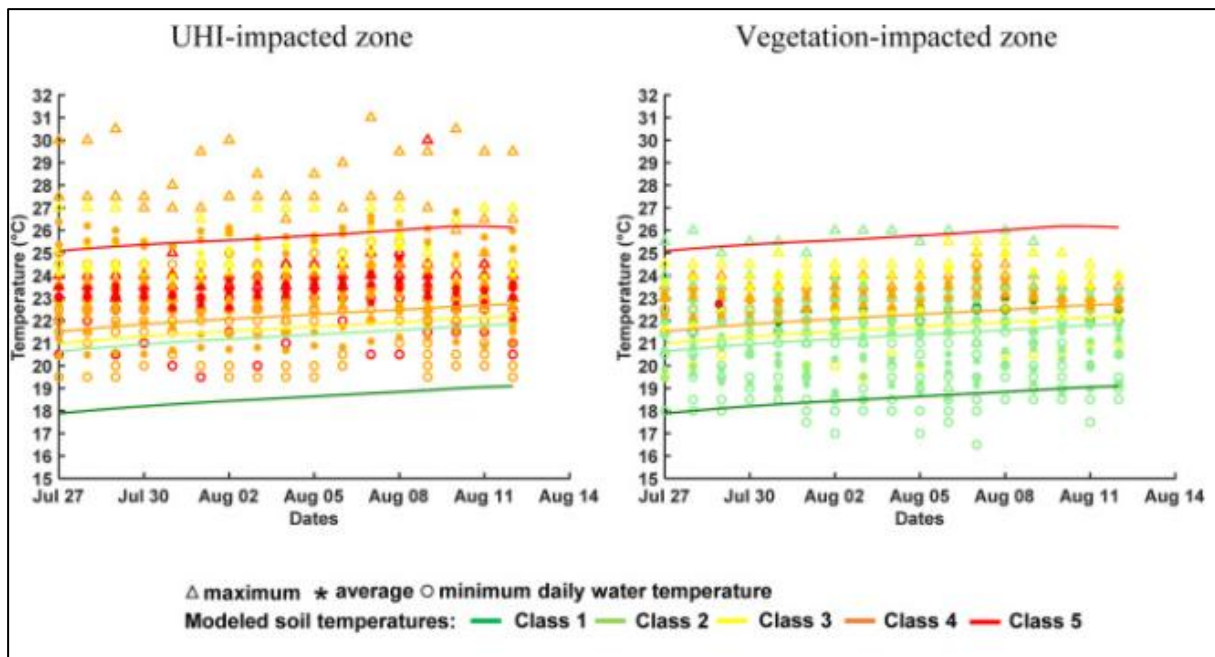
Třídy oblastí	Třída 1	Třída 2	Třída 3	Třída 4	Třída 5
Průměrné minimum [°C]	18,0	20,2	21,6	22,0	23,6
Průměrný medián [°C]	19,0	22,1	22,4	22,9	24,7
Průměrné maximum [°C]	21,0	24,2	23,1	23,7	26,5

2.1.3 Doba zdržení vody v potrubí

Teplotu distribuované vody ovlivňuje mimo jiné doba zdržení. Nizozemská studie (2020) naznačuje, že při době zdržení delší než 12 hodin může docházet k jejímu ohřevu a po více než 48 hodinách voda dosahuje teploty okolní půdy. Kanadské studie však tento závěr zpochybňují a upozorňují, že jejich výsledky mohou být ovlivněny specifickými vstupními podmínkami – nizozemský výzkum vycházel z podzemní vody o teplotě kolem 10 °C a z modelu s konstantní teplotou půdy 25 °C, což mohlo vést ke zkreslení. [4] [10] [15]

V této diplomové práci bude době zdržení věnována větší pozornost, protože z dostupných dat vyplývá, že je mezi dobou zdržení a měřenými teplotami úzká souvislost. [10]

Níže na **Obr. 4** lze vidět podrobný vývoj modelované teploty půdy a měřené teploty vody během jednotlivých dnů v období 27. 7. – 14. 8. 2022. Levý graf označuje urbanizovanou oblast, pravý graf potom oblasti ovlivněné vegetací. [4] [10]



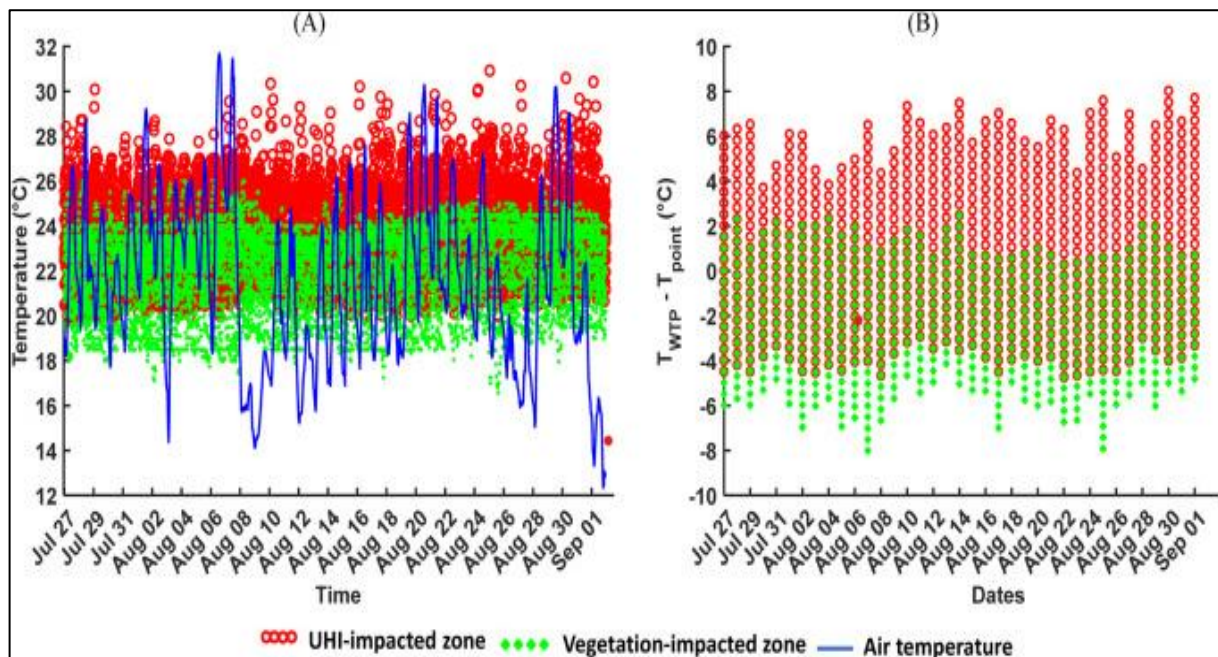
Obr. 4 Měřené a modelované teploty půdy [4]

Naměřené průměrné hodinové teploty vody se v urbanizovaných oblastech pohybovaly mezi 19,9–31 °C, zatímco na územích pokrytých vegetací mezi 16,6 až 26 °C. Ze zkoumání hloubky uložení a jejího vlivu na výslednou teplotu vody vyplývá, že rozdíl teploty půdy při hloubce uložení 1 metr a 1,8 metru je 2,9 °C. Teplota půdy je v tomto případě výsledkem modelování. V této souvislosti je také důležité říct, že výslednou teplotu neurčuje jenom doba zdržení na určitém místě, ale také to, odkud voda na dané místo přitéká. Tedy chladnější voda může přitéct do hustě urbanizované oblasti a zkreslovat tak výsledné hodnoty v daném místě. Je pravděpodobné, že čím je vodovodní síť rozsáhlejší a delší, tím bude tento jev významnější. [4] [10]

Vždy je důležité při vyhodnocování pohlížet na distribuční síť jako celek, který je ovlivňován faktory, které jsou z velké části pro každou tuto síť individuální. Nelze obecně říct, že vhodná volba materiálu, nebo větší hloubka uložení nám v daném místě s jistotou zajistí zachování hygienické kvality pitné vody. [4]

Aktuálně tedy nelze naprosto přesně kvantifikovat míru vlivu jednotlivých faktorů. Proměnných, které ovlivňují finální teplotu pitné vody, je mnoho a téměř nikdy není možné monitorovat a zohlednit úplně všechny. TPV se potom také mění uvnitř budov, kde je monitoring ještě náročnější než venku, protože je velmi ovlivněn nepravidelným odběrem a typem budov. Alespoň částečně se snaží tuto

problematiku nastínit naměřená data, která jsou zobrazena a popsána detailněji níže. [4] [10]



Obr. 5 Přehled naměřených hodnot [4]

Obr. 5 ukazuje vlevo průměrné hodinové teploty vody v oblastech městských tepelných ostrovů a oblastech ovlivněných výsadbou vegetace. Modře je potom znázorněna průměrná hodinová teplota vzduchu. Největší zjištěný rozdíl teploty pitné vody mezi oblastmi označenými červeně a zeleně činil 5,5 °C. Druhý graf na Obr. 5 v části (B) vykresluje rozdíl mezi průměrnou denní teplotou vody v ÚV a hodinové teploty vzduchu v místech měření teploty vody. [4] [10]

Teplota půdy má mnohem větší vliv na vodu v potrubí než vzduch. I když teplota vzduchu ovlivňuje výsledný stav půdy, neexistuje mezi těmito veličinami přímá úměrnost. Je to pravděpodobně způsobeno kombinací faktorů, například průměrnou hustotou půdy, tepelnou kapacitou půdy a intenzitou slunečního záření. [4] [10]

Zároveň zde nebyla prokázána ani závislost původu zdroje vody na výsledné TPV ve vodovodním potrubí. [4] [10]

Studie také naznačuje, že více než celková doba pobytu vody v síti na daném místě, je důležitější, kudy a jakými podmínkami je distribuována. Dobu zdržení je ale důležité monitorovat, jelikož delší doba stagnace v kombinaci s vyššími teplotami

vody negativně ovlivňují koncentraci dezinfekčního chloru až do takové míry, že může dojít k jeho úplnému rozkladu. S tím souvisí i vliv na růst nežádoucích bakterií, které jsou pro člověka zdravotně závadné. [4] [10]

Jelikož je měření teploty půdy náročné, přistupuje se v tomto ohledu spíše k modelování, které charakterizuje půdu pomocí několika parametrů. Na její teplotu mohou mít vliv i podzemní zdroje tepla. Body D a F z **Obr. 3** jsou v blízkosti stanice metra, i to může být producentem nadměrného tepla, kterému je zemina vystavována. Dalším lokálním zdrojem tepla v zemině může být přítomnost potrubních rozvodů systémů dálkového vytápění. [4] [10]

Jako nejúčinnější a zároveň nejekonomičtější opatření pro regulaci teplotních výkyvů ve vodě v distribučním systému se jeví intenzivnější rozmístění zeleně v městských ekosystémech. Pokud by výsadba přímo kopírovala trasu vodovodu, je potvrzené, že teplota pitné vody bude klesat. Při chybějící vegetaci mohou být její hodnoty vyšší až o 8 °C. [4] [10]

Dalším možným opatřením je potom změna hloubky uložení. Ale i při uložení potrubí do hloubky 1,8 metru, byla nejvyšší naměřená teplota vody 32 °C. Jako účinnější se proto jeví intenzivnější výsadba vegetace v městských oblastech. [4] [10]

2.1.4 Závislost výskytu nežádoucích látek na teplotě pitné vody

Ftaláty (estery kyseliny ftalové) představují skupinu syntetických organických látek, které se již desítky let používají především jako změkčovadla v plastech. Z hlediska vodárenství jde o látky významné zejména proto, že mohou migrovat z materiálů používaných v distribučních systémech do pitné vody. Jejich koncentrace přitom roste s některými fyzikálně-chemickými parametry vody – její teplota, pH a doba zdržení v potrubí. [4] [12] [13] [14]

Ftaláty zahrnují přibližně čtyřicet chemických sloučenin. Uplatňují se především při výrobě PVC, plastů pro stavebnictví a výrobků denní spotřeby. V minulosti byly běžné i v hračkách nebo potravinových obalech, avšak evropská legislativa jejich používání zásadně omezila. Některé z nejběžnějších ftalátů – DEHP, DBP, DINP či BBP – jsou dnes v EU zcela zakázány. [4] [13]

Z expozice ftalátům vyplývají rizika i pro dospělou populaci; nejnáchylnější skupinou jsou děti. Studie dlouhodobě potvrzují jejich endokrinní aktivitu, především schopnost narušovat funkci androgenů, ovlivňovat vývoj štítné žlázy, růstové hormony a vývoj plodu. Některé ftaláty jsou rovněž hodnoceny jako potenciálně karcinogenní. Ftaláty se mohou do lidského organismu dostávat nejen pitím vody, ale i vdechováním nebo kontaktem s pokožkou. [4] [13]

Zdroje ftalátů ve vodě: [4] [12]

- Plastové vodovodní potrubí
- Filtrační membrány a vložky
- Těsnění
- Skladovací vaky a plastové nádoby

Z hlediska materiálů vykazoval nejvyšší hodnoty EPDM – elastomer používaný jako těsnění. Naopak polybuten (PB) vykazoval nejnižší koncentrace ftalátů. Koncentrace se pohybovaly mezi hodnotami 0,07 – 11,0 µg/l. [4] [12]

Výskyt těchto látek ve vodě ovlivňuje především její teplota, rozdíly v koncentracích ve vodě, která měla 25 °C a 80 °C byly několikanásobné. Z hlediska běžných provozních podmínek ve vodovodu není tato informace zase tak zásadní, v zimním období se teplota pohybuje většinou okolo 10 °C, ale v létě se může vyšplhat i k hranici 30 °C, a to už může být z hlediska koncentrace těchto látek ve vodě zajímavé. [4] [12]

Dalším ukazatelem je hodnota pH. S klesajícím pH se migrace ftalátů výrazně zvyšuje. Co se týče doby zdržení, tak koncentrace ftalátů neustále rostly, přičemž v literatuře i při intervalu 112 hodin nedocházelo k náznakům stabilizace měřených hodnot. Vyplývá z toho, že k migraci ftalátů do vody dochází kontinuálně a ne jednorázově. Při průtoku je tento přenos výrazně menší. [4] [12]

Čínský výzkum hodnotil také to, jaká rizika vyplývají pro člověka, pokud je vystaven působení těchto látek. Měřené koncentrace byly vždy pod limitem americké Agentury pro ochranu životního prostředí (US EPA) i WHO. Příjem ftalátů se přepočítává jako hmotnost v miligramech na kilogram váhy člověka za den. Pro dospělého a zdravého člověka to bezprostřední ohrožení není, ale u dětí nebo starších a nemocných lidí mohou mít tyto látky i v nízkých koncentracích negativní účinky. [4] [12]

3 SOUČASNÝ STAV POZNÁNÍ V PROBLEMATICE

Většina studií z posledních let se shoduje na tom, co již bylo zmíněno. Udržení teploty pitné vody na cestě z ÚV až zákazníkům pod hranicí 25 °C je velmi důležité. Teplota přímo ovlivňuje její kvalitativní parametry – chuť, vliv na absorpci chemických látek a růst mikroorganismů. Shoda je také na tom, že při aktuálním trendu globální změny klimatu se situace okolo této problematiky bude spíše zhoršovat. Zásadní tedy je určit vliv jednotlivých faktorů, které mají za následek vyšší teplotu pitné vody a deklarovat postup, jak snížit jejich účinky. [4] [5]

Z hlediska legislativy se většina vyspělých zemí orientuje dle doporučení WHO. Česká republika stejně jako ostatní země mají v tomto ohledu dané hodnoty, které jsou hlavně doporučující a při běžném provozu se tato data nezaznamenávají. Výjimkou jsou v tomto případě Nizozemci, jejichž směrnice o pitné vodě přímo stanovuje, že teplota vody u kohoutku jednotlivých zákazníků by neměla přesáhnout 25 °C. Vzhledem k tomu Holanďané v posledních letech zjišťují, že během teplejších letních období dochází k tomu, že je této limitní hodnoty dosahováno poměrně často. Navíc lokálně může docházet k překročení této hranice, většinou se tak děje ale pouze dočasně. [4] [5]

3.1 PŘÍPADOVÁ STUDIE VE MĚSTĚ ALMERE

Podobně jako v kanadském Montrealu, tak i v Nizozemí se zabývali tím, jak voda proudí potrubím oblastmi s různým vývojem teploty vody. Jedná se o data z města Almere. [5]

Výhodou tohoto výzkumu je existence funkčního hydraulického modelu sítě, kde je připojeno 76 tisíc nemovitostí. To je pro představu přibližně město Zlín. Mají zde dva zdroje vody (nádrže), analyzovaný interval výpočtu je 24 hodin. Do aplikace EPANET je také implementován model přenosu tepla, který popisuje rychlost, jakou se mění teplota vody v distribučním systému. Závisí to na materiálu potrubí, průměru, a rychlosti proudění. Okrajové podmínky jsou teplota vody ze zdroje a teplota vnější stěny potrubí. Uvažována je konstantní hloubka uložení, která je jeden metr pod povrchem.

Dalším obecným předpokladem je také to, že v budoucnu dojde k nárůstu teploty vzduchu v létě o 4 °C a tato teplota bude zcela přenesena na stěnu potrubí.

Výzkumníci neměli k dispozici mapu teploty půdy v hloubce uložení potrubí a byla tak pouze odvozena z předchozích měření. Půdní pokryv rozdělili na čtyři hlavní typy: [5]

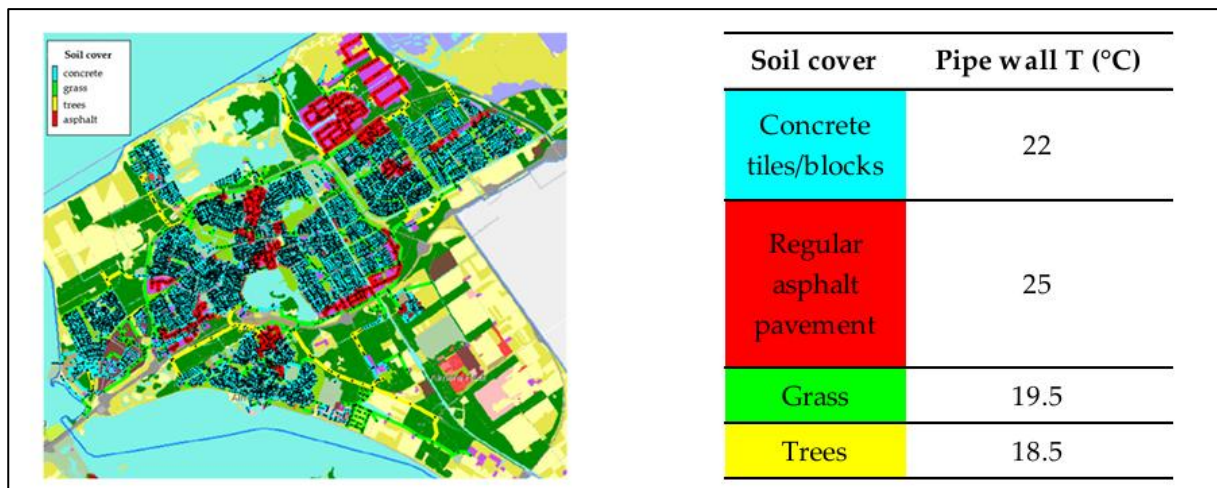
- Obytná – betonové dlaždice
- Komerční/průmyslová – asfalt
- Travnatá
- Zalesněná

Podobné dělení bylo provedeno také v bakalářské práci, která vznikla před vydáním tohoto článku a znamená to, že myšlenkový postup je správný.

Na závěr tato studie prezentuje několik možných opatření, které by mohli zabránit nežádoucímu stavu prohřívání potrubí. Shodují se na důležitosti typu půdního pokryvu. Možným řešením je v krizových oblastech městských tepelných ostrovů použití porézního asfaltu a propustných zámkových betonových dlažeb. Očekávané snížení teploty půdy při použití těchto materiálů je 2–3 °C v závislosti na místních podmínkách. Což se jeví jako poměrně jednoduchá a finančně dostupná varianta i z hlediska budování nových parkovacích ploch nebo městských chodníků. [5]

Další možností je potom změna materiálu potrubí. Není zde uvedeno nic o tepelné vodivosti jednotlivých materiálů, ale doporučení se týká použití vícevrstevných potrubí, které mají lepší izolační vlastnosti. Toto konstrukční řešení se používá nyní hlavně pro potrubí, které se používá v systémech dálkového vytápění. [5]

Na **Obr. 6** je vidět, jak ovlivňuje půdní pokryv výslednou teplotu na stěně potrubí. [5]



Obr. 6 Vývoj teplot ve městě Almere [5]

Díky tomu, že je známo, jak typ půdního pokryvu ovlivňuje teplotu na stěně potrubí, je vhodné přijmout i další opatření. V případě výstavby nových vodovodních řadů by mohlo dojít k uzpůsobení jejich tras, aby se co nejvíce vyhýbali místům, kde se akumuluje teplo. Sem patří například průmyslové oblasti, nebo oblasti s podzemními zdroji tepla. Souborem řešení, které mají zabránit výskytu vyšších teplot v půdě a uvnitř potrubí lze dosáhnout uspokojivých hodnot teploty vody. [5]

Zajímavým zjištěním je, že pomocí výše popsaného modelu byl simulován extrémní scénář předpokládající nárůst teploty vzduchu o 4 °C. Za těchto podmínek by docházelo k distribuci pitné vody, u níž by přibližně 60 % celkového objemu bylo vystaveno teplotám přesahujícím 25 °C, přičemž u 19 % objemu by tyto teploty přetrvávaly po celý den. Tento stav by již nepředstavoval pouze lokální a časově omezený jev, jak je tomu v současnosti. [5]

3.2 VLIV VYSOKÉ TEPLoty PITNÉ VODY NA JEJÍ MIKROBIOLOGICKÉ SLOŽENÍ

Vyšší teploty pitné vody jsou nežádoucí i z hlediska jejího mikrobiologického složení. Tento nežádoucí stav vzniká působením fyzikálních, chemických a mikrobiálních mechanismů. Při teplotách nad 25 °C je pravděpodobnější výskyt bakterií jako je *Legionella pneumophila* a *Naegleria fowleri*, které se řadí do kategorie termotolerantních oportunních patogenů a mají na svědomí většinu epidemií, které se týkaly hygienicky závadné pitné vody. [7] Jejich výskyt lze

regulovat dávkováním dezinfekčních prostředků, jako jsou chlor nebo chloramin. [6]

U *Naegleria fowleri* je zásadní, že riziko infekce souvisí hlavně s vniknutím kontaminované vody do nosu. [23]

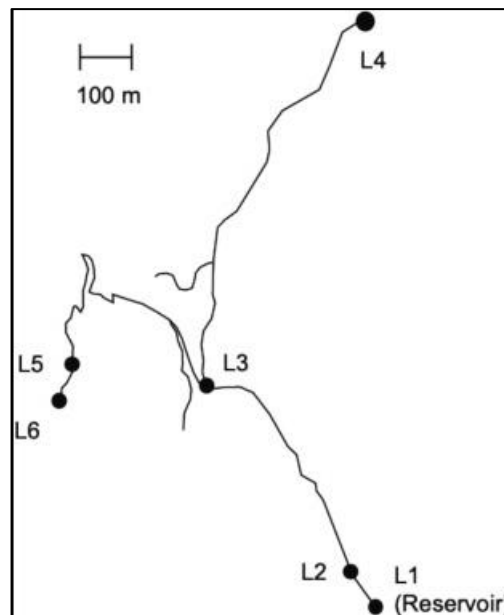
Problémem může být u některých druhů bakterií rezistence vůči dezinfekčním prostředkům. Navíc zachování množství nadávkovaných chemických látek na ÚV po celé trase sítě se zdá být při vyšších teplotách poměrně problematické. [6]

Kromě teploty samotné ovlivňuje složení vody také pH a obsah živin. Tím jsou mikrobiální komunity ovlivňovány přímo i nepřímo. Pro bakterie typu *Legionella* jsou ideální teploty, které se pohybují v rozmezí 30–50 °C. Literatura uvádí, že optimální teplota růstu pro tyto organismy je nad 35 °C. Předpokládá se, že uvnitř potrubí přežívají především v biofilmech, kde mají dostatek živin a vhodné podmínky pro úkryt. Pokud s rostoucí teplotou roste množství biofilmových společenstev, tak roste také působiště oportunistických patogenů. [6]

Ve Španělsku a USA při terénních výzkumech distribučních systémů byla nalezena *Legionella* ve vodě o teplotě 18–32 °C, a to i při koncentracích chloru od 0,1 do 1,0 mg/l. Také je napříč literaturou shoda na tom, že tento patogen koreluje nejen s TPV, ale také s výskytem biofilmu. Z Michiganského výzkumu vychází, že výskyt legionelózy přímo souvisel s průměrnou a maximální teplotou vody v potrubí. [6]

Dále například v Austrálii již nyní bojují v létě s teplotami, které jsou standartně přes 20 °C, což umožňuje výskyt další bakterie – *Naegleria Fowleri*. [6]

Jak může ovlivnit kvalita vody výskyt Legionelly, pokud se zkoumá její fyzikálně-chemické složení, dobře popisuje výzkum z Japonska – *Legionella community dynamics in a drinking water distribution system: Impact of residual chlorine depletion*, kde probíhal odběr vzorků během jednoho roku na síti o délce necelé tři kilometry. Průměry potrubí na této síti jsou 100, 150 a 200 mm. Zastoupeným materiálem je potom tvárná litina s epoxidovou pryskyřicí nebo cementovou maltou. [7]



Obr. 7 Kostra sítě a odběrná místa [7]

Od vodojemu a bodu L1 ke krajním bodům L4 a L5 rychle klesá zbytková koncentrace chloru. Tento pokles může být způsoben například reakcí mezi volným chlorem a organickou hmotou, mikroby a materiálem potrubí. To přímo souvisí s tím, že v koncových bodech vzrůstá hladina genu *Legionella*. Takže dochází ke snížení účinnosti dezinfekce, což je hlavní faktor spouštějící růst těchto mikrobů. S ubývajícím množstvím dezinfekčních prostředků a rostoucí vzdáleností od vodojemu výrazně roste rozmanitost složení jednotlivých komunit *Legionella*. [7]

Ostatní studie potom prezentují také vyšší stagnace vody v potrubí a s tím spojené stáří vody jako faktor, který způsobuje úbytek dezinfekčního prostředku. Tady je ale uvedeno, že za úbytkem chloru ve vodě a růstem mikroorganismů stojí koroze potrubí. Průzkum endoskopem místního provozovatele totiž odhalil korozní hrbolky na vnitřní straně potrubí hned v několika případech. Korozní produkty jsou dlouhodobě sledovány jako možná ohniska mikrobiálního růstu. [7]

Vliv teploty vody na výskyt *Legionella* zde není potvrzen, naměřené hodnoty 10 až 27,5 °C nejsou v tomto konkrétním případě zřejmě ideálními podmínkami růstu ani přežití. [7]

TPV může spolu s hydraulickým režimem ovlivňovat zákal a růst biofilmu v distribuční síti. To se snaží objasnit studie *Impacts of temperature and hydraulic*

regime on discolouration and biofilm fouling in drinking water distribution systems. Hlavním důvodem nespokojenosti spotřebitelů pitné vody ve světě je zákal. Přestože zákal nemusí nutně znamenat hygienickou závadnost vody, představuje významný estetický problém, který negativně ovlivňuje vnímání kvality pitné vody a může podporovat zvýšenou neochotu jejího odběru a následné úhradě. [2]

Zabarvení pitné vody je zpravidla způsobeno přítomností rozpuštěných látek, zejména sloučenin železa, manganu nebo organických látek, zatímco zákal je optickým projevem přítomnosti jemných suspendovaných částic. Tyto částice jsou nejčastěji tvořeny produkty koroze potrubí, případně vznikají v důsledku chemických a biologických interakcí v distribučním systému. Zvýšený obsah železa a manganu ve vodě se tak může podílet jak na zbarvení, tak na zvýšení zákalu. [2]

K problematice zákalu a jeho interpretaci lze přistupovat dvěma odlišnými způsoby. Prvním z nich je sedimentační přístup, při němž je chování částic řízeno jejich vlastní hmotností a popsáno pomocí tzv. Shieldsova kritéria. Druhým přístupem je predikce zákalu prostřednictvím modelu *Prediction of Discolouration in Distribution Systems* (PODDS). Tento model vychází z konceptu soudržných vrstev a je založen na pozorování, že částice v distribučních systémech pitné vody jsou obecně příliš malé a mají nízkou hustotu, než aby jejich chování bylo určováno účinky gravitace. [2]

Použití modelu PODDS je v současnosti poměrně rozšířené, zejména pro přesnou predikci toho, jak reaguje zbarvení vody na změnu hydraulických podmínek. Jeho nevýhodou však zůstává nemožnost přidání údajů o teplotě pitné vody. Z dostupných pozorování dále vyplývá, že výstupy modelu vykazují analogii s procesy akumulace a mobilizace mikrobiálních biofilmů, které jsou významně ovlivňovány hydraulickým režimem. [2]

Fakta, která byla potvrzena ohledně teploty vody a mikrobiologie v potrubí jsou následující: [2]

- Větší reporting změn barvy pitné vody je v letních měsících
- S vyšší teplotou se zvyšuje akumulace materiálu v distribučním systému

Studie z Velké Británie identifikují jako jedny z klíčových faktorů ovlivňujících zákal pitné vody zejména její teplotu, materiál potrubí a koncentraci železa v pitné vodě. [2]

Dále je zřejmé, že vyšší TPV podporuje procesy, které mohou vést ke zvýšeným koncentracím železa a manganu. [2]

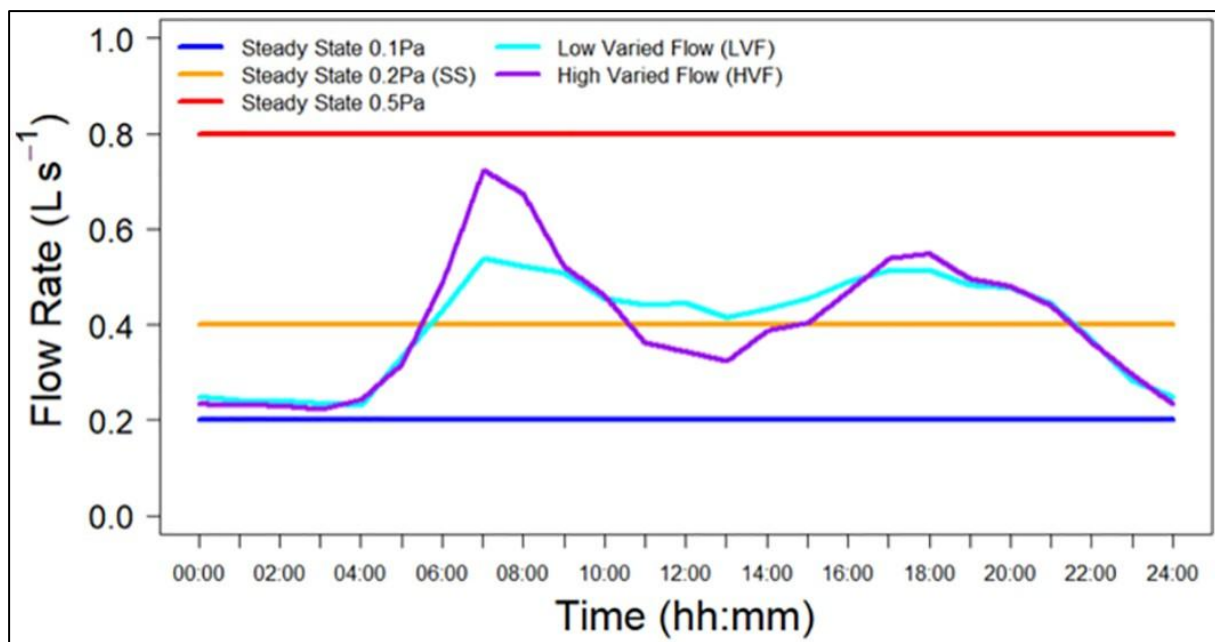
I zde jsou informace o výskytu koliformních bakterií ve vodě, konkrétně že jejich výskyt je ovlivněn teplotou vody a že růstový potenciál těchto mikrobů roste už nad hranicí 15 °C. Nejčastěji se rozvíjí na rozhraní potrubí-voda, ale mohou se také volně pohybovat ve vodním sloupci. Na stěnu potrubí jsou přichyceny díky struktuře extracelulárních polymerních látek a obsahují většinu mikrobiálních společenstev. Spekuluje se o tom, že zákal, teplota vody, množství, a hlavně aktivita mikrobů jsou úzce propojené. To podporuje také další studie, která potvrzuje komplikovanost vazeb mezi těmito prvky a dále tvrdí, že teplota a výskyt organické hmoty v pitné vodě spolu úzce souvisí. Další věc potvrzující tato zjištění je, že v létě bývá obvykle mnohem více stížností na kvalitu vody než v zimě. [2]

V širším kontextu odborné literatury je diskutována potřeba optimalizace provozních opatření v letním období, sem může patřit i sezónní úprava dávkování dezinfekčního prostředku. [2] [3] [4]

Jeden z dostupných vědeckých článků se zaměřuje na sezónní změny v distribučním systému, konkrétně jaké parametry mají největší vliv na mikrobiologické složení vody. Výzkum byl proveden v laboratorních podmínkách na PE potrubí o délce 200 m a vnitřním průměru 79,3 mm a nádrži o objemu 1,53 m³, aby byly co nejvíce simulovány reálné podmínky. Vše bylo umístěno v místnosti s řízenou teplotou vzduchu 4–21 °C. Průměrné stáří vody v potrubí bylo 12 hodin. Byly osazeny měřiče průtoků a zákalu. Voda byla ze stejného povrchového zdroje jako je místní vodovod a byla následně dezinfikována roztokem chlornanu sodného. Do potrubí byly vloženy speciální vložky, které mohly být následně

vyjmuty a mohlo dojít k rozboru biofilmu. Ten byl analyzován na konci celého procesu, který trval dohromady 28 dní. [2]

Byly určeny reprezentativní TPV v potrubí – pro zimu 8 °C a léto 16°C. Hydraulické režimy byly simulovány dle měření z reálné sítě, příkladem je aplikace šesti různých smykových napětí, kdy docházelo k průtoku vody uměle vytvořeným okruhem potrubí. [2]



Obr. 8 Charakteristiky hydraulických režimů [2]

Kromě zákalu se měřila koncentrace železa a manganu ve vodě, jak ukazuje tabulka níže. [2]

Hydraulic Dataset	Hydraulic Regime ^A	Turbidity (NTU)		Iron ($\mu\text{g l}^{-1}$)		Manganese ($\mu\text{g l}^{-1}$)	
		8°C	16°C	8°C	16°C	8°C	16°C
Steady State	SS0.1	0.62	1.64	124.5	174.3	14.4	24.8
	SS0.2	0.20	0.84	56.7	144.6	7.7	15.2
	SS0.5	0.21	0.55	19.9	36.0	2.3	3.6
Varied Flow	SS ^B	0.33	0.78	11.5	20.8	2.6	14.2
	LVF	0.29	0.69	3.8	24.5	-1.0	8.6
	HVF	0.12	0.69	5.9	22.7	3.9	9.9

^A Codes refer to the conditioning hydraulic regime during the growth phase, as set out in Methods 2.1: Steady State 0.1Pa / 0.2Pa /0.5Pa, Low Varied Flow and High Varied Flow.
^B SS regime was a repeat of SS0.2.

Obr. 9 Naměřené hodnoty jednotlivých parametrů [2]

U všech ustálených stavů (*Steady state*) vzrostly hodnoty všech měřených veličin s rostoucí teplotou, stejná situace nastala také u proměnných průtoků (*Varied Flow*). Jejich charakteristiky lze vidět na Obr. 8. To potvrzuje, že teplota je

významným faktorem, který má vliv na zákal a výskyt mikroorganismů. Je pravděpodobné, že pokud by se voda dál zahřívala na vyšší teploty, tak by měřené parametry nabývaly vyšších hodnot. Docházelo by ke kontinuálnímu nárůstu biologické aktivity, růstu biofilmu a většímu zákalu vody. [2]

Z tohoto měření také vyplývá, že vliv na jednotlivé koncentrace látek nemá čistě jen teplota vody. Významnou roli hraje také hydraulický režim – doba zdržení a různé průtoky během dne mají vliv na koncentrace železa a manganu. [2]

Bylo potvrzeno, že zákal není vhodné hodnotit z hlediska hmotnosti částic ani jejich sedimentace. Analýza vložek odebraných z potrubí po 28 dnech neprokázala žádné významné rozdíly v charakteru biofilmu mezi bočními stěnami, dnem ani horní částí potrubí. Pokud by se po obvodu potrubí rozdíly vyskytovaly, například ve formě zvýšené akumulace materiálu na dně, bylo by na místě uvažovat o působení sedimentačních procesů, v nichž by průtok hrál významnou roli. [2]

V rozsahu této studie nelze určit, jestli měla dominantní vliv na biofilm teplota či hydraulický režim. [2]

3.3 SHRNUÍ DOSAVADNÍCH ZNALOSTÍ O TEPLITĚ PITNÉ VODY

Teplota pitné vody je celosvětovým problémem bez ohledu na zdroj, způsob úpravy vody nebo charakteristiky sítě. I přes to, že se vzhledem k okolnostem globální změny klimatu očekává, že se budou vyskytovat potenciálně rizikové podmínky pro vodu v potrubí, tak se systematicky údaje o teplotě vody téměř nikde na světě nezaznamenávají. Rostoucí urbanizace a rizika s tím spojená, například zvyšování vlivu městských tepelných ostrovů, se výrazně podepisují pod tím, že se záznamy o TPV v letních obdobích výrazně přibližují 25 °C. Při překročení této hranice se zvyšuje riziko ohrožení hygienické kvality vody v distribučních systémech. Za těchto podmínek se v potrubí pravděpodobněji mohou vyskytnout patogeny – *Legionella pneumophila* a *Naegleria fowleri*. V případě výskytu těchto mikroorganismů může dojít ke zvýšenému riziku infekčních onemocnění, která byla v minulosti zaznamenána například v USA. [2]

Regulace TPV je ale značně náročná, a to zejména proto, že je přímo spojená s teplotou půdy, která obklopuje vodovodní potrubí. Ta je dána většinou typem a složením zeminy. Lze ovšem v budoucnu začít přijímat určitá opatření, která

budou zmírňovat účinky jednotlivých faktorů a půda se nebude tak snadno prohřívat. Jednou z nejjednodušších a nejdostupnějších variant je odstraňování nepropustných ploch ve městech, příkladem může být instalace propustných dlažeb na chodníky nebo parkovací plochy. Další možností je řízení hydrauliky vody, což částečně prozkoumávali ve Velké Británii. Další výzkum souvislostí mezi hydraulikou vody a její teplotou by při intenzivnějším monitorování mohl do budoucna přinést efektivnější řízení v rámci distribučních sítí. [2]

S rostoucí TPV dochází také ke změnám ve složení a růstu mikrobiologických společenstev, které tvoří biofilm. Dále na teplotě závisí také zákal, který ovlivňuje i koncentrace železa a manganu [2]. V této problematice je důležitá i stagnace vody v potrubí, která je závislá hlavně na odběrech a délce celého distribučního systému. V krajních bodech sítě jsou doby zdržení většinou v řádech vyšších desítek hodin. To může mít také vliv na reziduální koncentraci dezinfekčního prostředku, který se za těchto podmínek může ve vodě snižovat. Kromě toho může spolu s pH ovlivňovat stagnaci také výskyt nežádoucích látek ve vodě, které ale nejsou většinou okem pozorovatelné. Sem patří například ftaláty, jak je popsáno v kapitole 2.1.4. Různé koncentrace se mohou dostávat do vody z plastových materiálů, které jsou ve vodním hospodářství běžně používány. [4] [18] [20]

Kromě půdního pokryvu ovlivňuje teplotu vody také materiál potrubí, v literatuře se zmiňuje možnost nahrazení běžně používaných materiálů těmi, které se nyní používají třeba pro potrubí v systémech dálkového vytápění. Mají více vrstev a lepší izolační vlastnosti. Mezi další faktory patří také intenzita slunečního záření, která je ale dána spíše geografickou polohou a není tak dost dobře možné ji regulovat. Mírný vliv může mít i hloubka uložení, ale i v kanadském Montrealu při potrubí uloženém v 1,8 metrech byly naměřeny teploty přes 30 °C. [2] [4] [5]

V současné době není globálně stanovena jednotná strategie, jak s vysokými TPV bojovat a předcházet jim. Nicméně i v posledních měsících se objevuje několik nových studií, které se zabývají tím, co teplotu pitné vody ovlivňuje a jaké jsou vazby mezi těmito faktory. Je tedy pravděpodobné, že do budoucna se vyskytnou podrobnější informace o této problematice a bude snazší předcházet nežádoucím stavům. [2]

4 TEPLOTA PITNÉ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI OBCE SLATINKY

Samotné měření teploty pitné vody probíhalo v rámci této diplomové práce na vodovodní síti obce Slatinky. Výsledky měření byly zpracovány a vyhodnoceny na základě dosavadních znalostí o této problematice. Analýza a interpretace výsledků by mohla být detailnější a zajímavější i s ohledem na původ a unikátnost dat, která pocházejí z letního a zimního období. Právě v tom spočívá jedinečnost dat, například v Británii simulovaly letní a zimní podmínky na uměle vytvořeném okruhu uvnitř laboratoře. [2]

4.1 POPIS ZÁJMOVÉ LOKALITY

Analyzovaná data pocházejí ze srpna 2024 a března 2025. Měření byla realizována v obci Slatinky v Olomouckém kraji během řízeného proplachu vodovodní sítě za využití technologie Astacus, kterou provozuje společnost VODA BRNO, s.r.o.

Obec Slatinky se nachází v nadmořské výšce 443 m n. m. a je ze západu ohraničena úbočím Velkého Kosíře a ze severu hřebenem Malého Kosíře. První písemná zmínka o obci pochází z roku 1247, přičemž archeologické nálezy dokládají osídlení tohoto území již přibližně před 40 000 lety. Významnou část katastru obce tvoří Národní přírodní památka Kosířské lomy a přírodní památka Studený kout, která je charakteristická výskytem řady vzácných druhů rostlin. [19]

K 1. 1. 2025 měla obec Slatinky 590 obyvatel a rozloha jejího katastrálního území činí 8,02 km². Vodovodní síť o celkové délce přibližně 3,5 kilometru. Pro obec ji provozuje Moravská vodárenská, a.s. [19] [21]

4.2 TECHNOLOGIE ASTACUS

Proplachovací zařízení je určeno k efektivnímu a ekonomickému čištění vodovodní sítě, monitoringu a testování hydrantů. Je vybaveno bateriovým napájením, které umožňuje celodenní provoz i za zhoršených klimatických podmínek. Ovládací panel je konstruován jako voděodolný, což zajišťuje jeho spolehlivou funkci i při dešti. Součástí zařízení je regulační uzávěr, průtokoměr, tlakoměr a teploměr. Všechny tyto prvky jsou řádně kalibrovány a jejich měření je akreditováno. [4] [22]

Zařízení poskytuje při proplachování – realizovaném na základě předem připraveného proplachovacího plánu – detailní informace o parametrech jednotlivých úseků sítě. Automaticky generovaný report následně obsahuje údaje o teplotě vody, celkovém vypuštěném objemu, průtoku, tlaku i poloze hydrantu, a je k dispozici provozovateli vodovodu. [4] [22]

Dalším možným využitím zařízení je testování požárních hydrantů z hlediska splnění požadovaného průtoku. Získaná data mohou být rovněž využita k analytickému či výzkumnému zpracování problematiky vodovodní sítě. [22]

Proplach vodovodní sítě byl v tomto případě rozdělen do 15 úseků, z nichž tři nebylo možné z důvodu neexistujících koncových hydrantů propláchnout, a tak výsledná analýza zahrnovala konečný počet 12 hydrantů. Celková délka propláchnutého potrubí je 3 611 metrů. Pro tyto úseky existují průběhy teplot, které jsou rozdílné v závislosti na nejrůznějších faktorech a podmínkách. Vzhledem k pokroku ve výstupech proplachovacího zařízení jsou také k dispozici grafy se závislostí teplotě na vypuštěném objemu a průtoku na tlaku. Rovnou je ke každému úseku také vygenerována informace o minimální, průměrné a maximální teplotě vody. [21] [22]

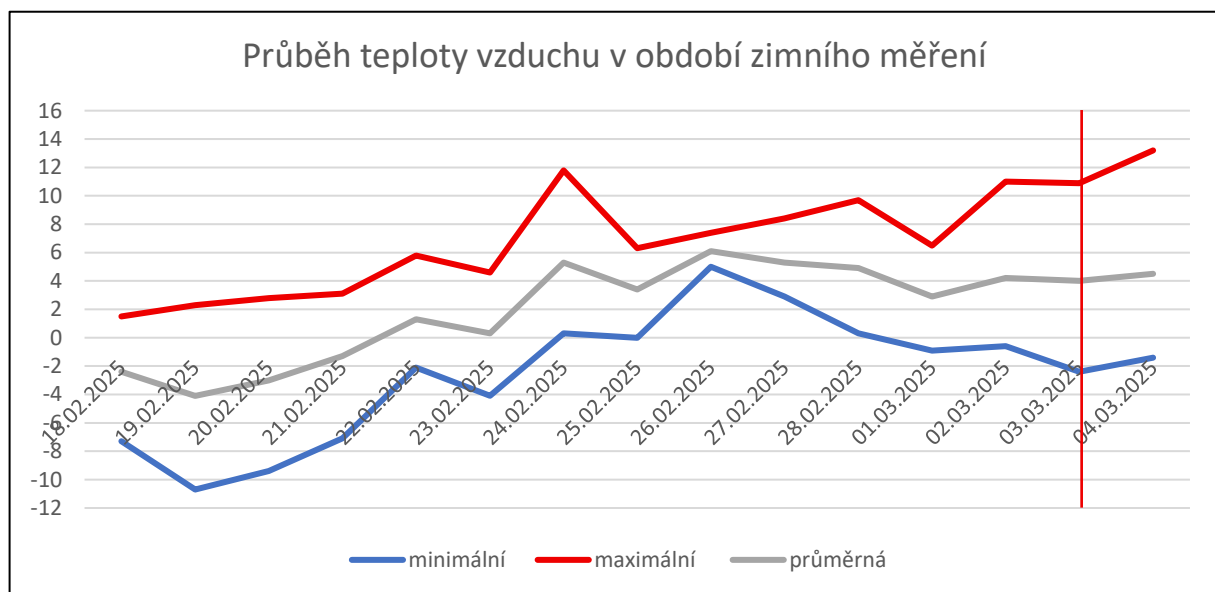


Obr. 10 Technologie Astacus v terénu

4.3 PODMÍNKY V PRŮBĚHU MĚŘENÍ

V průběhu proplachu jednotlivých úseků se terénní podmínky lišily, přičemž během letního a zimního měření byly zaznamenány rozdílné teploty vzduchu. [8]

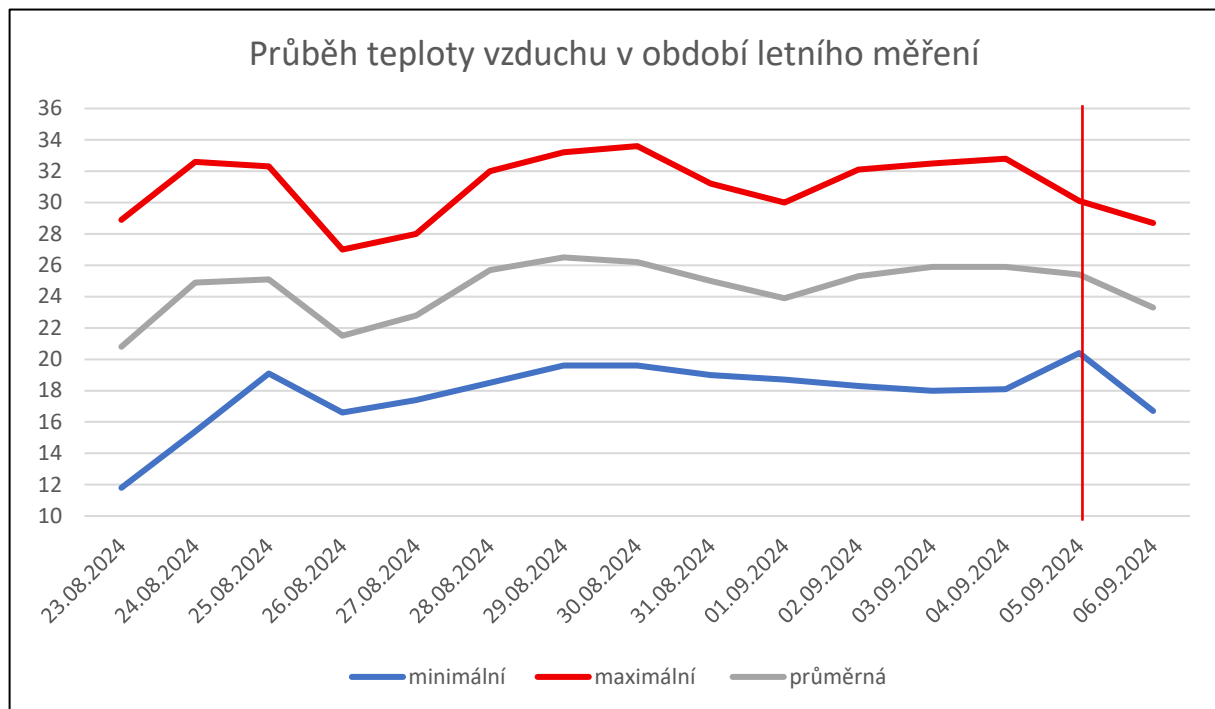
V březnu 2025 byla minimální teplota vzduchu během noci před i po provedení proplachu vždy pod nulou. Noc před konkrétně $-2,4$ °C. Znamená to tedy, že půda byla během noci promrzlá a během dne s vyššími teplotami došlo k jejímu prohřívání. Maximální denní teplota byla poměrně vysoká, konkrétně $10,9$ °C. Přes den bylo jasno až polojasno. [8]



Graf 1 Průběh teploty vzduchu v období zimního měření [8]

datum	minimální	maximální	průměrná
18.02.2025	-7.3	1.5	-2.4
19.02.2025	-10.7	2.3	-4.1
20.02.2025	-9.4	2.8	-3
21.02.2025	-7.1	3.1	-1.3
22.02.2025	-2.1	5.8	1.3
23.02.2025	-4.1	4.6	0.3
24.02.2025	0.3	11.8	5.3
25.02.2025	0	6.3	3.4
26.02.2025	5	7.4	6.1
27.02.2025	2.9	8.4	5.3
28.02.2025	0.3	9.7	4.9
01.03.2025	-0.9	6.5	2.9
02.03.2025	-0.6	11	4.2
03.03.2025	-2.4	10.9	4
04.03.2025	-1.4	13.2	4.5

Obr. 11 Průběh teploty vzduchu v období zimního měření [8]



Graf 2 Průběh teploty vzduchu v období letního měření [8]

datum	minimální	maximální	průměrná
23.08.2024	11.8	28.9	20.8
24.08.2024	15.4	32.6	24.9
25.08.2024	19.1	32.3	25.1
26.08.2024	16.6	27	21.5
27.08.2024	17.4	28	22.8
28.08.2024	18.5	32	25.7
29.08.2024	19.6	33.2	26.5
30.08.2024	19.6	33.6	26.2
31.08.2024	19	31.2	25
01.09.2024	18.7	30	23.9
02.09.2024	18.3	32.1	25.3
03.09.2024	18	32.5	25.9
04.09.2024	18.1	32.8	25.9
05.09.2024	20.4	30.1	25.4
06.09.2024	16.7	28.7	23.3

Obr. 12 Průběh teploty vzduchu v období letního měření [8]

Podmínky během letního měření byly značně odlišné. Maximální denní teplota byla 30,1 °C, zatímco minimální teplota během noci klesla na 20,4 °C. Průměrná denní teplota byla den před proplachem byla 25,9 °C a v den proplachu 25,4 °C. Minimální denní teplota den před proplachem byla 18,1 °C a v den proplachu

20,4 °C. Na obloze panovaly podobné podmínky jako během března – jasno až polojasno. [8]

Co se týče srážkových úhrnů, tak během stejného období v létě byl celkový srážkový úhrn 0,6 mm (**Obr. 13**). Zatímco v průběhu zimního období byl pouhých 0,3 mm (**Obr. 14**). [8]

datum	srážkový úhrn [mm]
23.08.2024	0
24.08.2024	0
25.08.2024	0
26.08.2024	0.6
27.08.2024	0
28.08.2024	0
29.08.2024	0
30.08.2024	0
31.08.2024	0
01.09.2024	0
02.09.2024	0
03.09.2024	0
04.09.2024	0
05.09.2024	0
06.09.2024	0

Obr. 13 Srážkové úhrny během období letního měření [8]

datum	srážkový úhrn [mm]
18.02.2025	0
19.02.2025	0
20.02.2025	0
21.02.2025	0
22.02.2025	0
23.02.2025	0.1
24.02.2025	0
25.02.2025	0
26.02.2025	0.1
27.02.2025	0
28.02.2025	0
01.03.2025	0
02.03.2025	0
03.03.2025	0
04.03.2025	0

Obr. 14 Srážkové úhrny během zimního období [8]

Pro přehlednou prezentaci dat o počasí byly poskytnuty teplotní záznamy a srážkové úhrny z meteorologické stanice Veverí, kterou spravuje Ústav vodního hospodářství krajiny, pod vedením doc. Ing. Daniela Martona, Ph.D. [8]

Data o klimatických podmínkách mohou pomoci lépe pochopit souvislosti z hlediska pozorování sezónních změn teploty pitné vody ve vodovodní síti.

4.4 ZÍSKANÁ DATA

Kromě detailních údajů o teplotě vody jsou také k dispozici data o jejím stáří, dále od provozovatele data o hloubce uložení potrubí a použitých materiálech, Z mapových podkladů lze zjistit půdní pokryv, případně zastínění povrchu.

V případě analýzy dat se jeví jako vhodné navázat na postup bakalářské práce, tedy tak jak ukazuje **Tab. 3**. Vzhledem k parametrům sítě se ale musí vyhodnocování mírně upravit. Ve Slatinkách se nachází pouze plastové potrubí, takže v tomto případě odpadá vliv materiálu potrubí. Vzhledem k proměnlivé oblačnosti také lze přehodnotit procentuální ukazatel zastínění, který bude pro tuto práci spíše orientační. Povrch se ukazuje jako klíčový ukazatel a z literatury vyplývá, že minulý přístup byl v tomto ohledu správný. Kategorie stáří vody také zůstanou, ale budou pro tuto síť upraveny, protože nedosahují tak vysokých hodnot jako v případě Kanic a Řícmanic. [4]

Tab. 3 Kategorie faktorů ovlivňujících teplotu pitné vody v BP [4]

Povrch	Zastínění	Stáří vody	Materiál potrubí
Asfalt	0 %	0–48 hodin	PVC
Chodník/dlažba	50 %	48–56 hodin	PE
Travní porost	80 %	56–64 hodin	LT
-	100 %	64–72 hodin	-
-	-	>72 hodin	-

Upravená tabulka faktoru je uvedena níže.

Tab. 4 Upravené kategorie faktorů

Povrch		Stáří vody
Asfalt		<30 hodin
Betonové plochy		30–33 hodin
Travní porost		33–35 hodin
-		33–46 hodin
-		>46 hodin

Pro tuto práci nevznikl model teploty půdy, který by umožnil přesnější prezentaci závěrů a doporučení. Stejně tak nejsou k dispozici ani měření teploty půdy, bylo by zajímavé vědět, jakých hodnot může zemina dosáhnout i ve větších hloubkách, nebo jakou teplota by mohla mít vnější stěna potrubí. Částečně to bude nahrazeno tím, že se zkoumají jednotlivé půdní pokrvy a jejich vliv na vodu v potrubí.

4.4.1 Povrch nad vodovodním potrubím

Trasa vodovodního potrubí vede po celé své délce pod různými povrchy. Ve Slatinkách se střídá zeleň, která se nejintenzivněji vyskytuje v místě, kde voda odtéká z vodojemu a zhruba po 100 metrech přitéká do míst, kde začíná souvislá zástavba (**Obr. 15**). Zde se potrubí nachází převážně v místní asfaltové komunikaci a střídá se s betonovým povrchem, který se nachází na chodnících nebo parkovacích plochách u rodinných domů. V blízkosti domů voda protéká také pod předzahrádkami, kde se povrch různí.



Obr. 15 Povrch nad vodovodním potrubím na začátku distribuční sítě

V dalších částech sítě se různě střídají povrchy, tak četný výskyt stromů a keřů jako je vidět na obrázku je ale pouze zde. Po délce potrubí se také mění hustota zástavby, která může v určitých částech dne plnit funkci stínění povrchu. Může tak být omezeno prohřívání povrchu.

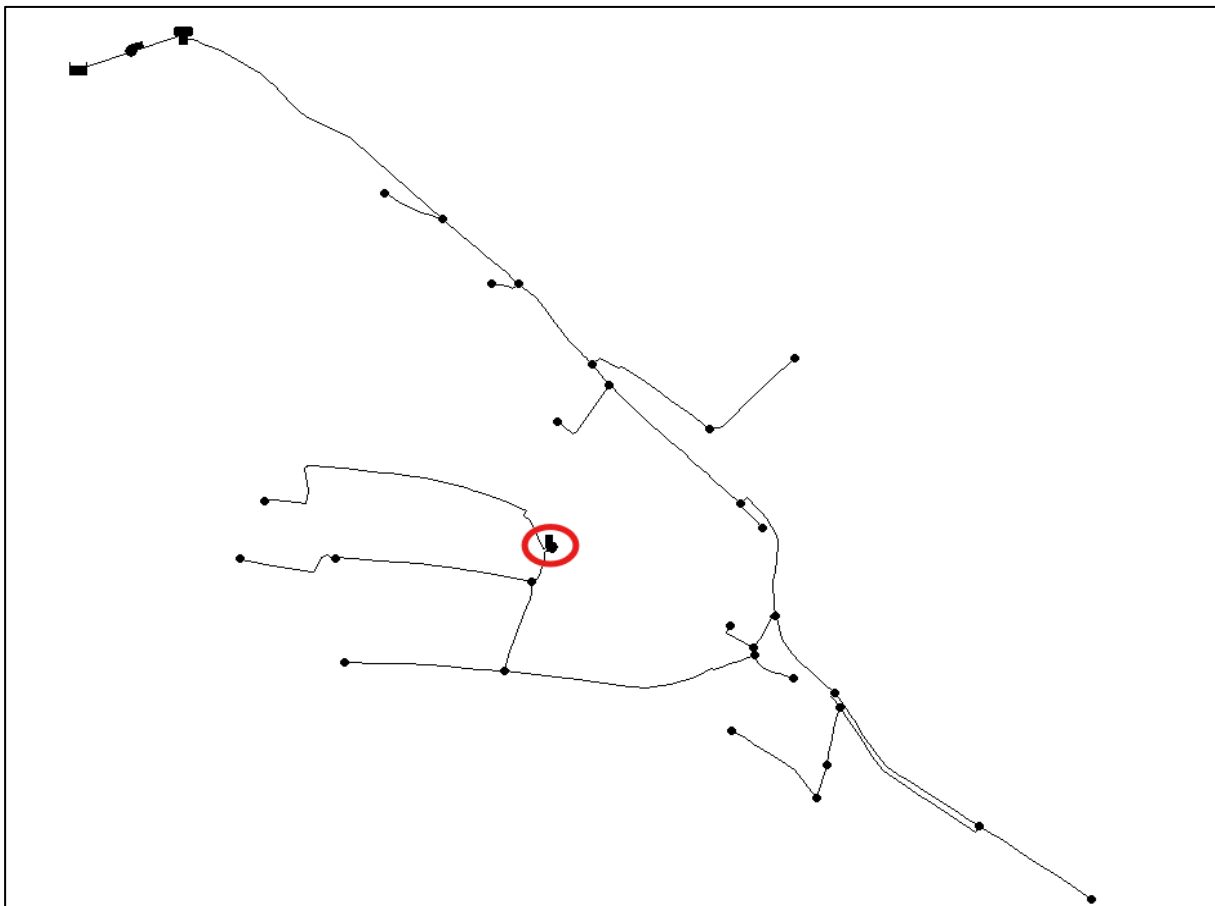


Obr. 16 Povrch nad vodovodním potrubím v další části distribuční sítě

4.4.2 Hydraulický model vodovodní sítě

Pro získání dat o stáří vody byl zhotoven hydraulický model vodovodní sítě. Na obrázku níže je vidět celá distribuční síť, černé tečky znázorňují výpočtové body, kterých je celkem 34. Nachází se tu jeden vodojem o kapacitě 150 m³ a také automatická tlaková stanice (ATS), která je na **Obr. 17** vyznačena červeným kolečkem. Materiál je zastoupen dvěma typy – polyvinylchlorid (PVC) a polyetylen (PE). Nacházejí se zde také různé dimenze, největší použitou je DN 110, nejmenší je DN 50. Nejvíce zastoupené je DN 110 a DN 90. [21]

Vzniku modelu předchází několik kroků. Prvním je vytvoření kostry v aplikaci EPANET, která se převede z prostředí programu AutoCAD. Následně se vyplní parametry, které podmiňují správnou funkčnost modelu. Patří sem délka linií mezi jednotlivými výpočtovými body, které jsou vidět na **Obr. 17**, dále se musí doplnit dimenze a drsnost. Pro účely tohoto výpočtu byla drsnost pro PVC rovna 0,26 a pro PE 0,25. Samozřejmostí je také vyplnění parametrů pro vodojem a ATS. [17]

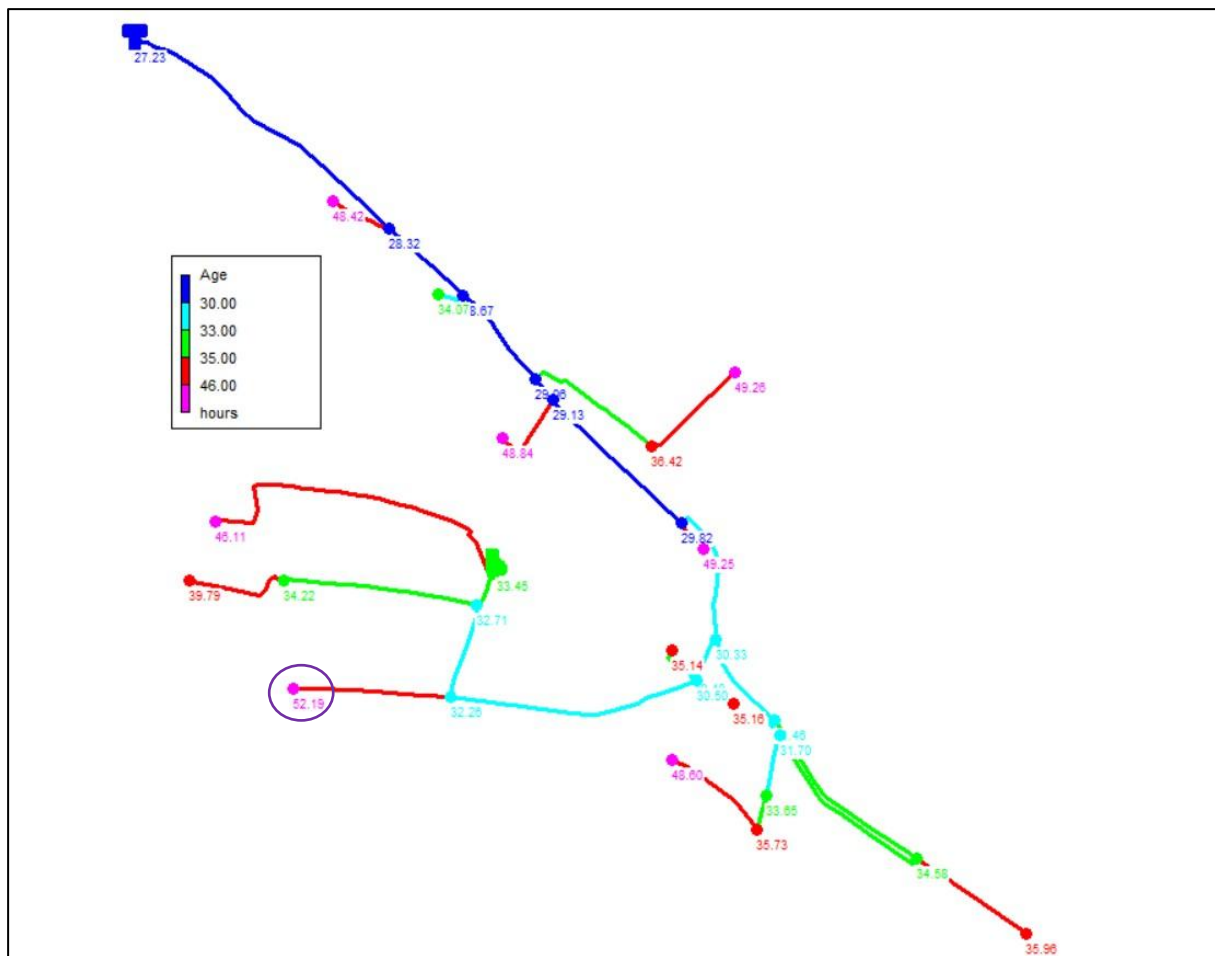


Obr. 17 Kostra sítě v programu EPANET

Pro výpočtové uzly (body) se následně vyplní nadmořská výška z mapových podkladů a v poslední fázi uzlové odběry. Definice jednotlivých uzlových odběrů je proces, který je nejnáročnější. V této práci se použila pro tyto účely tzv. metoda redukovaných délek. Tato metoda představuje standartní přístup používaný při tvorbě hydraulických modelů distribučních sítí, a to hlavně v případech, kdy nejsou k dispozici přesné informace o prostorovém rozložení odběrů vody. Jejím cílem je převést plošně rozloženou spotřebu vody na ekvivalentní uzlové odběry. Základním předpokladem metody je skutečnost, že spotřeba vody je rovnoměrně rozložena podél jednotlivých úseků potrubí, přičemž celkový odběr připadající na daný úsek je úměrný jeho délce. Tento odběr je následně rozdělen mezi koncové uzly potrubí na základě tzv. redukované délky. [9]

Redukovaná délka potrubí vyjadřuje podíl skutečné délky úseku, který je přiřazen výpočtovému uzlu. V případě modelu jednotlivé úseky spojují a ohraničují dva uzly. Rozdělení je rovnoměrně mezi ně, každému tedy připadne polovina délky úseku. Obecně potom platí, že čím je úsek delší, tím větší je uzlový odběr. [9]

Po úspěšném výpočtu dostáváme stáří vody ve všech výpočtových bodech. [17]



Obr. 18 Mapa stáří vody v potrubí

Na obrázku je znázorněno rozložení stáří vody ve vodovodní síti stanovené na základě hydraulického modelu v prostředí aplikace EPANET. Stáří vody (*age*) je vyjádřeno v hodinách (*hours*) a představuje dobu, po kterou se voda nachází v distribuční síti od okamžiku vstupu do systému.

Z výsledků je patrné, že stáří vody vykazuje výraznou prostorovou variabilitu, která je úzce svázána s hydraulickým uspořádáním sítě, délkou jednotlivých větví a jejich provozním zatížením. Nejnižší hodnoty stáří vody se vyskytují v bezprostřední blízkosti vodojemu a na hlavní trase, kde se vyskytují vyšší průtoky a voda se zde výrazně pohybuje. V těchto úsecích se stáří vody pohybuje řádově v nižších desítkách hodin. Voda s nejnižším stářím se dostává k prvním spotřebitelům těsně pod hranicí 30 hodin. Tento trend se na hlavní větvi vyskytuje i ve větších vzdálenostech od vodojemu.

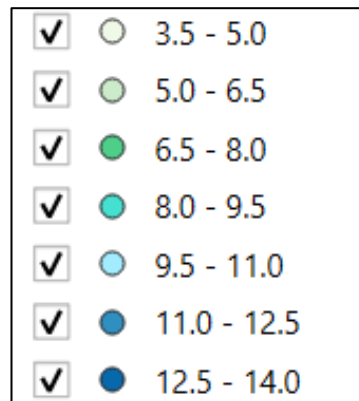
Směrem k okrajovým a koncovým částem sítě dochází k postupnému nárůstu stáří vody. Výrazně vyšší hodnoty jsou patrné zejména v bočních větvích a koncových úsecích, kde je průtok nižší a výměna vody omezená. V těchto částech sítě dosahuje stáří vody hodnot přesahujících 40 hodin, místy i hranici 50 hodin. Tyto úseky lze z hlediska hydrauliky označit za potenciálně rizikové z hlediska stagnace vody. Nejvyšší hodnota je potom 52,19 hodiny, místo je označeno fialovým kruhem na **Obr. 18**.

Výsledky hydraulického modelu potvrzují, že stáří vody v síti není rovnoměrné a je významně ovlivněno hydraulickým režimem a topologií sítě. Identifikace úseků s vyšším stářím vody je důležitá zejména pro následnou analýzu teploty vody, neboť delší doba setrvání vody v potrubí může souviset s výskytem vyšších teplot a někde i se snižováním reziduálních koncentrací dezinfekčního prostředku. [16]

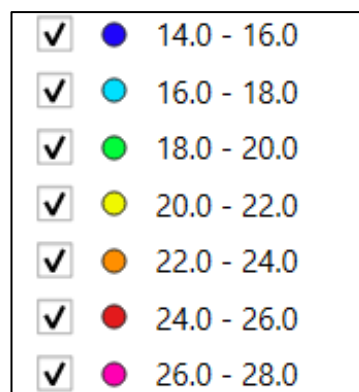
4.4.3 Analýza získaných dat

Znovu vznikla mapa, kde jsou vidět naměřené hodnoty teploty pitné vody. Tentokrát se jedná ale o mapu ze zimního a letního období, pokud se na tato data podíváme z hlediska globální dostupnosti, tak je lze považovat za unikátní. Propláchnuto a měřeno bylo v obou případech celkem 13 úseků. Symbologie v programu QGIS byla utvořena vzhledem k přehlednosti tak, že červený kosočtverec ukazuje hydrant, na který byl připojen Astacus v době měření. Body, které se nacházejí na každém úseku jsou zprůměrované hodnoty teplot po pěti metrech délky. Nově je ale na každém úseku ze začátku oříznuto přibližně 200 litrů vody, která strojem proteče na začátku proplachovacího procesu, aby nedocházelo k ovlivňování výsledku analýzy tou vodou, která se nachází v hydrantu a jeho blízkém okolí.

Pro lepší orientaci v teplotních průbězích po délce sítě vznikly dvě stupnice – zimní (Obr. 19) a letní (Obr. 20). Škály byly upraveny tak, aby na sebe lépe navazovaly a odpovídaly uspořádání barev v aplikaci QGIS.



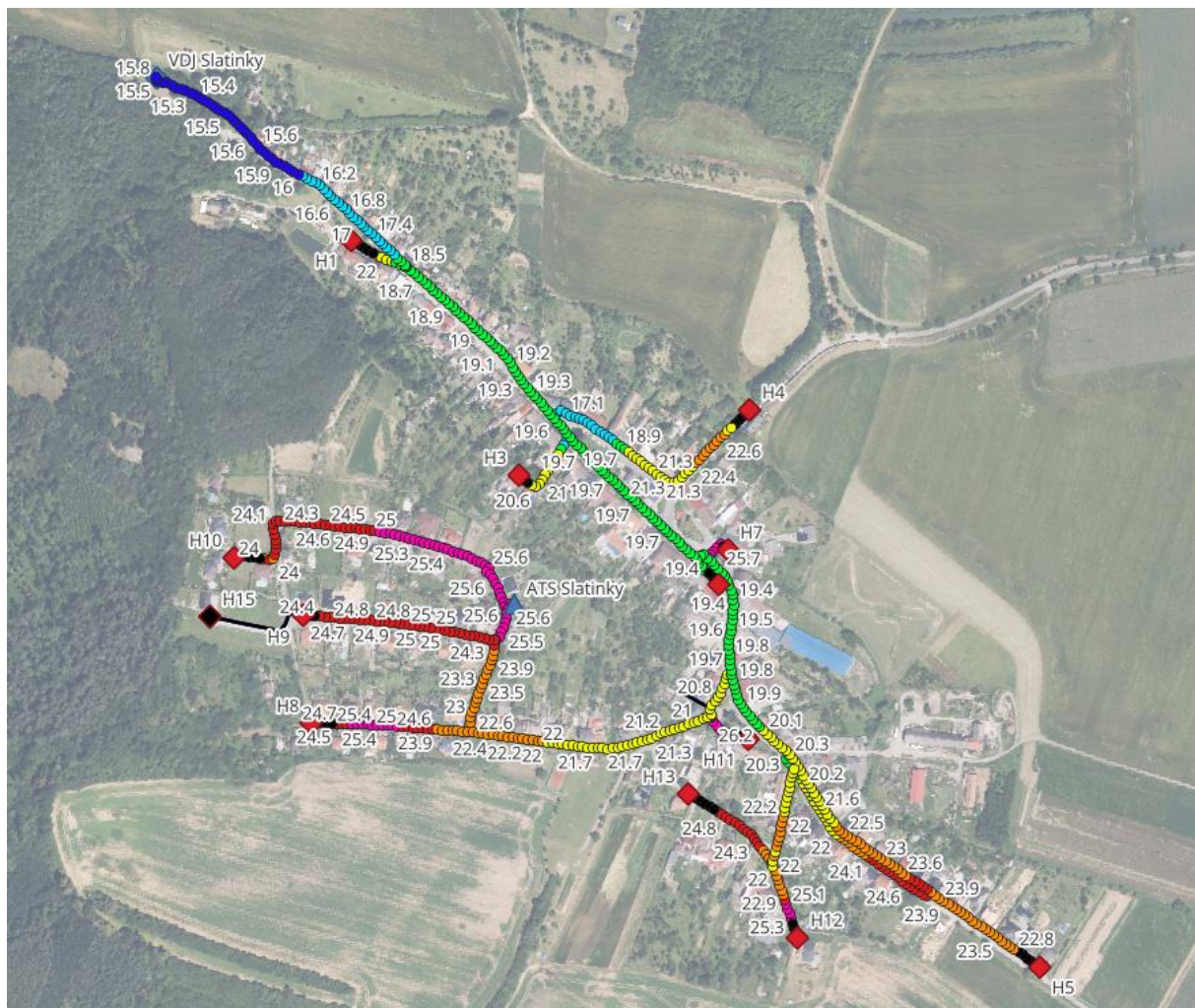
Obr. 19 Stupnice teploty vody pro zimní měření



Obr. 20 Stupnice teplot pro letní měření

Nejnižší naměřená teplota byla 3,8 °C, naopak nejvyšší byla 26,5 °C.

Při porovnávání teplotních výkyvů mezi zimním a letním měření bylo zjištěno několik zajímavých informací. Některé úseky mají podobný tvar grafu vývoje TPV, jinde se zase neshodují vůbec. Všechny průběhy teploty vody se ale mění na základě působení různých faktorů na daném úseku. V létě tady dochází k prohřívání pitné vody, protože z vodojemu vstupuje do sítě voda relativně chladná. Má 15 °C a na žádném dalším místě při distribuci se pod tuto hranici nedostane. To lze názorně ukázat na obrázku níže, tmavě modré body (viz Obr. 20) jsou pouze na prvním úseku, který se nachází nejbliž vodojemu.



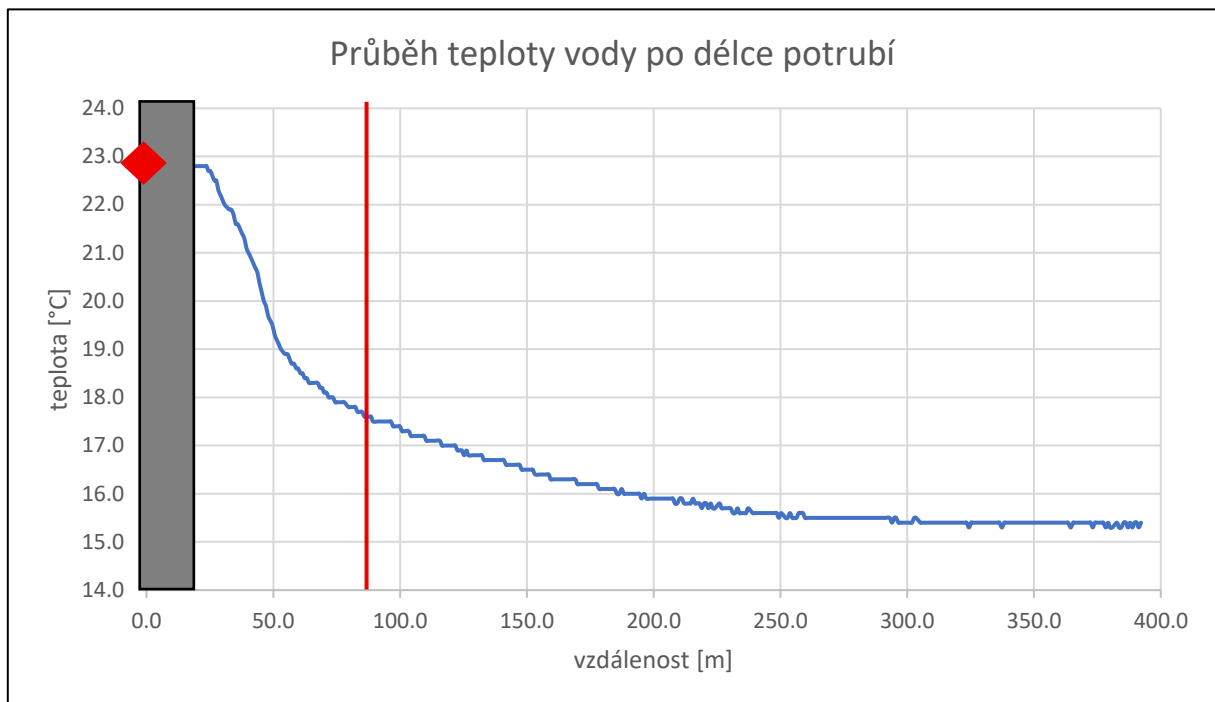
Obr. 21 Mapa průběhů teploty vody z letního měření

Při pohledu na tuto mapu a na **Obr. 18** si lze všimnout poměrně významných korelací mezi výslednou TPV a stagnací vody v potrubí. Nejvyšší hodnoty teploty vody jsou obecně zaznamenány v koncových částech sítě, kde voda dlouho stojí a je zde malý odběr. V těchto oblastech dosahuje TPV hodnot pohybujících se okolo 23–25 °C, lokálně dosahuje až 26,5 °C.

Pokud voda na daném místě stagnuje více než 48 hodin, teplotně se vyrovnává s okolním prostředím – materiálem potrubí a půdou, jak je uvedeno v kapitole 2.1.3. Za předpokladu, že je toto tvrzení správné, lze alespoň přibližně odhadnout teplotu půdy v okrajových částech vodovodní sítě.

Z výsledků dále vyplývá, že změny teploty vody nejsou náhodné, ale vykazují systematický trend závislý na poloze v síti a hydraulických podmínkách.

Názornou ukázkou je v tomto případě detail průběhu teploty pitné vody na úseku č.1, který je dlouhý zhruba 380 metrů a je tu potrubí o DN 110.



Graf 3 Průběh teploty vody na úseku č.1 v létě

Tímto způsobem vypadá vývoj teploty už po oříznutí primárního objemu (200 litrů), který v tomto případě znamená zkrácení celého průběhu o prvních 25 metrů délky. Zkrácení je v grafu označeno šedým obdélníkem. Červený kosočtverec značí polohu koncového hydrantu, ze kterého bylo provedeno měření. Stejně značení je použito i v dalších grafech.

Oříznutá délka se mezi jednotlivými úseky liší, je to dáno rozdílným DN. Tento rozdíl je vidět na **Obr. 21**, kde není u všech úseků stejný počet černých bodů.

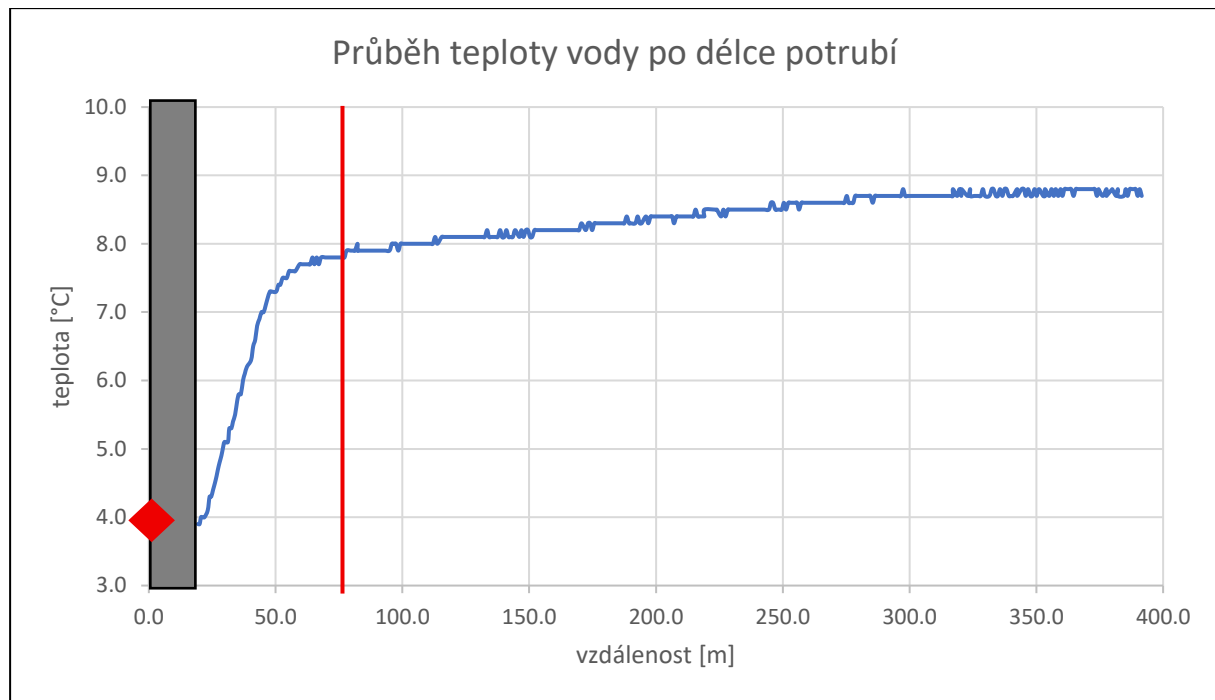


Obr. 22 Průběh teploty vody na úseku č. 1 v létě znázorněný v aplikaci QGIS

Při pohledu na graf a do aplikace QGIS lze vidět, jak rychle narůstá TPV při odbočení z hlavního řadu. Na hlavním řadu, kde se voda pohybuje rychleji, si udržuje si teplotu 18,7 °C a následně postupně narůstá. To už je ale součástí proplachovaného úseku č.2, který byl na obrázku pro přehlednost skryt.

Naopak na odbočce směrem k hydrantu H1, která má délku zhruba 75 metrů voda stagnuje a její teplota prudce roste. Toto místo je vidět na **Graf 3** a na obrázku výše a je označeno červenou čarou. Černé body na **Obr. 22** potom značí tu část, která byla z grafu oříznuta. Nejvyšší naměřená hodnota v tomto místě činí 22,8 °C, což znamená, že po odbočení došlo postupně k nárůstu o 4,1 °C.

Při zimním měření je trend podobný, akorát opačný. Voda, která vytékala v březnu z vodojemu měla 8,8 °C. V zimním měření byly naměřeny na distribuční síti hodnoty TPV, které byly nižší, ale i vyšší než ty, které měla voda ve vodojemu. To je zásadní rozdíl oproti předcházejícímu měření, kdy teplota vody směrem od vodojemu pouze narůstala.



Graf 4 Průběh teploty vody na úseku č.1 v zimě

Na první pohled se to nemusí zdát zřejmé, ale při porovnání **Graf 3** a **Graf 4** lze říct, že vývoj TPV je podobný, ale opačný. Pokud by se teplotní průběh ze zimního období zrcadlově obrátil, byl by velice podobný tomu letnímu. Stejně jako během letního měření je na hlavním řadu teplota stálá nebo mírně kolísá směrem od vodojemu a na úsek č. 2. Teplota vody se ale výrazně mění při odbočení z hlavního řadu – označeno červenou čarou. Opět dochází k tomu, že tady voda stagnuje a dochází ke změnám. Materiál potrubí a okolní půda mají ale v zimě nižší teplotu než voda a směr tepelné výměny je tedy opačný oproti předchozímu případu. Voda se v této části úseku výrazně ochlazuje. Nejnižší naměřená hodnota je zde 4,6 °C, což je zhruba o 3 °C méně, než má voda, která dále pokračuje na hlavním řadu. A zároveň je to nejnižší hodnota v celé síti.

Hloubka uložení je na hlavním řadu víceméně konstantní a to 1,70 metru, na odbočce z dostupných podkladů známá není.



Obr. 23 Průběh teploty vody na úseku č. 1 v zimě znázorněný v aplikaci QGIS

Černé body na začátku opět ukazují prvních 200 litrů objemu, který je z grafu oříznut.

Oproti letnímu období se teplota vody v celé síti pohybuje ve výrazně nižším a užším rozmezí hodnot, přičemž je patrná vyšší teplotní homogenita systému. Na Obr. 23 je znázorněno prostorové rozložení teploty vody ve vodovodní síti pro toto období.

V zimním období se teplota vody ve většině sítě pohybuje přibližně v rozmezí 5 až 8 °C. Podobné teploty jsou zaznamenány na úsecích, kde se objem vody pravidelně vyměňuje a kde se teplota vody pohybuje kolem 7–8 °C, místy klesá až k hodnotám kolem 5 °C.

Směrem k okrajovým a koncovým částem sítě dochází i v zimním období ke kolísání teploty vody. V těchto úsecích se TPV pohybuje nejčastěji v rozmezí 8 až 9 °C, lokálně dosahuje 11 °C. Tento vývoj lze opět přisoudit k hydraulickým

Diplomová práce

poměrům v síti, ačkoliv celkový rozsah změn je podstatně menší než v letním období.

Nejvyšší naměřená hodnota byla 11,1 °C.

Zajímavým příkladem je právě úsek č. 1, kde je sice stáří vody u hydrantu H1 kolem 48 hodin, ale teplota tu naopak ještě klesne. Jinde v síti, kde je stáří vody obdobné, naopak dochází k tomu, že teplota přibližně o 3 °C naroste. To může být dáno lokálními vlivy, jednou z možností je jiná hloubka uložení nebo i fakt, že měření prvního a posledního úseku má časové rozmezí zhruba sedm hodin. Během dne došlo díky slunečnímu záření k prohřívání půdy a je tedy důležité zohlednit i fakt, že první a poslední měřený úsek dělí časový interval zhruba 7 hodin. To může přispívat k tomu, že vývoj TPV na některých částech sítě může být zdánlivě nelogický a odklání se od očekávaného trendu.



Obr. 24 Mapa průběhů teploty vody ze zimního měření

Tento jev lze vysvětlit skutečností, že stáří vody samo o sobě neurčuje směr změny teploty, ale pouze míru přiblížení teploty vody k teplotě okolního prostředí. V případě úseku č. 1 dochází v zimním období k intenzivnímu ochlazení vody vlivem nízké teploty okolní půdy a dlouhé doby kontaktu vody s potrubím

Zimní měření dále ukazuje, že vliv okolních teplot na vodu v potrubí je v zimním období výrazně tlumen tepelnou setrvačností půdy a samotného potrubí. Zatímco v letním období dochází k výraznému přehřívání vody v koncových úsecích, v zimním období je nárůst teploty v těchto částech sítě omezený a nepřesahuje několik stupňů Celsia.

Výsledky zimního a letního měření tak jednoznačně potvrzují sezónní charakter změn teploty vody ve vodovodní síti. Zatímco v letním období se projevuje výrazná prostorová rozdílnost vývoje teploty vody s potenciálně rizikovými hodnotami v koncových částech sítě, v zimním období je teplotní režim stabilnější a méně ovlivněný dobou setrvání vody v potrubí. Tyto poznatky jsou klíčové pro další hodnocení provozních a hygienických aspektů distribuce pitné vody v malých vodovodních systémech.

4.4.4 Zajímavé průběhy teploty vody a jejich sezónní vývoj

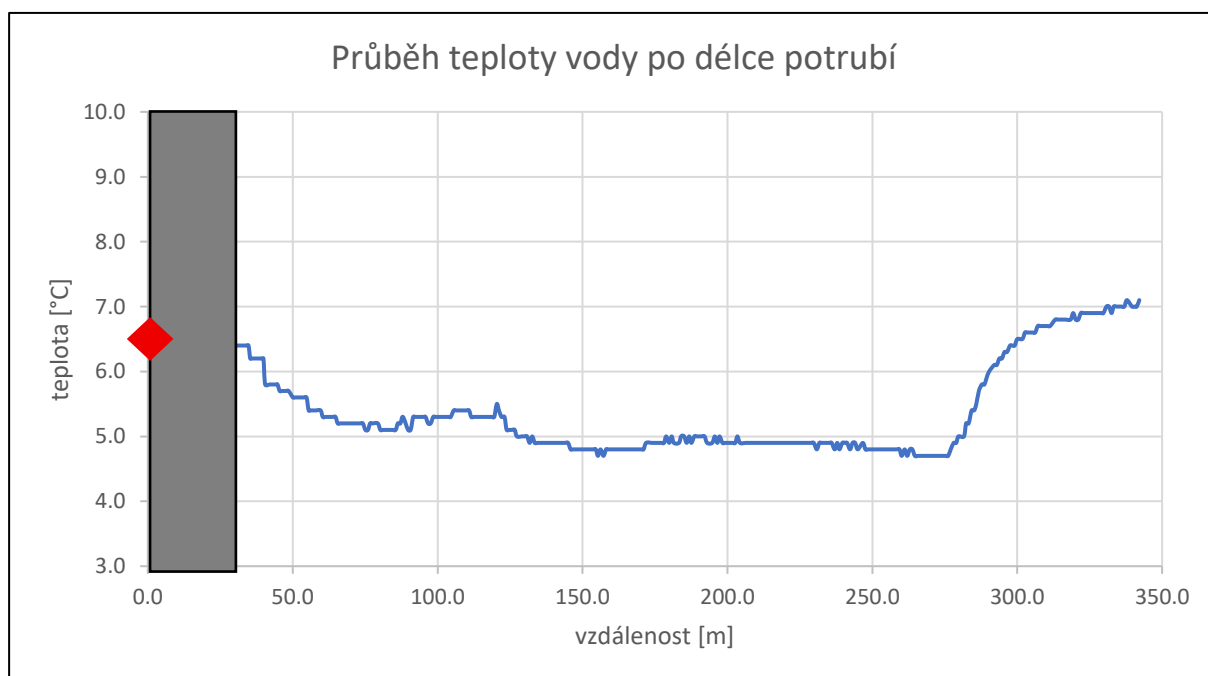
V této kapitole budou podrobeny analýze úseky, které se podobným způsobem vyvíjeli během letního a zimního měření.

Typickým příkladem tohoto jevu je proplachovaný úsek č. 6, má délku 343 metrů a po celé jeho délce je položeno potrubí, které má DN 90. Tato část sítě je situována ke konci hlavní větve a je součástí jediného okruhu v této distribuční síti. Měření bylo provedeno na hydrantu H5, který je vidět v pravém dolním rohu. Tento úsek částečně kopíruje trasu úseku č.5, ale potom odbočuje na okruh, kde se teploty mění.

Při pohledu na **Obr. 18** lze zjistit, že ve výpočtových bodech na tomto úseku, které jsou celkem tři, je stáří vody kolem 35 hodin.



Obr. 25 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v zimě znázorněný v aplikaci QGIS



Graf 5 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v zimě

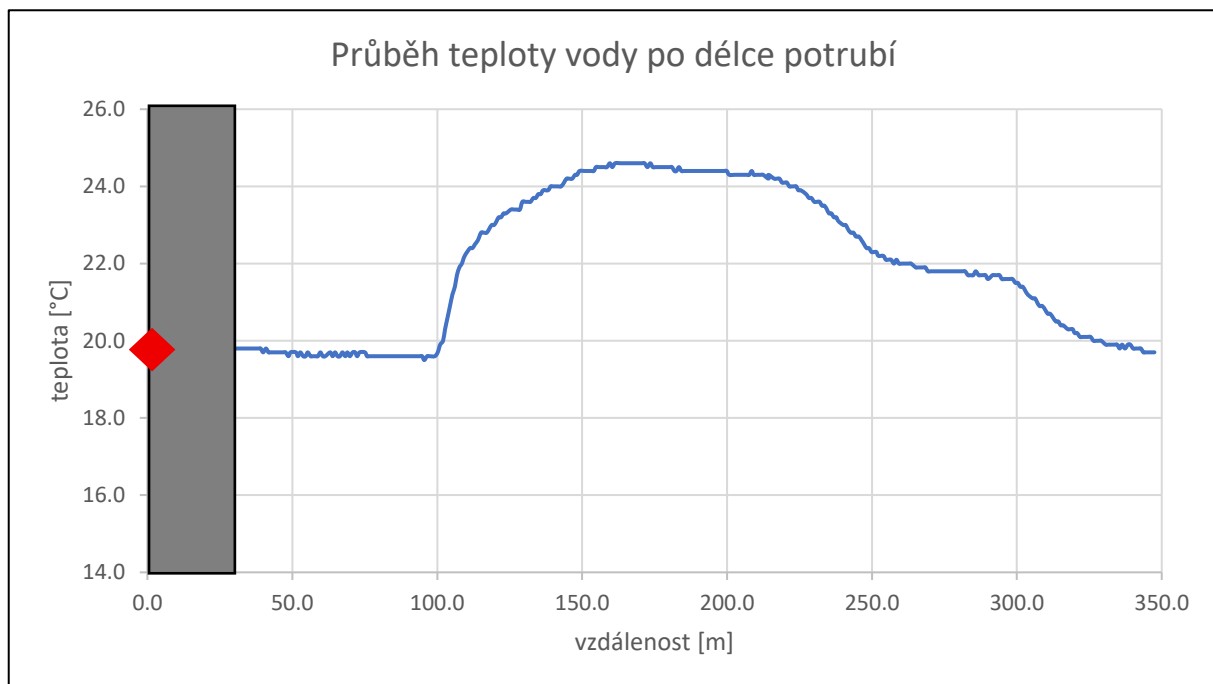
Diplomová práce



Obr. 26 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v létě znázorněný v aplikaci QGIS

Obě měření na tomto úseku potvrzují to, co již bylo řečeno na předchozích stranách. V létě (Obr. 26) je zde mnohem výraznější prostorová diference teploty vody. Na začátku měření, nejbližší k hydrantu H5 je hodnota 22,8 °C, následně po odbočení na okruh tato teplota vzroste na 24,6 °C a na konci úseku se naopak sníží na hodnotu 19,6 °C. Takže z počáteční teploty nejprve vzroste o téměř 2 °C a následně klesne o 5 °C.

Charakter změny je podobný v zimním i letním období, ale u zimního je na počátku 6,4 °C, na začátku okruhu 4,9 °C a na jeho konci 7 °C, což znamená teplotní výkyv maximálně 2,1 °C.

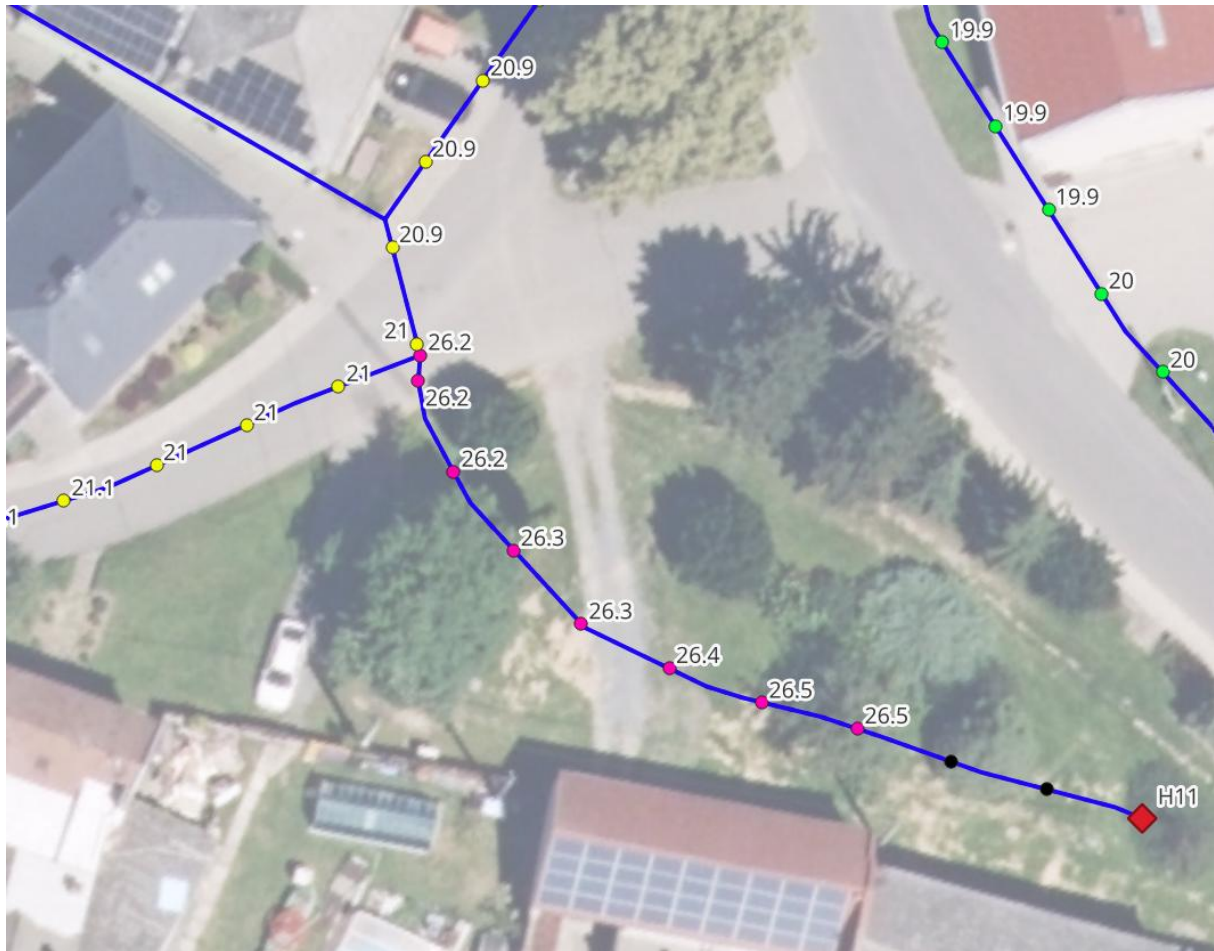


Graf 6 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v létě

Při pohledu na **Obr. 21** lze nalézt v distribuční síti ve Slatinkách oblasti, kde se nacházejí potenciálně rizikové hodnoty TPV. V problematice teploty pitné vody se rizikovými hodnotami rozumí ty, které překračují hranici 25 °C.

Červenou barvou jsou zastoupena místa, kde se vyskytují hodnoty v rozmezí 24 až 25 °C. Jsou to hlavně oblasti, které jsou nejdál od vodojemu, kde lze předpokládat delší dobu zdržení vody. Na hlavním řadu se teploty drží pod hranicí 20 °C až po úroveň okruhu, který byl popisován na úseku č. 6. Ale na všech odbočeních na síti dojde v létě k tomu, že teplota vody roste.

Nejextrémnějším příkladem je potom úsek č. 11, který má délku necelých 50 metrů a je tady DN 50. Je to jediná část sítě, kde je po celou dobu naměřena teplota, která přesahuje hranici 26 °C.



Obr. 27 Průběh teploty vody na úseku č. 11 v létě znázorněný v aplikaci QGIS

Tak vysoká teplota není pravděpodobně způsobena pouze stagnací vody nebo přirozenou výměnou tepla mezi vodou a jejím okolním prostředím. U hydrantu H11 je sice stáří vody 35,16 hodiny, ale to není zdaleka nejvyšší hodnota a pokud se na toto pohlédne v kontextu celé sítě, tak místa se stejným stářím mají i o 4-5 °C nižší teplotu pitné vody. Roli zde může hrát i menší průměr potrubí, od kterého se odvíjí nižší průtoky. To by mohlo být možné vysvětlení absence teplotního gradientu. Jinak je z větší části potrubí uloženo v zeleni, takže je otázkou, jak by se TPV vyvíjela, pokud by bylo potrubí kryto pouze asfaltem.

Vzhledem k vedlejšímu úseku (č. 8), kde je TPV 21,0 °C, lze říct, že na těchto 50 metrech dojde ke skokovému zvýšení o více než 5 °C. Zřejmě za to nemůže pouze

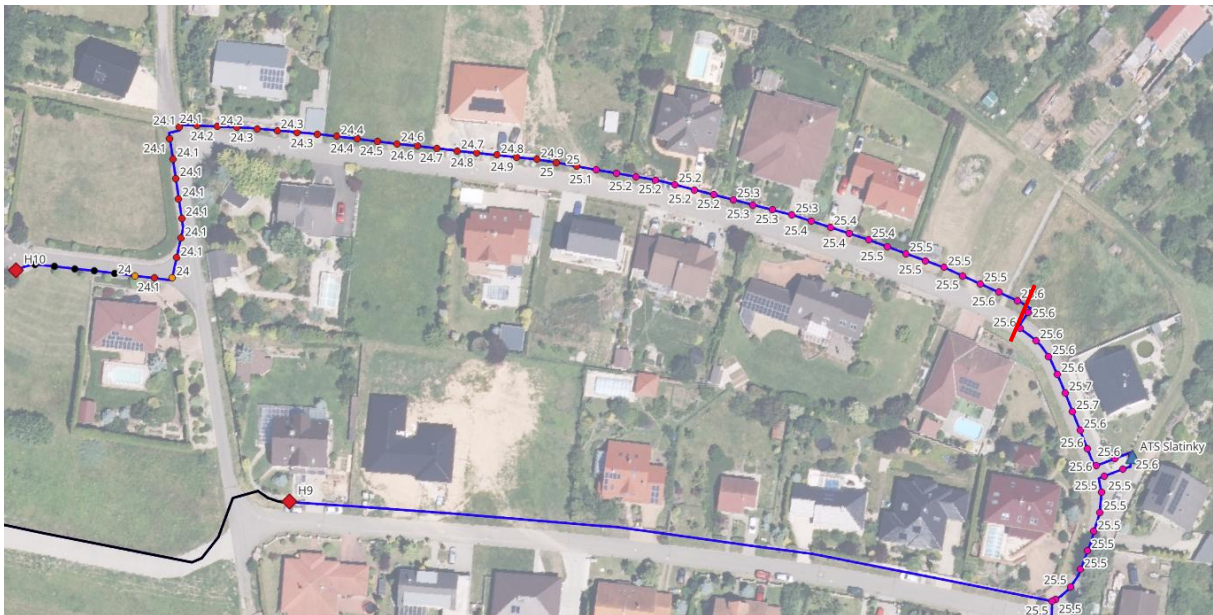
teplota půdy, protože není pravděpodobné, že pouze na jednom místě sítě by byla půda takhle prohřátá. Navíc je zde vidět poměrně intenzivní výskyt zeleně, a to včetně stromů, které by měli efekt prohřívání ještě zmenšovat.

Během měření v březnu byly výsledky ale jiné, v tomto období je teplota vody v daném místě srovnatelná s okolními úseky. Tento rozdíl lze vysvětlit sezónní změnou teplotního gradientu mezi vodou a okolním prostředím. V letním období dochází k výraznějšímu tepelnému ovlivnění vody, zatímco v zimním období je účinek téhož lokálního vlivu potlačen nižší teplotou okolí a menším rozdílem teplot. Pro dokreslení situace je přiložen průběh TPV v zimě.

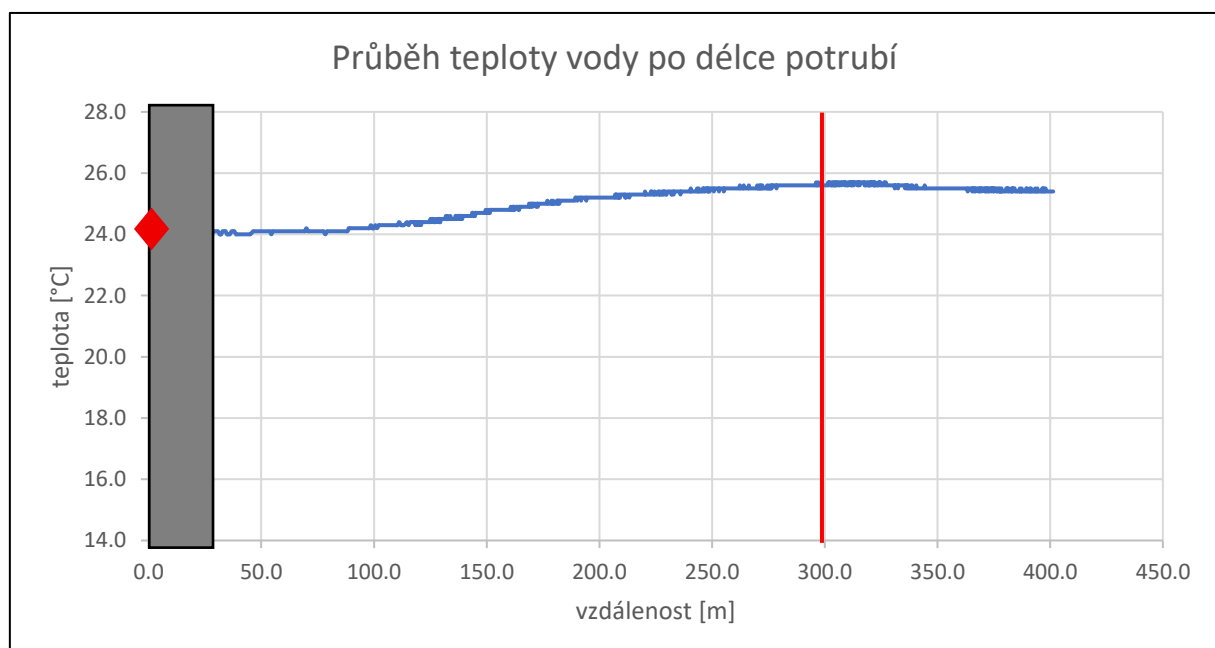


Jedním ze zajímavých vývoju teploty vody je úsek č. 10 v létě, kde se voda v okolí ATS dostává přes 25 °C, ale v blízkosti hydrantu se její teplota naopak snižuje. Tento úsek je dlouhý 400 metrů a je tady potrubí DN 90.

Možným důvodem je přechod trasy vodovodu z asfaltové vozovky do zeleného pásu, na obrázku níže je tento přechod označen červenou čarou. Teplota vody v tomto místě sice má ještě nějakou setrvačnost a její hodnota se pohybuje okolo 25,5 °C, ale potom postupně klesá.



Obr. 29 Průběh teploty vody na úseku č. 10 v létě znázorněný v aplikaci QGIS



Graf 7 Průběh teploty vody na úseku č. 10 v létě

Tento postupný pokles se odehrává ve vzdálenosti 300 metrů od hydrantu a směrem k němu se následně dostává až k hranici 24,0 °C.

Jedním z důvodů takového vývoje je pravděpodobně přechod trasy vodovodu pod jiný typ povrchu. Vhodné by v tomto případě bylo také podívat se na hloubku uložení potrubí, v rámci dostupných podkladů, ale není možné provést podrobnou analýzu. Krytí je tomto úseku 1,80 metru, z podkladů ho známe jen pro 90 metrů od hydrantu, a to je vzdálenost, která je téměř z poloviny oříznuta. Takže je tento údaj pouze orientační.

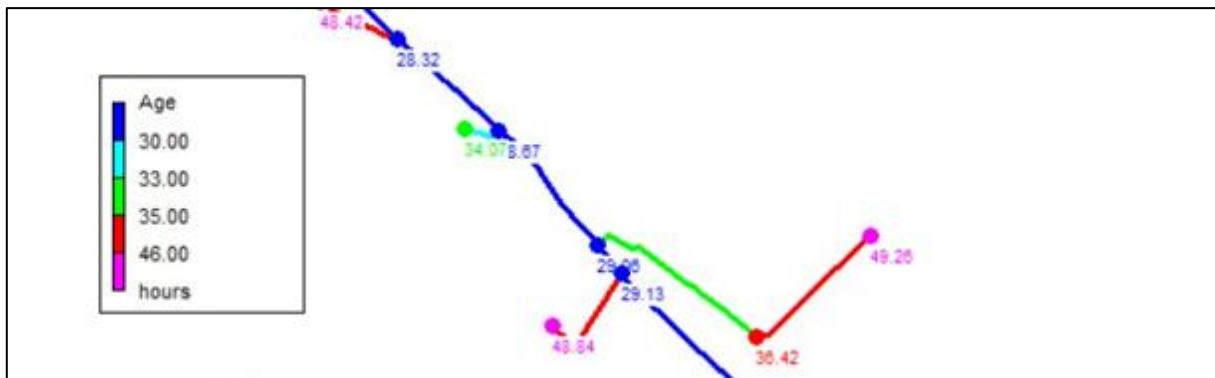
Stáří vody v místě hydrantu je na úrovni 46,11 hodiny, na konci úseku je potom 32,71 hodiny. Znamená to, že zde spolu stáří vody a její teplota úplně přesně nekoreluje, mírně odlišné podmínky jsou zřejmě zapříčiněny působením více faktorů.



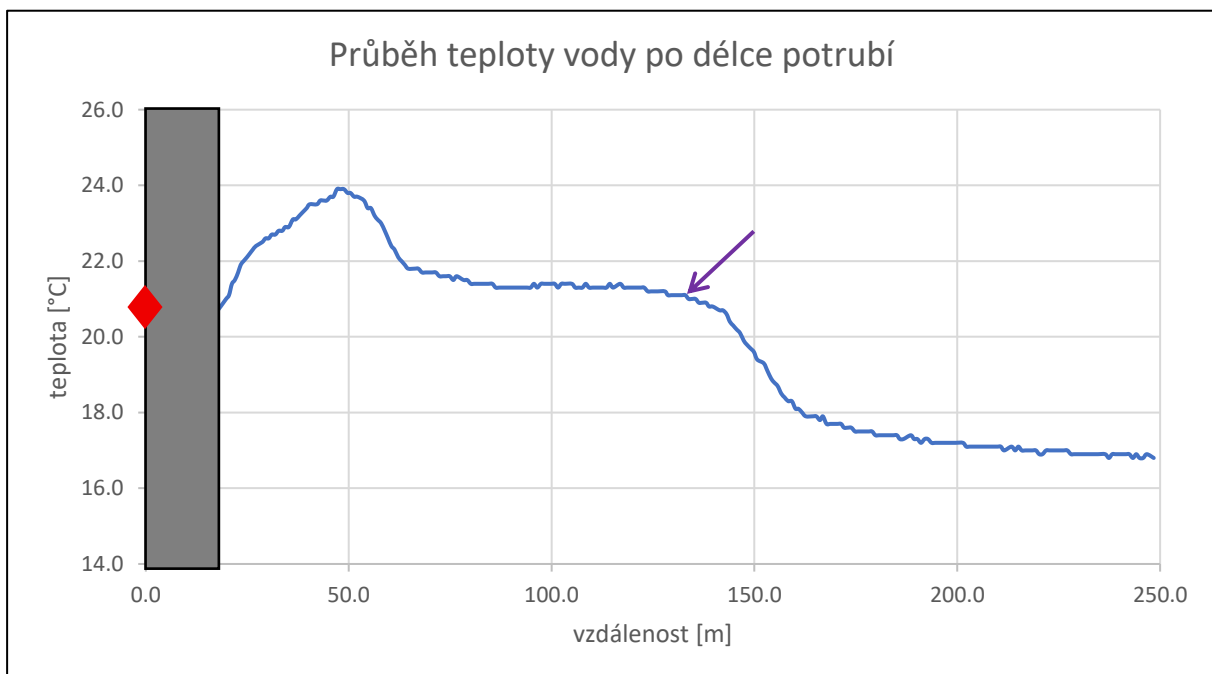
Obr. 30 Průběh teploty vody na úseku č. 4 v létě znázorněný v aplikaci QGIS

Délka dalšího úseku je 250 metrů a je směrem od hydrantu H4 nejprve položeno 134 metrů DN 110, kde jsou teploty výrazně vyšší, než na zbývající části řadu, kde je DN 90. Místo změny dimenze je na obrázku označeno fialovou šipkou. Hloubka

uložení v tomto místě není známa vůbec, co se týče stáří vody, tak detail je vidět na Obr. 31.



Obr. 31 Detail stáří vody na úseku č. 4



Graf 8 Průběh teploty vody na úseku č. 4 v létě

Na tomto úseku je vidět souvislost mezi stářím vody a vývojem její teploty. I když není nejvyšší teplota nejbliže k poloze hydrantu, tak postupně směrem k napojení na hlavní řad teplota klesá. Z dostupných podkladů není možné určit, proč se na prvních 50 metrech děje to, že teplota skokově vzroste o 4 °C a následně během přibližně 13 metrů zase o 2 °C klesne.

5 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

5.1 ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce bylo získat, analyzovat a interpretovat data o teplotě pitné vody ve vodovodní síti obce Slatinky a posoudit jejich souvislosti s vybranými faktory, které mohou teplotu vody v distribučním systému ovlivňovat. Tento cíl byl splněn prostřednictvím vyhodnocení dat získaných během řízeného proplachu vodovodní sítě pomocí technologie Astacus, a to v letním a zimním období.

Naměřená data prokázala, že teplota pitné vody ve vodovodní síti obce Slatinky vykazuje výraznou sezónní proměnlivost. V letním období byly zaznamenány vyšší hodnoty teploty vody, zatímco v zimním období se teplota vody pohybovala v nižším a stabilnějším rozmezí. Tento výsledek je v souladu s dosavadními poznatky uvedenými v odborné literatuře, které poukazují na významný vliv klimatických podmínek a teploty půdy na teplotní režim vody v potrubí. [4] [5]

Analýza prostorového rozložení teploty vody ukázala, že v rámci vodovodní sítě existují úseky s rozdílným teplotním chováním. Tyto rozdíly lze dát do souvislosti zejména s dobou zdržení vody v potrubí, typem povrchu nad vodovodním řádem a hydraulickými poměry v síti. Vyšší teploty vody byly obecně zaznamenány v okrajových částech vodovodní sítě, kde z modelu vycházejí delší doby zdržení vody a předpokládají se zde nižší průtoky.

Výsledky měření potvrdily, že doba zdržení vody v potrubí představuje jeden z klíčových faktorů ovlivňujících výslednou teplotu pitné vody. Přestože nebylo cílem práce kvantifikovat přesnou závislost mezi dobou zdržení a teplotou vody, získaná data naznačují, že v úsecích s delší stagnací dochází k výraznějšímu přiblížení teploty vody teplotě okolního prostředí. Tento poznatek odpovídá závěrům zahraničních studií, které uvádějí, že při delší době setrvání vody v potrubí se významně zvyšuje vliv půdy a okolních podmínek na její teplotu. [4]

Z hlediska vlivu povrchu nad vodovodním potrubím se potvrdilo, že úseky vedené pod nepropustnými povrchy mají v letním období tendenci k vyšším teplotám vody ve srovnání s úseky nacházejícími se v oblastech se zelení. Tento poznatek je v souladu s teorií městských tepelných ostrovů a podporuje dosavadní hypotézy o významu půdního pokryvu při přenosu tepla do vodovodního potrubí. [4]

Naměřené hodnoty teploty vody se v průběhu měření pohybovaly převážně pod hranicí 25 °C, která je v odborné literatuře a doporučeních Světové zdravotnické organizace uváděna jako mezní hodnota z hlediska zachování hygienické kvality pitné vody. Přesto výsledky ukazují, že zejména v letním období se teplota vody v některých úsecích sítě této hranici přibližuje nebo ji dokonce lokálně překračuje. To potvrzuje relevanci problematiky teploty pitné vody i v podmínkách menších obcí a zdůrazňuje význam systematického sledování tohoto parametru.

Co se týče hloubky uložení vodovodního potrubí, tak v rámci řešené lokality nebylo možné potvrdit její dominantní vliv na výslednou teplotu pitné vody. Příčinou je částečně neúplnost podkladů o hloubce uložení potrubí, která není přesně známa ve všech místech. Proto nebylo možné tento faktor vyhodnotit zcela přesně. Odborná literatura uvádí, že i při hloubce uložení 1,8 m byla naměřena teplota vody, která přesahuje hranici 25 °C. [4]

Výsledná teplota pitné vody v potrubí v daném místě a čase je výsledkem komplexní interakce tepelných toků mezi okolním prostředím a proudící vodou. Tyto tepelné toky jsou ovlivněny zejména teplotou povrchu terénu a teplotou půdy, jejími tepelnými vlastnostmi a vlastnostmi materiálu potrubí, hydraulickými poměry v síti a dobou zdržení vody v určitém úseku. [4]

Přenos tepla do vody probíhá postupně od povrchu terénu přes půdní prostředí a stěnu potrubí až k dopravované vodě, přičemž výsledná teplota vody reprezentuje stav, kdy se přijaté a odváděné množství tepelné energie v daném okamžiku vyrovnává s tepelnou kapacitou proudící vody. Tento stav však nelze chápat jako statickou rovnováhu, ale spíše jako kvaziustálený proces, jehož charakter se mění v závislosti na provozních a klimatických podmínkách. [4]

Z naměřených dat vyplývá, že v úsecích s delší dobou zdržení vody má okolní prostředí výraznější vliv na výslednou teplotu vody, zatímco v úsecích s vyššími průtoky se tento vliv částečně potlačuje vlivem větší tepelné kapacity a rychlejší obnovy objemu vody. Výsledná teplota vody je tedy vždy výslednicí vzájemného působení tepelných vlastností okolního prostředí a hydraulického režimu vodovodní sítě.

Závěrem lze konstatovat, že výsledky diplomové práce jsou v obecné shodě s dosavadními odbornými poznatky o chování teploty pitné vody v distribučních

systemech. Práce se nesnaží přinášet spekulativní závěry, ale na základě reálných provozních dat potvrzuje význam vybraných faktorů, zejména sezónnosti, doby zdržení vody a typu povrchu nad potrubím.

5.2 DOPORUČENÍ

Na základě provedené analýzy a získaných výsledků lze formulovat několik doporučení pro provozní praxi, projektování vodovodních sítí i pro další odborný výzkum.

Z provozního hlediska se jako vhodné opatření jeví věnovat zvýšenou pozornost okrajovým částem vodovodní sítě, kde může docházet k delší stagnaci vody. Právě koncové části sítě, kde je snížený průtok vody, jsou prohříváním v létě postiženy nejvíce. Aby se omezilo riziko nadměrného mikrobiálního oživení vody vlivem vyšší teploty, je vhodné tyto části sítě udržovat v čistotě a pravidelně je proplachovat, aby se snížilo množství jemného sedimentu a vnitřní povrch potrubí se očistil. [2] [4]

Zároveň se doporučuje zahrnout sledování teploty pitné vody mezi běžně vyhodnocované provozní parametry, alespoň během letního období.

Z hlediska projektové praxe je vhodné při návrhu nových vodovodních řadů nebo při rekonstrukcích stávajících sítí zohledňovat trasování potrubí s ohledem na charakter povrchu a okolního prostředí. Pokud to místní podmínky umožňují, je vhodné upřednostňovat vedení potrubí v plochách se zelení nebo navrhovat opatření ke snížení akumulace tepla v okolí potrubí. V problematických úsecích lze zvážit také optimalizaci hydraulických poměrů s cílem zkrácení doby zdržení vody. [5]

Z hygienického hlediska je doporučeno věnovat zvýšenou pozornost letnímu období, kdy se teplota vody může přibližovat hodnotám, při nichž dochází ke zhoršení podmínek pro udržení mikrobiologické stability vody. V rámci této práce nebylo provedeno mikrobiologické hodnocení pitné vody, nicméně naměřené teplotní průběhy podporují význam sledování teploty jako provozního parametru, který je v literatuře spojován se snížením účinnosti dezinfekce a podporou růstu biofilmu. [2] [4]

Pro další výzkum by bylo přínosné rozšířit měření o delší časový úsek, případně o kontinuální monitoring teploty vody v průběhu celého roku. Dále by bylo vhodné kombinovat měření teploty vody s podrobnějším hydraulickým modelováním sítě a s hodnocením dalších kvalitativních parametrů pitné vody. Nabízí se například implementace modelu přenosu tepla do aplikace EPANET. Takový přístup by umožnil lépe kvantifikovat vzájemné vazby mezi teplotou, dobou zdržení a kvalitou vody. [5]

Závěrem lze doporučit, aby problematika teploty pitné vody byla v budoucnu považována za nedílnou součást hodnocení provozního stavu vodovodních sítí, a to nejen ve velkých městských aglomeracích, ale i v menších obcích, kde se vliv lokálních podmínek může projevit velmi výrazně.

6 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Vyhláška č. 252/2004 Sb., 2024. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2025-12-08]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
- [2] FISH, Katherine E., Rebecca L. SHARPE, Catherine A. BIGGS a Joby B. BOXALL, 2022. Impacts of temperature and hydraulic regime on discolouration and biofilm fouling in drinking water distribution systems. *PLOS Water* [online]. Public Library of Science (PLOS), 2022-8-16, 1(8), e0000033 [cit. 2025-12-02]. ISSN 2767-3219. Dostupné z: [doi:10.1371/journal.pwat.0000033](https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000033)
- [3] Guidelines for Drinking-water Quality, 2017. Guidelines for Drinking-water Quality [online]. 2017(4), 244-282 [cit. 2025-12-10]. Dostupné z: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>
- [4] VENIGER, Jan. Teplota vody ve vodovodní síti. Brno, 2024. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.
- [5] CINCOTTA, Chiara, Mirjam BLOKKER, Cristiana BRAGALLI a Zoran KAPELAN, 2024. Spatial Analysis of Water Temperature in a Drinking Water Distribution System for Climate Change Adaptation. *The 3rd International Joint Conference on Water Distribution Systems Analysis* [online]. Basel Switzerland: MDPI, 2024-9-12, 2024(69), 127 [cit. 2025-12-07]. Dostupné z: [doi:10.3390/engproc2024069127](https://doi.org/10.3390/engproc2024069127)
- [6] FURST, Kirin E., Katherine E. GRAHAM, Richard J. WEISMAN a Kadmiel B. ADUSEI, 2024. It's getting hot in here: Effects of heat on temperature, disinfection, and opportunistic pathogens in drinking water distribution systems. *Water Research* [online]. Elsevier BV, 260(Volume 260), 121913 [cit. 2025-12-08]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: [doi:10.1016/j.watres.2024.121913](https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.121913)
- [7] NAKANISHI, Tomohiro, Madoka HIROSE, Yasuhiro ASADA a Sadahiko ITOH, 2024. Legionella community dynamics in a drinking water distribution system: Impact of residual chlorine depletion. *Science of The Total Environment* [online]. Elsevier BV, 956(177302), 177302 [cit. 2025-12-09]. ISSN 0048-9697. Dostupné z: [doi:10.1016/j.scitotenv.2024.177302](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.177302)

- [8] *Meteorologická stanice FAST VUT Brno: Ústav vodního hospodářství krajiny*, 2026. Brno. Datový soubor. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.
- [9] Petr Straňák Optimalizace tlakových poměrů ve vodovodních sítích. Brno, 2017. 62 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
- [10] ABSALAN, Faezeh, Fatemeh HATAM, Mirjam BLOKKER, Marie-Claude BESNER, Michèle PRÉVOST a Françoise BICHAI, 2024. Impact of heat islands vs. city greening: Real-time monitoring and modeling of drinking water temperature in the city of Montreal in Canada. *Water Research* [online]. **256**, 1-5 [cit. 2025-12-08]. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2024.121490
- [11] Agudelo-Vera, C.; Avvedimento, S.; Boxall, J.; Creaco, E.; de Kater, H.; Di Nardo, A.; Djukic, A.; Douterelo, I.; Fish, K.E.; Iglesias Rey, P.L.; Jacimovic, N.; Jacobs, H.E.; Kapelan, Z.; Martinez Solano, J.; Montoya Pachongo, C.; Piller, O.; Quintiliani, C.; Ručka, J.; Tuhovčák, L.; Blokker, M. Drinking Water Temperature around the Globe: Understanding, Policies, Challenges and Opportunities. *Water*, 2020, roč. 1049, č. 12(4), s. 1-19. ISSN: 2073-4441.
- [12] ZHANG, Liquan, Ren REN, Huali HE a Shaoying LIU, 2023. Assessing human exposure to phthalate esters in drinking water migrated from various pipe materials and water filter elements during water treatments and storage. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. **30**(16), 47832-47843 [cit. 2025-12-09]. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-023-25633-1
- [13] EUROPEAN CHEMICALS AGENCY [ECHA], 2023. Ftaláty. *European Chemicals Agency [ECHA]* [online]. [cit. 2025-12-09]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/hot-topics/phthalates>
- [14] EPDM rubber material utilization in epoxy composite systems, 2014. *Agronomy research* [online]. **12**(1), 291-298 [cit. 2025-12-09]. Dostupné z: https://agronomy.emu.ee/vol121/2014_1_34_b5.pdf
- [15] BLOKKER, E.J. Mirjam a E.J. PIETERSE-QUIRIJNS, 2013. Modeling temperature in the drinking water distribution system. *Journal AWWA* [online]. **105**(1), E19-E26 [cit. 2025-12-09]. ISSN 0003-150X. Dostupné z: doi:10.5942/jawwa.2013.105.0011

- [16] DHANABAL, Geetha a Gajendran CHELLAIAH, 2025. Enhancing residual chlorine stability in water distribution systems: Challenges, modeling approaches, and advanced optimization strategies. *Next Chemical Engineering* [online]. Elsevier BV, 1(100005), 100005 [cit. 2026-01-14]. ISSN 3050-7243. Dostupné z: doi:10.1016/j.nxcen.2025.100005
- [17] ROSSMAN, Lewis A. *EPANET 2.2 User Manual* [online]. Cincinnati (OH): U.S. Environmental Protection Agency, 2020 [cit. 2026-01-14]. Dostupné z: https://19january2021snapshot.epa.gov/sites/static/files/2020-05/documents/epanet_userss_manual_2.2.0.pdf
- [18] PITTER, Pavel. Hydrochemie. 5. aktualizované a doplněné vydání. Praha: Vysoká škola chemickotechnologická v Praze, 2015. ISBN:978-80-7080-928-0.
- [19] Historie, 2026. *Obec Slatinky* [online]. 14.1. 2026 [cit. 2026-01-14]. Dostupné z: <https://www.slatinky.cz/obec/informace-o-obci/historie/>
- [20] KULMEDOV, Begmyrat, Emre EROGLU a Nurmurat KANDYMOV, 2025. Modeling the factors affecting residual chlorine decay in the water distribution network of Abuja, Nigeria. *Water Quality Research Journal* [online]. IWA Publishing, 2025-7-11, 60(3), 482-497 [cit. 2026-01-14]. ISSN 2709-8044. Dostupné z: doi:10.2166/wqrj.2025.006
- [21] *Řízený proplach vodovodní sítě obce Slatinky: A. + B. Průvodní a technická zpráva* [online], 2024. 2024.
- [22] VODA BRNO, A.S., 2026. Čištění vodovodních sítí a testování požárních hydrantů. *VODA BRNO, a.s.* [online]. [cit. 2026-01-14]. Dostupné z: <https://vodabrno.cz/>
- [23] Centers for Disease Control and Prevention (CDC). *Naegleria fowleri* (Naegleria Infection). [online]. Atlanta: CDC, [cit. 2026-01-15]. Dostupné z: <https://www.cdc.gov/naegleria/>

7 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Tepelná vodivost materiálů potrubí [4]	7
Tab. 2 Přehled naměřených teplot podle jednotlivých tříd oblastí [4] [10]	9
Tab. 3 Kategorie faktorů ovlivňujících teplotu pitné vody v BP [4]	29
Tab. 4 Upravené kategorie faktorů.....	30

8 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma prostředí a přenosu energie mezi jednotlivými vrstvami [4].....	5
Obr. 2 Vývoj teploty půdy v 50 a 100 cm pod povrchem [4]	6
Obr. 3 Zóny s různými druhy povrchu [4].....	8
Obr. 4 Měřené a modelované teploty půdy [4]	10
Obr. 5 Přehled naměřených hodnot [4].....	11
Obr. 6 Vývoj teplot ve městě Almere [5]	16
Obr. 7 Kostra sítě a odběrná místa [7]	18
Obr. 8 Charakteristiky hydraulických režimů [2]	21
Obr. 9 Naměřené hodnoty jednotlivých parametrů [2].....	21
Obr. 10 Technologie Astacus v terénu	25
Obr. 11 Průběh teploty vzduchu v období zimního měření [8]	26
Obr. 12 Průběh teploty vzduchu v období letního měření [8]	27
Obr. 13 Srážkové úhrny během období letního měření [8]	28
Obr. 14 Srážkové úhrny během zimního období [8].....	28
Obr. 15 Povrch nad vodovodním potrubím na začátku distribuční sítě	31
Obr. 16 Povrch nad vodovodním potrubím v další části distribuční sítě	31
Obr. 17 Kostra sítě v programu EPANET	32
Obr. 18 Mapa stáří vody v potrubí.....	34
Obr. 19 Stupnice teploty vody pro zimní měření	36
Obr. 20 Stupnice teplot pro letní měření	36
Obr. 21 Mapa průběhů teploty vody z letního měření	37
Obr. 22 Průběh teploty vody na úseku č. 1 v létě znázorněný v aplikaci QGIS	39
Obr. 23 Průběh teploty vody na úseku č. 1 v zimě znázorněný v aplikaci QGIS ..	41
Obr. 24 Mapa průběhů teploty vody ze zimního měření	42
Obr. 25 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v zimě znázorněný v aplikaci QGIS ..	44

Obr. 26 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v létě znázorněný v aplikaci QGIS	45
Obr. 27 Průběh teploty vody na úseku č. 11 v létě znázorněný v aplikaci QGIS ..	47
Obr. 28 Průběh teploty vody na úseku č. 11 v zimě znázorněný v aplikaci QGIS	48
Obr. 29 Průběh teploty vody na úseku č. 10 v létě znázorněný v aplikaci QGIS ..	49
Obr. 30 Průběh teploty vody na úseku č. 4 v létě znázorněný v aplikaci QGIS	50
Obr. 31 Detail stáří vody na úseku č. 4.....	51

9 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Průběh teploty vzduchu v období zimního měření [8]	26
Graf 2 Průběh teploty vzduchu v období letního měření [8]	27
Graf 3 Průběh teploty vody na úseku č.1 v létě.....	38
Graf 4 Průběh teploty vody na úseku č.1 v zimě	40
Graf 5 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v zimě.....	44
Graf 6 Průběh teploty vody na úseku č. 6 v létě.....	46
Graf 7 Průběh teploty vody na úseku č. 10 v létě.....	49
Graf 8 Průběh teploty vody na úseku č. 4 v létě.....	51

10 SEZNAM ZKRATEK

GDWQ... Guidelines for Drinking-Water Quality

TPV... teplota pitné vody

DSPV... distribuční systém pitné vody

WHO... World Health Organization

US EPA... United States Environmental Protection Agency

ÚV... úpravna vody

ATS... automatická tlaková stanice

DEP... dietyl ftalát

DEHP... diethylhexyl ftalát

DBP... dibutylftalát

BBP... butyl benzyl ftalát

DNOP... di-n-oktyl ftalát

PVC... polyvinylchlorid

PP... polypropylen

PE... polyetylen

PB... polybuten

EPDM... etylen-propylen-dien-monomer

pH... potential of hydrogen

m³... metr krychlový

km²... kilometr čtvereční

PODDS... Prediction of Discolouration in Distribution Systems

USA... United States of America