



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 SÍTÍ

WATER TEMPERATURE IN WATER SUPPLY NETWORK

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jan Veniger

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jan Ručka, Ph.D.

BRNO 2024

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav vodního hospodářství obcí
Student: **Jan Veniger**
Vedoucí práce: **Ing. Jan Ručka, Ph.D.**
Akademický rok: 2023/24
Studijní program: B0732A260005 Stavební inženýrství
Studijní obor: 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 bakalářské práce:

Teplota vody ve vodovodní síti

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

V rámci řešení bakalářské práce budou vyhodnocena data o teplotě vody, která byla získána během řízeného proplachu vodovodních sítí obcí Kanice a Říčmanice, který proběhl v létě 2023. Informace o teplotě vody budou zapracovány do mapových podkladů obcí. V rámci teoretické části bude provedena rešerše aktuální literatury na dané téma.

Cíle a výstupy bakalářské práce:

Vytvoření mapy teploty vody ve vybraných úsecích vodovodní sítě obcí Kanice a Říčmanice.

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] NOVÁKOVÁ, J.; RUČKA, J. Teplota jako významný ukazatel jakosti vody ve vodovodní síti. In JUNIORSTAV 2020. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2020. s. 539-544. ISBN: 978-80-86433-73-8.

[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 bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku.

V Brně, dne 11. 11. 2023

L. S.

doc. Ing. Tomáš Kučera, Ph.D.
vedoucí ústavu

Ing. Jan Ručka, Ph.D.
vedoucí práce

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje analýze teploty vody ve vodovodní síti obcí Kanice a Řícmanice. Jsou to obce nacházející se v Jihomoravském kraji, v okrese Brno-venkov. Nejprve je popsána dostupná literatura, která byla použita při zpracování dat. Pro účely měření teplot byla využita technologie Astacus, kterou využívá firma Voda Brno, s.r.o. k řízenému proplachu vodovodního potrubí. Dále je popsán průběh teploty vody po délce potrubí na jednotlivých částech vodovodních řadů. V poslední části se práce věnuje vlivu posuzovaných faktorů na teplotu vody.

KLÍČOVÁ SLOVA

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

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the analysis of water temperature in the water supply network of the municipalities of Kanice and Řícmanice. These are municipalities located in the South Moravian Region, in the district of Brno-venkov. First, the available literature that was used in the data processing is described. For the purpose of temperature measurements, the Astacus technology used by Voda Brno, s.r.o. for controlled flushing of water pipes was used. Furthermore, the water temperature distribution along the length of the pipeline on individual parts of the water supply lines is described. In the last part of the paper the influence of the assessed factors on the water temperature is discussed.

KEYWORDS

Drinking water supply, drinking water, water temperature, water quality

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

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.

PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 24. 05. 2024

Jan Veniger

autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

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

V Brně dne 24. 5. 2024

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 a přítelkyni za podporu během celého studia.

OBSAH

1	ÚVOD	3
1.1	Cíl práce	3
1.2	Současný stav řešené problematiky	3
2	TEPLOTA VODY VE VODOVODNÍ SÍTI	2
2.1	Teplota pitné vody – prvotní poznatky	2
2.1.1	Vliv půdy a jejich vlastností na teplotu pitné vody	4
2.1.2	Materiál potrubí.....	5
2.1.3	Závěr studie	6
2.2	Vliv urbanizovaných oblastí na teplotu půdy a vody	6
2.2.1	Vliv a důsledky většího zastoupení nepropustných ploch ve městech	7
2.2.2	Průběh měření teploty vody	7
2.2.3	Doba zdržení vody v potrubí.....	9
2.2.4	Modelování teploty půdy v jednotlivých oblastech.....	10
2.2.5	Závěry prezentovaného článku	10
2.3	Výskyt nežádoucích látek ve vodě s rostoucí teplotou	12
2.3.1	Význam ftalátů pro člověka	13
2.3.2	Průběh studie a vyhodnocování.....	13
2.3.3	Průběh vyhodnocování.....	14
2.3.4	Výskyt ftalátů v závislosti na podmínkách ve vodě	14
2.3.5	Vliv pH, teploty a doby zdržení na naměřené koncentrace	16
2.3.6	Závěry a shrnutí studie	17
2.4	Shrnutí zahraniční literatury.....	17
3	TEPLOTA PITNÉ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI OBCÍ KANICE A ŘÍCMANICE	
	19	
3.1	Získávání dat.....	19
3.1.1	Technologie Astacus	19
3.1.2	Podmínky v průběhu měření	20
3.2	Zpracování dat.....	21

Bakalářská práce

3.2.1	Faktory ovlivňující teplotu pitné vody.....	23
3.2.2	Zajímavé průběhy teploty vody po délce potrubí	26
3.2.3	Vyhodnocení dat.....	38
4	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ.....	41
5	POUŽITÁ LITERATURA.....	43
6	SEZNAM TABULEK	45
7	SEZNAM OBRÁZKŮ	46
8	SEZNAM GRAFŮ	47
9	SEZNAM ZKRATEK	48

1 ÚVOD

Tato bakalářská práce se věnuje analýze teploty pitné vody v distribučním systému. Měření těchto dat proběhlo pomocí technologie Astacus, kterou používá společnost Voda Brno, s.r.o. Měření bylo uskutečněno ve dvou oblastech v Jihomoravském kraji, konkrétně v obcích Kanice a Řícmanice. Pro lepší pochopení této problematiky bude nejprve popsána dostupná literatura, v druhé části budou popsány poznatky z měření v terénu. Veškeré naměřené údaje byly zpracovávány nejprve pomocí aplikace Microsoft Excel, pro znázornění průběhů teploty pitné vody v mapových podkladech na jednotlivých částech řadů byla použita aplikace QGIS.

I přes to, že má teplota vody ve vodovodní síti zásadní vliv na její kvalitu, složení i chuť, je tato problematika poměrně opomíjená. Literatura se tímto tématem zabývá spíše zřídka. Ve světě se monitoruje především překročení limitu 25 °C stanovený Světovou zdravotnickou organizací (WHO). Největší snahu zkoumat tento problém v Evropě vykazuje Nizozemsko, kde se rostoucí teplotou zabývají už od roku 2006. Aby bylo možné zamezit rostoucí teplotě vody a případnému překračování zmíněné hranice, je potřeba stanovit faktory, které teplotu ovlivňují. [3]

1.1 CÍL PRÁCE

Cílem této bakalářské práce je měření teploty vody ve vodovodní síti, stanovení faktorů, které mají na teplotu vliv, ale především rozšířit povědomí o této problematice. Vzhledem k aktuálním vysokým letním teplotám, které často překračují hranici 30 °C a mění teplotu vody ve vodovodní síti, může být definování faktorů, které tento proces způsobují v budoucnu užitečné pro přijímání nejrůznějších opatření proti trendu narůstajících teplot.

1.2 SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

Jak již bylo výše zmíněno, aktuální dostupnost literatury na toto téma je nedostačující. Na našem území jsou popsány limity pro zachování hygienické kvality pitné vody v příloze č. 1 ve vyhlášce č. 252/2004 Sb. Je jich dohromady 69 a jsou rozděleny do dvou částí – A a B. Část A popisuje 10 mikrobiologických a biologických ukazatelů a jejich maximální povolený výskyt v pitné vodě. Jedná

se například o koncentrace koliformních bakterií nebo Escherichia Coli. V části B je vypsáno 59 fyzikálních, chemických a organoleptických ukazatelů, které mají vymezené limitní koncentrace pro chlor, hořčík, arsen, ale i pH, zápach a zákal. Pro teplotu je zde uvedena pouze dovolená hodnota (DH), která je 8–12 °C. Toto rozmezí je pouze doporučující, maximální dovolená teplota stanovená není. [1]

WHO ve své publikaci Guidelines for Drinking-water Quality (GDWQ) z roku 2017 popisuje důvody, proč je důležité udržovat teplotu vody ve vodovodní síti pod hranicí 25 °C. Jedním z hlavních důvodů je, že překročením tohoto limitu dochází k množení několika druhů bakterií, které jsou pro člověka zdravotně závadné. Za zmínku stojí Legionella nebo bakterie Naegleria fowleri. [2]

2 TEPLOTA VODY VE VODOVODNÍ SÍTI

Důležitou součástí této práce je snaha zpracovat zahraniční literaturu, která na rozdíl od té naší prezentuje data o teplotě vody vzhledem k faktorům, které ji ovlivňují. Vliv na pitnou vodu v distribučním systému může být jak pozitivní, tak negativní. Působením jednoho nebo i kombinací více těchto faktorů může být teplota nižší, případně vyšší. Pokud je teplota snižována, má to obecně příznivý vliv na zachování její hygienické kvality. V opačném případě, tedy s výskytem míst v síti, která se vyznačují vodou s vyššími teplotami, může docházet k ohrožení její zdravotní nezávadnosti. Kromě toho dle literatury dochází také ke změně koncentrací zbytkového dezinfekčního prostředku nebo také chuti pitné vody. Vzhledem k trendu narůstajících letních teplot, kdy se často lze setkat s maximy překračujícími hodnotu 30 °C, je podstatné vědět, jak výslednou teplotu vody ovlivní její bezprostřední okolí, kterým je materiál potrubí a půda. Kromě toho má nezanedbatelný vliv také půdní pokryv, tím je v urbanizovaných oblastech nejčastěji asfalt, případně beton. Mimo zastavěné území se pochopitelně častěji setkáváme s hustější vegetací, která dle dosavadních znalostí má poměrně podstatný vliv na teplotu půdy i teplotu pitné vody ve vodovodním potrubí. Posledním uvažovaným faktorem je doba zdržení vody v potrubí, i ta může ovlivnit výsledný stav teploty vody. [3] [4]

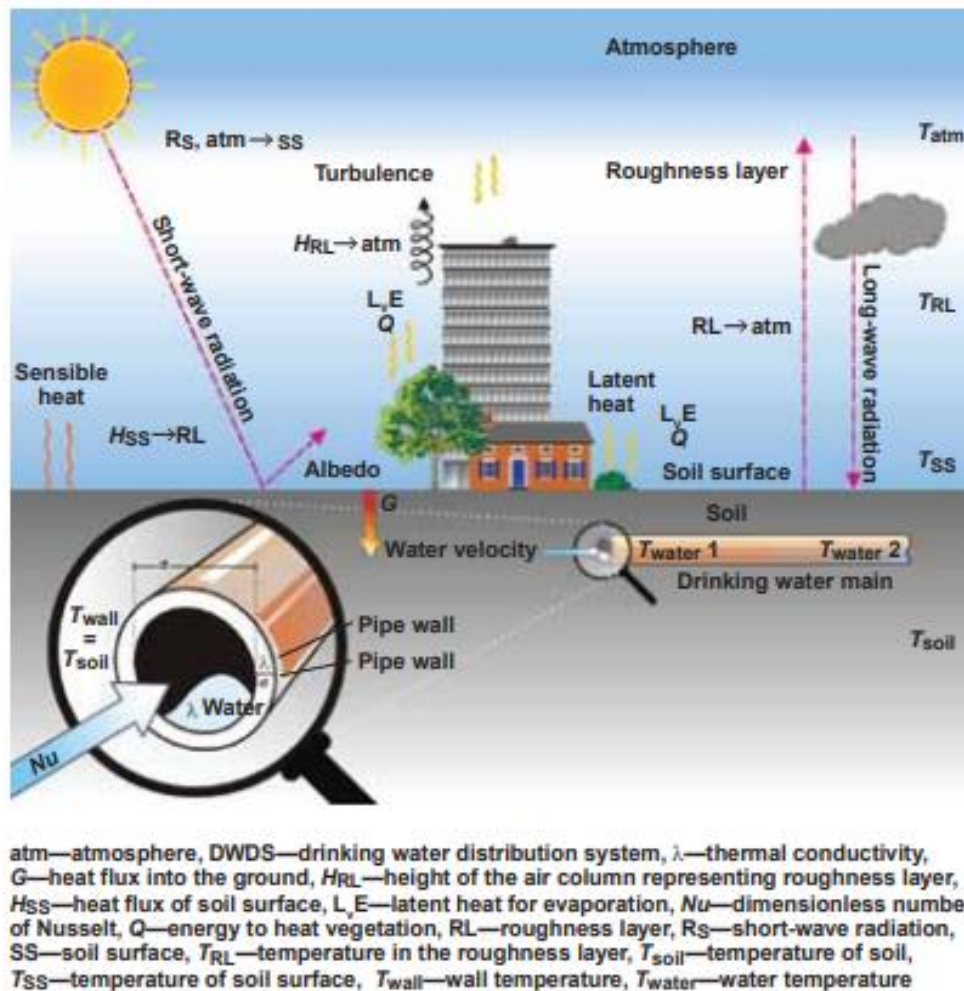
2.1 TEPLOTA PITNÉ VODY – PRVOTNÍ POZNATKY

První pokusy o definování jednotlivých faktorů a vlivu jejich působení pochází z roku 2013, kdy byla vydána nizozemská studie, která se zabývala měřením a modelováním teploty pitné vody. Několik zásadních tezí z ní bude prezentováno v této kapitole. [3]

Jelikož v době vydání studie, ale především při měření těchto dat, panovaly zcela jiné meteorologické podmínky oproti dnešní době, lze s ohledem na globální oteplování konstatovat, že pokud by podobný výzkum proběhl dnes, jeho výsledky budou pravděpodobně pro konečnou kvalitu pitné vody mnohem více nepříznivé. Naměřené teploty v případě této studie překročily limit 25 °C, který byl blíže specifikován v předchozí kapitole **Současný stav řešené problematiky**, pouze v 21 z 21 000 vzorků. Dále také uvádí, jaké konkrétní vlivy mají vyšší teploty vody na její kvalitu. Při zvýšení teploty se mění viskozita vody, mění se její schopnost

absorbovat chemické látky. Zásadní je také snižování účinnosti dezinfekčního chloru, ten se stoupající teplotou vyprchává z vody rychleji. [3]

Pro lepší pochopení celé problematiky je okolní prostředí rozděleno do čtyř vrstev na Obr. 1. [3]



Obr. 1 Schéma prostředí a přenosu energie mezi jednotlivými vrstvami [3]

Vrstva roughness layer, v doslovném překladu vrstva drsnosti, představuje oblast s nejvíce proměnnými. Zásadní vliv na teplotu a přenos energie zde má v intravilánu výška budov, v extravilánu potom výška korun stromů. [3]

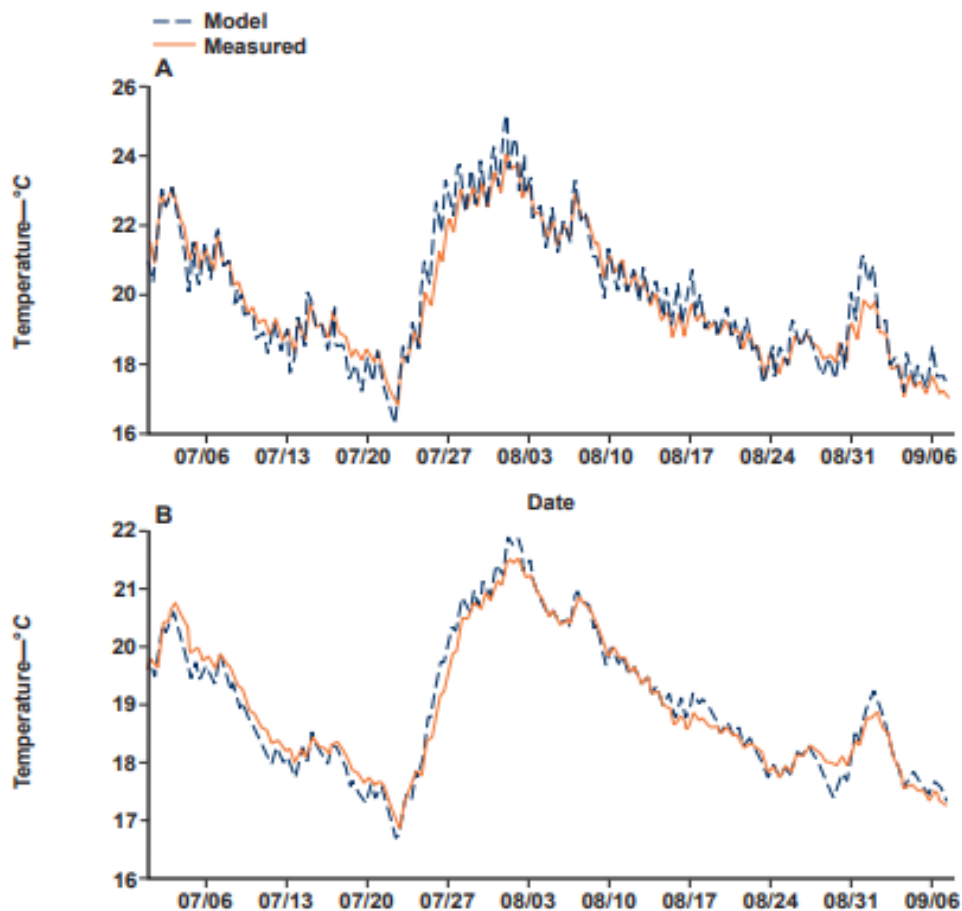
Jednotlivé vrstvy se navzájem ovlivňují a přenášejí mezi sebou energii, tedy dochází k přenosu tepla, které v poslední fázi akumuluje povrch. V souvislosti s půdou je zde popsán důležitý fakt, a to sice, že zásadní vliv na teplotu vody v potrubí má

teplota okolní půdy. Jelikož je hmotnostní rozdíl těchto dvou médií značný, nedochází k jejímu ovlivňování proudící vodou v potrubí. [3]

Pitnou vodu lze modelovat dvěma způsoby, za prvé jako funkci počasí a půdních parametrů, druhá varianta modelu ji bere jako funkci teploty půdy, rychlosti proudění a materiálu potrubí. [3]

2.1.1 Vliv půdy a jejich vlastností na teplotu pitné vody

Studie věnuje velkou pozornost nejrůznějším půdním parametrům, které charakterizují její fyzikální vlastnosti. Jedním z těch, které mají na celkovou teplotu půdy největší vliv, je tepelná vodivost. Je definována jako schopnost látky přenášet teplo, tedy jaký typ půdy je schopen nejjednodušeji a nejrychleji předat vodovodnímu potrubí a následně i vodě v něm svoji tepelnou energii. Největším tepelným přenašečem je písek. Pokud je mokrý, tato veličina ještě narůstá, to samé platí například i pro štěrk. [3]



Obr. 2 Vývoj teploty půdy v 50 a 100 cm pod povrchem [3]

V souvislosti s tepelnou kapacitou, což je schopnost materiálu akumulovat získané teplo, je v článku zmíněna rašelina. Opět platí to, co u tepelné vodivosti, pokud je rašelina mokrá, tepelná kapacita narůstá. [3]

Lze tedy říct, že pokud používáme pískový nebo štěrkopískový obsyp potrubí, napomáháme tomu, aby teplota pitné vody byla stále vyšší, a tedy nepříznivější při daných klimatických podmínkách. V kombinaci s nevhodně zvoleným materiálem můžou teploty intenzivně narůstat.

Na **Obr. 2** je porovnáno měření a modelování teploty půdy v hloubce 50 a 100 centimetrů pod povrchem ve městě Breda. Modelování půdy vychází z poměrně složitých vzorců a úvah. Pro účely této bakalářské práce je z těchto grafů důležité vypíchnout hodnoty naměřené, tedy ty, co jsou vykresleny oranžovou plnou čarou. Je z nich vidět, že i jeden metr pod povrchem může půda dosahovat téměř 22 °C. [3]

Nezávisle na předchozím měření vznikla v roce 2006 teplotní analýza také ve městě Eindhoven. Z datových údajů vyplývá, že v hloubce jeden metr, v převážně písčitých půdách, se vyskytují i teploty 25 °C. Tyto hodnoty byly naměřeny při venkovní teplotě okolo 30 °C. [3]

2.1.2 Materiál potrubí

Dalším důležitým faktorem je materiálová skladba potrubí. Je to poslední prvek v celém procesu přenosu tepla z atmosféry do pitné vody. Nutnost kvantifikovat vliv použitého materiálu je tedy stejně důležitá, jako znalost vlastností použitého obsypu nebo zeminy, která se v daném místě vyskytuje. [3]

Pro názornou ukázkou nizozemský výzkum používá dva úplně odlišné příklady vodičů tepla. Jako velmi tepelně vodivý materiál se jeví litina. Opačným příkladem jsou obecně plasty, jako velmi špatné tepelné vodiče, v **Tab. 1** je uvedena konkrétní hodnota pro PVC. [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, dochází k tomu, že snadněji přijímá teplo z okolního prostředí. [3]

Tab. 1 Tepelná vodivost materiálů potrubí [3]

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

Při modelování a následném porovnávání teplot, kterých je dosaženo v síti se 100% zastoupením PVC potrubí, teploty mnohem více kolísají. Jejich nejvyšší hodnoty jsou zhruba 24 °C a v opačném případě, při 100% zastoupení litiny po relativně krátké době atakují teploty 25 °C. [3]

2.1.3 Závěr studie

Shrnutím tohoto výzkumu je tedy několik následujících faktů. Pro predikci možných teplot ve vodovodní síti je mnohem důležitější znát půdní parametry, které určují výslednou teplotu půdy než znalost teploty vzduchu na daném místě. Důležitá je taky volba materiálu, kdy při použití PVC má voda v potrubí až o 2 °C méně ve srovnání s půdou. Při použití litiny jsou tyto dvě teploty stejné. V důsledku globálního oteplování bude velice pravděpodobně přibývat nejen teplejších dní, ale také s tím spojených vyšších teplot ve vodovodní síti. Je také velice pravděpodobné, že bude mnohem častěji překročena hranice 25 °C, která je spojena se snižující se hygienickou kvalitou pitné vody. Jako možné opatření se jeví změna hloubky uložení, či intenzivnější výsadba vegetace v urbanizovaných oblastech. [3]

2.2 VLIV URBANIZOVANÝCH OBLASTÍ NA TEPLITU PŮDY A VODY

Studie, která vznikla v Montrealu, má velikou výhodu oproti té předchozí, jelikož její data jsou mnohem aktuálnější. Pocházejí z roku 2022 a výsledky potvrzují, že globální oteplování má vliv na teplotu vody v potrubí. Obě studie se shodují v tom, že půda je velmi důležitým parametrem při určování výsledné teploty vody v distribučním systému. V tomto případě se nepopisuje pouze problematika půdy, ale také konkrétně vliv jejího vegetačního pokryvu a nepropustných ploch. [4]

Kromě shody v tom, že na zvyšování teplot v půdě má vliv globální oteplování, je zde také zmíněna hloubka uložení jako možný faktor. Důležité je říct, že oproti České republice je v Kanadě potrubí uložené ve větší hloubce, konkrétně v 1,8

metru. Měření probíhalo záměrně v teplých letních dnech, od července až do září. V červenci zároveň probíhalo teplotní měření i pro tuto bakalářskou práci a tím pádem může být tento článek prospěšný pro vyvozování některých závěrů. [4]

2.2.1 Vliv a důsledky většího zastoupení nepropustných ploch ve městech

Přibývající urbanizované oblasti zásadně ovlivňují místní teplotu vzduchu, povrchu půdy i podpovrchových oblastí, včetně podzemních vod. Kromě tyto plochy zvyšují evapotranspiraci a povrchový odtok. [4]

Vlivem těchto faktorů dochází k zahřívání pitné vody v potrubí, a to má za následek rychlejší rozklad chloru, vznikají vedlejší produkty dezinfekce a významně se zvyšuje koncentrace dusitanů. Při znalosti těchto tvrzení je snaha předpovídat, jak se bude vyvíjet teplota vody a jakým způsobem předejít trendu narůstajících teplot. [4]

2.2.2 Průběh měření teploty vody

Dvě kontrastní oblasti, ve kterých byla naměřena teplota vody ve městě Montreal, se nacházejí v těsné blízkosti, tím pádem jsou pro obě uvažovány stejné meteorologické podmínky. Navíc jsou tyto oblasti zásobované z jedné úpravy pitné vody, což umožňuje podat přesné výsledky. První oblast (v levé části **Obr. 3**, označena zeleně), je hustě pokrytá vegetací, zatímco v druhé (v pravé části **Obr. 3**, označena červeně), je velké množství nepropustných ploch. Tyto dvě oblasti jsou ještě rozděleny podle naměřených hodnot do pěti tříd. [4]



Obr. 3 Zóny s různými druhy povrchu [4]

V obou zónách byla analýza provedena 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. Dohromady vzniklo 21 000 naměřených údajů o teplotě. [4]

Kromě samotného měření probíhalo také modelování různých scénářů. Byly použity postupy dle nizozemského výzkumu popisovaného v kapitole **Teplota pitné vody – prvotní poznatky**. [4]

Naměřené údaje zobrazuje **Tab. 2**. Třídy oblastí, kterých je dohromady pět, byly určeny dle satelitních snímků technologie Landsat 8. Při porovnání třídy 1 a 2 můžeme vidět rozdíl mezi mediány 6,5 °C, u průměrů je rozdíl 5,7 °C. Rozdílné teploty mezi třídami 2, 3 a 4 nejsou tak zásadní. Malé výkyvy v mediánech a průměrech jsou zde okolo 2 °C, je to dáno blízkou polohou těchto míst, která se ovlivňují. [4]

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

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

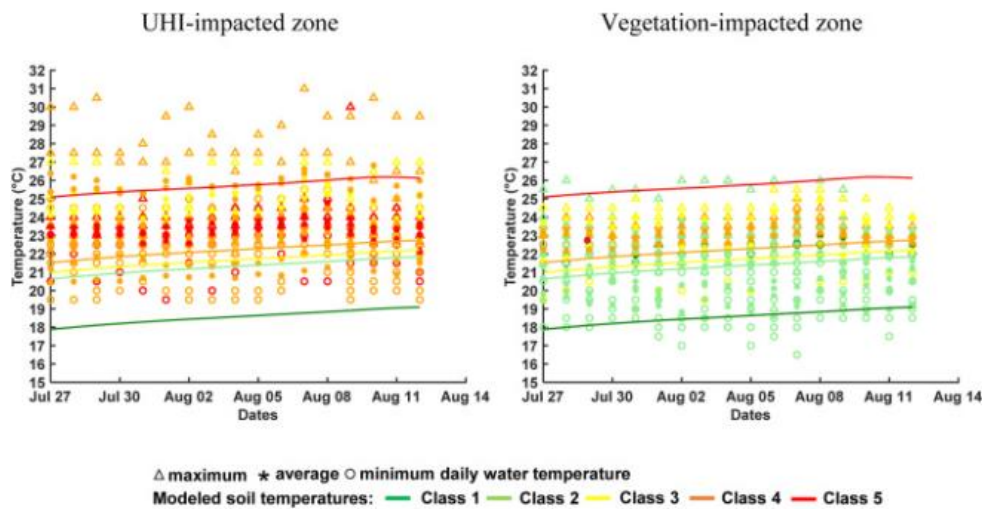
2.2.3 Doba zdržení vody v potrubí

Jedním z faktorů ovlivňující teplotu vody je také doba zdržení. Názory na tuto problematiku se v dostupné literatuře lehce rozcházejí. Z nizozemské studie z roku 2020 vyplývá, že při době zdržení v síti, delší než 12 hodin, dochází k ohřívání distribuované vody. Pokud se voda v potrubí nachází alespoň 48 hodin, potom dosahuje teploty okolní půdy. Kanadáné ale tvrdí, že tento výrok je zkreslen postupem vyhodnocování. Jelikož v Montrealu odebírají povrchovou vodu z řeky a její teplota dosahuje v létě až 25 °C, je tato voda při distribuci ovlivněna spíše vlastnostmi půdy, uložením atd. Zatímco nizozemský výzkum pochází z místa, kde odebírají podzemní vodu o průměrné teplotě 10 °C a při modelování uvažovali konstantní teplotu půdy 25 °C, což zřejmě vedlo ke zkreslení výsledků a závěru, že při delším pobytu vody v potrubí dochází k nárůstu její teploty. [4] [5]

Ve snaze určit roli teploty prostředí ve městech na teplotní stav vody ve vodovodním potrubí byl proveden výzkum vlivu průměrné hodinové teploty vzduchu a vody. Pro vyhodnocení použili korelační koeficient, pomocí kterého se ve statistice vyhodnocuje vzájemná závislost dvou veličin. Potvrdilo se, že teplota prostředí přímo neovlivňuje teplotu pitné vody při její distribuci. Ve vztahu k limitu pitné vody doporučeném WHO je zajímavé zmínit naměřené průměrné hodinové teploty vody – ty se pohybovaly v urbanizovaných oblastech od 19,9 °C až po téměř 31 °C. Naproti tomu v oblastech pokrytých vegetací byly v rozmezí 16,6 a 26 °C. V oblasti s větším vegetačním pokryvem je celkový hodinový průměr všech hodnot za necelé tři měsíce roven 22,3 °C, v částech města, kde převládají nepropustné plochy potom 23,7 °C. [4]

2.2.4 Modelování teploty půdy v jednotlivých oblastech

Podrobný vývoj teplot v období 27. 7. – 14. 8. 2022 lze vidět na **Obr. 4**. Levý graf označuje urbanizovanou oblast, pravý graf potom oblasti s hustě koncentrovanou vegetací. [4]



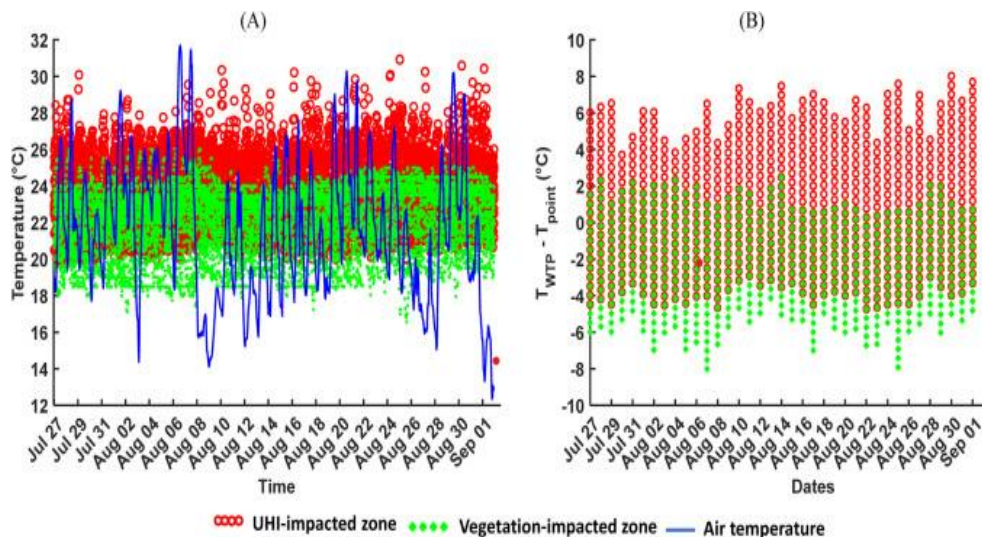
Obr. 4 Vývoj měřených teplot v modelovaných třídách půdy [4]

Při zkoumání hloubky uložení a jejího vlivu na výslednou teplotu vody výzkum vycházející z modelování uvádí, že rozdíl teploty půdy při hloubce uložení 1 metr a 1,8 metru je 2,9 °C. I když se tato hodnota může zdát zanedbatelná, při zachování hygienické kvality pitné vody je pokles o téměř 3 °C důležitý. Dalším tvrzením je, že výslednou teplotu neurčuje jenom doba zdržení na určitém místě, ale také to, odkud voda na dané místo přitéká. Pokud je pitná voda distribuována do dané oblasti třídy 5 z oblasti nižších tříd, což jsou oblasti s vyšším pokryvem vegetace, je pravděpodobné, že tato voda bude chladnější a bude mít nižší teploty než okolní půda. [4]

2.2.5 Závěry prezentovaného článku

Uchopení této problematiky a prezentování vyvozených závěrů téměř není možné se stoprocentní jistotou, což potvrzuje i vlastní měření v této práci. Proměnných, které ovlivňují finální teplotu vody, je mnoho a nikdy není možné monitorovat a brát v potaz úplně všechny. Konečnou teplotu ovlivňuje také její stagnace ve vnitřních vodovodech jednotlivých budov, to velmi záleží na aktuálním odběru. Monitoring této stagnace je nesmírně obtížný, protože bývá často nepravidelný,

v letním období hlavně díky poměrně častým dovoleným majitelů obytných budov. Stejně jako se voda může ohřívat v urbanizovaných oblastech, je pravděpodobné, že pokud bude proudit z tohoto typu oblasti do oblasti s velkým vegetačním pokryvem, její teplota bude naopak klesat. Na druhou stranu není vyloučeno, že se kvůli kombinaci různých faktorů nemůže voda v zelených oblastech ohřívat. [4]



Obr. 5 Přehled naměřených hodnot [4]

Maximální účinek ohřevu v urbanizovaných oblastech je o 5,5 °C vyšší než v oblastech pokrytých zelení. Naopak maximální chladící účinek zelených zón byl o 3,3 °C vyšší než u zón s nepropustnými plochami. Tyto hodnoty můžeme vidět na obrázku níže, kde v levém grafu jsou porovnávány průměrné hodinové teploty vody a průměrné hodinové teploty vzduchu, které jsou označeny modrou čarou. Červené kruhy znázorňují naměřené hodnoty v oblastech s většinovým výskytem nepropustných ploch, kde se zároveň vytvářejí městské tepelné ostrovy. Zelené body potom označují plochy ovlivněné vegetací. 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]

Teplota půdy má mnohem větší vliv na výslednou teplotu vody než teplota vzduchu. I když teplota vzduchu ovlivňuje teplotní stav půdy, neexistuje mezi těmito veličinami přímá úměrnost. Je to pravděpodobně způsobeno tím, že za výsledný stav půdy může působení kombinace faktorů, například průměrná hustota půdy, tepelná kapacita půdy, tepelné záření a další. [4]

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

Studie také naznačuje, že více než celková doba pobytu vody v síti na daném místě je důležitější, kudy a jakými podmínkami je distribuována. Tedy závisí na kontaktu s konkrétními teplotami stěny potrubí v daném místě, které jsou ovlivněné půdou. Dobu zdržení je ale důležité monitorovat, jelikož delší doby stagnace v kombinaci s vyššími teplotami negativně ovlivňují koncentraci dezinfekčního chloru až do takové míry, že může dojít k jeho úplné absenci. S tím souvisí již zmíněný vliv na růst nežádoucích bakterií, které jsou pro člověka zdravotně závadné. [4]

Jelikož je měření teploty půdy náročné, přistupuje se v tomto ohledu spíše k modelování, které charakterizuje půdu pomocí několika parametrů. [4]

Na její teplotu mohou mít vliv i podzemní zdroje tepla. Body D a F z **Obr. 3** jsou v blízkosti stanice metra, kanadští vědci tvrdí, že je potřeba brát v potaz i tuto skutečnost jako zdroj nadměrného tepla, kterému je zemina vystavována. [4]

Jako nejúčinnější opatření pro zachování limitních koncentrací látek 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]

Dalším možným opatřením je potom změna hloubky uložení. Ale i při uložení potrubí do hloubky 1,8 metru, byla nejvyšší naměřená hodnota 32 °C. jako účinnější se tedy stále jeví vyšší výsadba vegetace v městských oblastech. [4]

2.3 VÝSKYT NEŽÁDOUCÍCH LÁTEK VE VODĚ S ROSTOUCÍ TEPLOTOU

Jedním z mnoha druhů látek, které se mohou v prostředí vodovodního potrubí vyskytovat v různých koncentracích, jsou estery ftalátů. Poslední uváděná studie se tímto tématem zabývá poměrně detailně a vychází z dat z roku 2023. Na konečný výskyt ftalátů mají podle výzkumu vliv celkem tři důležité faktory – hodnota pH, doba zdržení vody v potrubí a teplota vody.

Je to skupina látek, které se vyskytují převážně v plastových výrobcích. Ve vodohospodářství se tento materiál používá nejčastěji ve vodovodním potrubí, ale také v různých filtračních nebo těsnících prvcích. [6]

2.3.1 Význam ftalátů pro člověka

Ftaláty jsou estery kyseliny ftalové, spadají do skupiny přibližně 40 syntetických chemických látek. Nejčastěji se s nimi setkáváme jako se změkčovadly v plastech, příkladem může být výroba PVC potrubí. Dříve se používaly i při výrobě dětských hraček a potravinářských obalů, nařízení EU ale používání těchto látek stále více omezuje. Většina z těch nejběžnějších, jako jsou DEHP, DBP, DINP a BBP, je v rámci EU dokonce úplně zakázána. Důležité je zmínit, že tyto látky se do těla nedostávají pouze migrací z různých materiálů do pitné vody a následným vypitím, ale je také možné je vdechnout. [6] [7]

Při výzkumu vlivu ftalátů na lidské zdraví byla prokázána jejich toxicita. Nejrizikovější je jejich účinek na malé děti, kdy několik výzkumů prokazuje, že ftaláty blokují mužské hormony, tzv. androgeny. Po vystavení účinkům ftalátů bylo potvrzeno, že ovlivňují funkčnost štítné žlázy a růstové hormony, které jsou důležité pro správný vývoj plodu. Mluví se také o zvýšeném riziku astmatu u malých dětí. Některé tyto látky jsou brány jako potenciálně rakovinotvorné. [5]

2.3.2 Průběh studie a vyhodnocování

Čínský výzkum z roku 2023 testoval v laboratorních podmínkách celkem 90 vzorků od 50 různých výrobců, bylo použito několik typů vodovodních trubek, vodních filtračních prvků i vaků určených ke skladování vody. Použity byly materiály PP, PE, PB a PAP. Tyto výrobky byly namočeny po dobu 24 hodin v pitné vodě, která splňovala hygienické požadavky, stanovené čínským ministerstvem zdravotnictví. Účelem bylo kvantifikovat výskyt těchto látek a jejich nejběžněji se vyskytujících druhů, kterých je dle průzkumu 16. [6]

Je důležité upozornit na to, že jelikož článek pochází z Číny, jsou analýze podrobeny výrobky dostupné na tamním trhu a je tudíž jasné, že ne všechny mohou být dostupné v České republice, potažmo v EU. Naše tuzemské normy nelimitují koncentrace ftalátů v pitné vodě, zatímco ty čínské ano, jak a pro které tyto látky konkrétně, je popsáno v kapitole **Výskyt ftalátů v závislosti na podmínkách ve vodě**. [6]

Jako příklad je uvedeno polypropylenové potrubí, které bylo vystaveno teplotám v rozmezí 30–80 °C při pH 8 po dobu 24 hodin. Pro zjištění vlivu teplot na přenos

ftalátů do pitné vody bylo stejné potrubí ponořeno do vody o hodnotě pH 5–9 během 24 hodin při teplotě 25 °C. Pro určení vlivu doby zdržení byl tento výrobek namočen do vody o pH 8 v časovém intervalu 16–112 hodin při stejné teplotě 25 °C. [6]

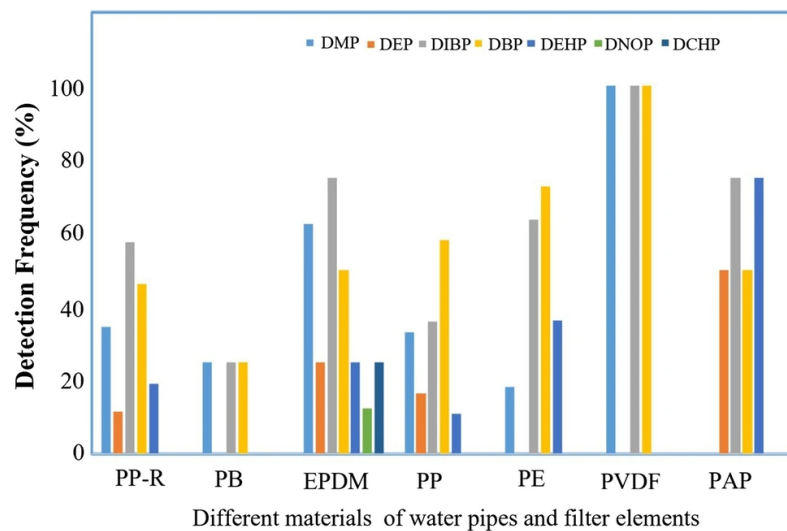
2.3.3 Průběh vyhodnocování

Pro vyhodnocení naměřených hodnot byly stanoveny tři veličiny, pomocí kterých je prezentováno působení ftalátů na člověka. První veličinou je tolerovaný denní příjem, do výpočtu bylo zahrnuto několik veličin, které se vztahují na množství vypité vody za den, počet dnů, během kterých je člověk vlivům PAE vystaven a průměrná doba života jednoho člověka. Chronický denní příjem, který je druhou veličinou definovanou ve studii, přepočítává přísun ftalátů pro člověka vzhledem k jeho váze a také věkové skupině. [6]

Jako třetí se hodnotí karcinogenní zdravotní riziko DEHP, které bylo stanoveno společností US EPA na koncentraci 0,014 mg/kg/den. Tedy poměr hmotnosti látky ku jednomu kilogramu hmotnosti člověka za jeden den. [6]

2.3.4 Výskyt ftalátů v závislosti na podmínkách ve vodě

Z 16 hledaných esterů ftalátů bylo nalezeno po procesu máčení v pitné vodě pouze sedm druhů. Všechny naměřené koncentrace byly v rozmezí 0,07–11,00 µg/l, přičemž žádná z nich nepřekračuje normu vydanou čínským ministerstvem zdravotnictví. Ovšem je potřeba říct, že tato norma stanovuje limity pouze pro DEHP, DEP a DBP. Ostatní nalezené limitované nejsou. Nejvyšší koncentrace byly nalezeny u ftalátů DBP a DIBP, nejspíše je to dáno tím, že jsou to dva nejběžnější zástupci těchto látek při výrobě plastů a jejich výskyt by se měl podrobněji monitorovat. [6]



Obr. 6 Výskyt ftalátů vzhledem k celkovému počtu vzorků dle materiálu [6]

Na Obr. 6 je znázorněno, jakým způsobem ovlivňuje výskyt sedmi nalezených ftalátů použitý materiál výrobků používaných ve vodohospodářství. V plastovém vodovodním potrubí PP-R byl nejčastěji nalezen DIBP. Nejvyšší naměřená koncentrace byla 4,47 $\mu\text{g/l}$, naproti tomu nejmenší nalezená koncentrace pro DEP byla pouhých 0,22 $\mu\text{g/l}$. [6]

Materiálem vykazujícím nejmenší naměřené hodnoty byl PB. Ze čtyř testovaných vzorků byly ftaláty detekovány pouze v jednom z nich, nejvyšší koncentrace byla v případě DMP 0,32 $\mu\text{g/l}$. [6]

Lehce zavádějící může být graf u PVDF, materiál používaný pro výrobu filtrů. Analyzovaný byl pouze jeden typ, a proto je detekce výskytu 100 %. [6]

Je důležité vypíchnout EPDM, etylen-propylen-dien-monomer, který se využívá jako vysoce tepelně odolné těsnění, a to nejen ve vodohospodářství, ale i v automobilovém průmyslu. Rezistentní je také proti UV záření a ozónu. V tomto typu materiálu bylo nalezeno všech sedm druhů ftalátů a jejich vysoké koncentrace. Nejvyšší naměřená hodnota z celého výzkumu činila 11,0 $\mu\text{g/l}$ DNOP, a to právě v tomto typu materiálu. Zkratka BLD na Obr. 7 znamená nedetekovatelné koncentrace. [6] [8]

PAEs	PP-R		PB		EPDM		PP		PE		PVDF		PAP	
	Average	Maximum	Average	Maximum	Average	Maximum	Average	Maximum	Average	Maximum	Average	Maximum	Average	Maximum
DMP	0.12	0.95	0.1	0.32	0.35	1.55	0.13	0.54	0.07	0.48	0.1	0.1	0.02	BLD
DEP	0.03	0.22	0.02	BLD	0.04	0.08	0.14	2.08	0.02	BLD	BLD	BLD	0.09	0.24
DIBP	0.51	4.47	0.02	0.08	1.41	8.35	0.29	4.44	1.05	2.93	0.24	0.24	0.16	0.37
DBP	0.19	1.04	0.03	0.08	0.26	1.74	0.38	2.02	0.49	1.28	0.24	0.24	0.08	0.23
DEHP	0.25	2.02	BLD	BLD	0.85	5.74	0.23	2.19	0.31	1.33	BLD	BLD	0.39	0.62
DNOP	BLD	BLD	BLD	BLD	1.48	11	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD
DCHP	BLD	BLD	BLD	BLD	0.32	1.46	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD	BLD

Obr. 7 Všechny průměrné a maximální koncentrace ftalátů v µg/l [6]

2.3.5 Vliv pH, teploty a doby zdržení na naměřené koncentrace

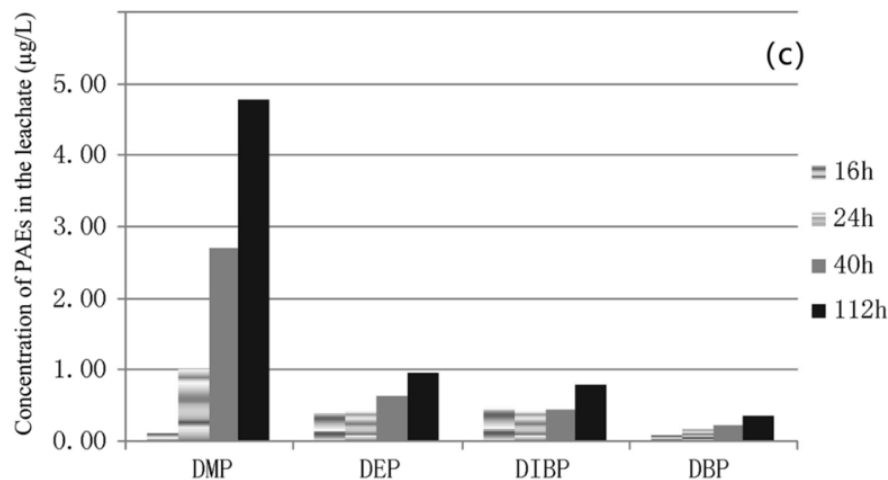
Článek také prezentuje, jakým způsobem ovlivňují výsledné koncentrace různé vlastnosti vody, do kterých byly výrobky z plastu namočené. Jako příklad je vybráno PP-R potrubí. Tento výrobek byl nejprve namočen do vody o pH 7, při teplotě 25 °C, po dobu 24 hodin. Poté byla postupně navyšována teplota, snižováno pH a měřil se také vliv doby zdržení. [6]

Jako nejzásadnější pro nárůst koncentrací byla dle měření teplota. Hodnoty koncentrací vyrostly při ohřevu vody z 25 °C na 80 °C několikanásobně. Nejvýraznější nárůst byl naměřen u DEP a to z 0,42 na 4,59 µg/l. [6]

Při snížení pH z hodnoty 9 na hodnotu 5 byla opět zaznamenána výrazná změna množství těchto látek ve vodě. Čím nižší je hodnota pH, tím je jednodušší přenos ftalátů ze zkoumaného materiálu do vody. Při nejnižší hodnotě pH 5 byly u DBP a DIBP naměřeny nejvyšší koncentrace. Studie se v tomto ohledu shoduje také s výzkumem, který se zabýval výskytem plastových složek v balených vodách, kde byly zjištěny vyšší koncentrace těchto látek v perlivých vodách, oproti neperlivým. Zřejmě je to dáno tím, že rozpuštěný oxid uhličitý snižuje pH balených vod a tím pádem dochází k většímu úniku nežádoucích látek. [6]

Měřená doba zdržení byla maximálně 112 hodin, bylo zjištěno, že k unikání ftalátů do vody z materiálu potrubí dochází permanentně, tedy není pravděpodobné, že by se v nějakém čase koncentrace ustálily a jejich hodnoty přestaly narůstat. Čím je doba pobytu v potrubí delší, tím je množství esterů ftalátů (PAE) v potrubí vyšší. Pokud voda potrubím proudí, přenos ftalátů do vody se snižuje. Zároveň se tyto

látky do pitné vody nedostávají pouze v distribučním systému, ale mohou se v určitém množství vyskytovat už ve zdroji pitné vody pro danou oblast. [6]



Obr. 8 Vývoj koncentrací v µg/l vzhledem k době zdržení [6]

2.3.6 Závěry a shrnutí studie

Při znalosti výskytu PAE ve vodách a skutečnostech, které ovlivňují jejich výskyt, bylo možné vyhodnotit jejich dopad na zdraví člověka. Při přepočtu koncentrací na tolerovaný denní příjem bylo zjištěno, že tyto hodnoty se nacházejí výrazně pod limitem, který stanovila WHO jako pro člověka nebezpečný. Limit denního příjmu DEP je 0,5 mg/kg/den a dle výpočtu ze studie byl nejvyšší příjem $1,92 \cdot 10^{-6}$ mg/kg/den. Ovšem při přepočtech na chronický denní příjem, který uvažuje vliv pro jednotlivé věkové kategorie, vyplývá, že koncentrace, kterých studie dosáhla, jsou podle US EPA rizikové pro děti ve věku mezi prvním a druhým rokem. [6]

2.4 SHRNUÍ ZAHRANIČNÍ LITERATURY

Všechny tyto tři studie poměrně podrobně nastiňují problematiku, která se týká každodenní distribuce pitné vody k odběratelům. Tyto poznatky byly využity při zpracování vlastního měření teploty vody v terénu. Je tedy známo, že se většina výzkumů shoduje na důležitosti znalosti podmínek v půdě, která obklopuje vodovodní potrubí. Také je třeba brát v potaz trend narůstajících teplot a teplotních maxim především v horkých letních dnech, kdy tyto hodnoty přesahují hranici 30 °C a ohrožují tak zachování hygienické kvality pitné vody, které je pro člověka zásadní. A vzhledem k této situaci je důležité mít schopnost tyto podmínky

předvídat a následně vůči nim také umět přijímat potřebná opatření, které zmírní jejich negativní dopady. [3] [4] [6]

3 TEPLOTA PITNÉ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI OBCÍ KANICE A ŘÍCMANICE

Druhou hlavní kapitolou této bakalářské práce bylo měření dat o teplotě pitné vody ve vodovodní síti a následné zpracování těchto dat a stanovení kategorií faktorů, které mohou teplotu vodu ovlivňovat. V posledním úseku této kapitoly bude snaha formulovat závěry a shrnutí, které by měli alespoň částečně zodpovídat kladené otázky v průběhu vypracovávání.

3.1 ZÍSKÁVÁNÍ DAT

Měření teplot probíhalo v červenci 2023 v obcích Kanice a Řícmanice při řízeném proplachu vodovodní sítě pomocí technologie Astacus, kterou provozuje společnost Voda Brno, s.r.o. Tyto obce se nacházejí v Jihomoravském kraji, v okrese Brno-venkov, ve vzdálenosti přibližně 10 km severovýchodně od Brna. Kanice s rozlohou 823 ha a 1098 obyvateli (k 1.1. 2023) jsou podstatně rozlehlejší, než Řícmanice s rozlohou čítající pouhých 150 ha. V minulosti byly tyto obce spojené do jednoho správního celku, který měl téměř 12 km². K rozdělení došlo v roce 1867. Dnes jsou obě součástí svazku obcí VAK Bílovicko, který byl založen 4. 5. 2000 a spravuje vodovodní a kanalizační síť katastrálního území čtyř obcí, kam spadají také Bílovice nad Svitavou a Ochoz u Brna. [9] [10] [11]

3.1.1 Technologie Astacus

Tento robot je napájen baterií, v terénu je tedy velmi mobilní a nemusí být při provozu použit externí zdroj energie. Vybaven je regulačním uzávěrem, průtokoměrem a tlakoměrem. Všechny tyto tři měřiče jsou kalibrované a jejich správnost měření je akreditovaná. Primárním použitím tohoto stroje je efektivní výplach vodovodní sítě, monitoring zákalu a z toho vyplývající zvýšení kvality pitné vody v proplachované oblasti. Ovšem díky zabudovanému teploměru je také možné, po napojení na hydrant při průtoku až 40 l/s, měřit i její teplotu a získat tak povědomí o tom, jaké hodnoty se můžou na dané části vodovodního řadu nacházet. Zároveň je díky měření tohoto přístroje možné lépe přijímat určitá opatření, která by mohla výslednou teplotu pitné vody ovlivnit.

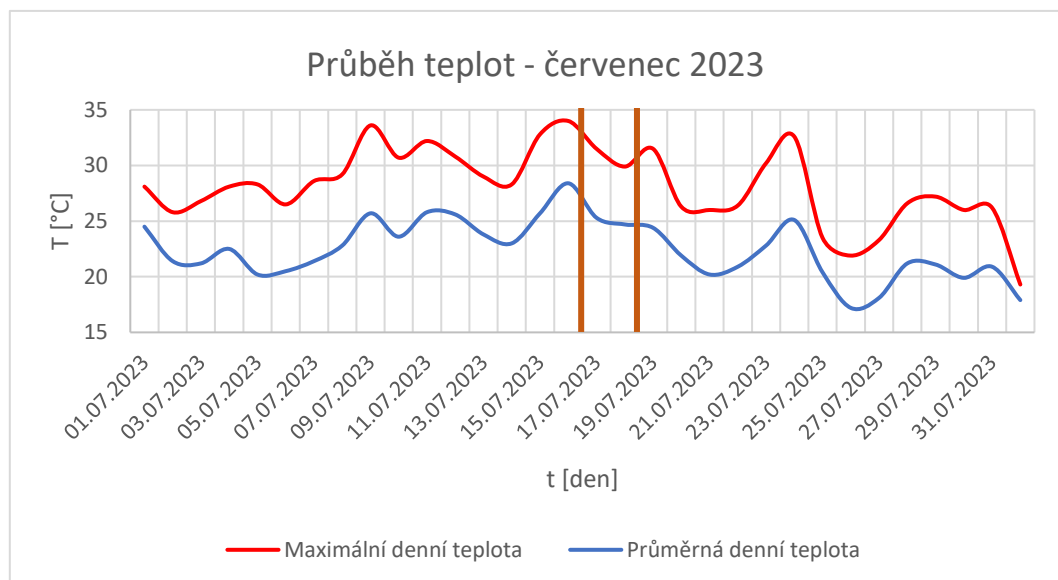
Dohromady bylo od 17. 7. do 19. 7. propláchnuto v obci Kanice 21 úseků, v Řícmanicích potom 12 úseků. Pro všechny existují průběhy teplot, které jsou

velmi rozdílné v závislosti na nejrůznějších faktorech a podmínkách. Kvůli velkému množství dat zde budou prezentovány pouze vodovodní řady z Kanic, kterým byla věnována podrobná analýza.

3.1.2 Podmínky v průběhu měření

Během získávání dat o teplotách vody panovaly v terénu poměrně extrémní podmínky, vysoké teploty a minimum srážek měly dopad nejenom na náročnost měření, ale také zcela jistě na výsledky měření. Pro přehlednou prezentaci dat o počasí byly poskytnuty teplotní záznamy a srážkové úhrny z nedaleké meteorologické stanice Veverí, kterou spravuje Ústav vodního hospodářství krajiny, pod vedením doc. Ing. Daniela Martona, Ph.D. [13]

Z těchto údajů je zřejmé, že denní maxima překračovala hranici 30 °C, nejvyšší naměřená teplota činí 31,5 °C z pondělí 17. 7. 2023. I když **Graf 2** ukazuje srážkový úhrn ze dne 17. 7. 2023 okolo 9 mm srážek, v době měření nebyl déšť zaznamenán. Je to dáno nejspíše mírně rozdílnou polohou meteorologické stanice a místa provedeného proplachu.



Graf 1 Průběh teplot během července 2023 [13]



Graf 2 Průběh srážkových úhrnů během července 2023 [13]

Ve Graf 1 i ve Graf 2 je svislými čarami vyznačeno období proplachu.

3.2 ZPRACOVÁNÍ DAT

Po úspěšném naměření všech dat bylo možné přejít k druhé fázi, a to konkrétně ke zpracování a vyhodnocení výsledků. Nejprve bylo třeba analyzovat výstupní soubory z robota, které poskytují komplexní informace o celém proplachu, včetně průtoků, proteklého objemu nebo třeba době trvání celého proplachovacího procesu. Poslední zmíněná veličina byla pro potřeby této práce spíše orientační, nejdůležitější byl proteklý objem. Spolu se znalostí množství vypláchnuté vody a dimenze potrubí, která byla k dispozici z podkladů provozovatele sítě, bylo možné spočítat množství vody v části řadu dle jeho délky a následně vynést průběh teplot pitné vody. Pro vysvětlení je ukázán na Obr. 9 proplachovaný úsek č. 1, jehož celková délka činí 262 metrů. Po překročení této délky dle výpočtu začne stroj vytahovat vodní sloupec, který se nenacházel v potrubí, ale už ve vodojemu a tím pádem nemá pro prezentaci výsledků vypovídající hodnotu. Tato voda je také mnohem chladnější, hodnoty jsou potom okolo 15 °C. Výpočty byly provedeny v aplikaci Microsoft Excel, vzdálenost vody v potrubí byla určena prostým podělením plochy potrubí a proteklého objemu vody.



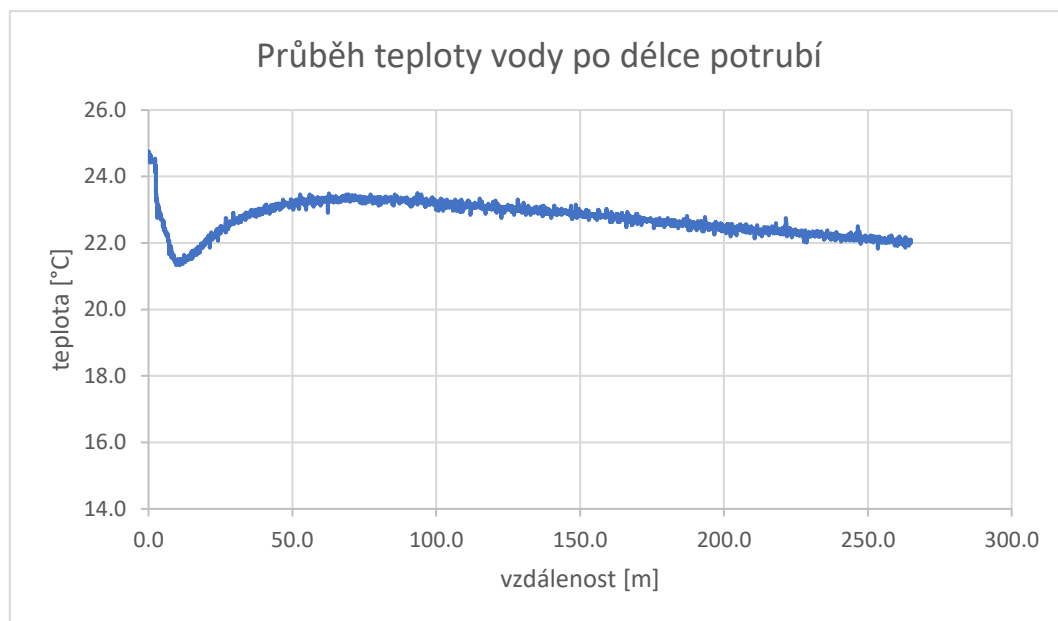
Obr. 9 Proplachovaný úsek č.1

VAS ID:805095 a červený kosočtverec je označení hydrantu, ze kterého probíhal proplach, modře je potom vyznačen úsek č. 1. Jedná se o první proplachovaný řad v obci Kanice. V levé části, tedy na konci úseku, se nachází již zmíněný vodojem.

Po vytvoření průběhů teplot po délce potrubí bylo možné přejít k zpracování situačního výkresu jednotlivých řadů. K této činnosti byl použit program QGIS, který pracuje s mapovými podklady. Jelikož je stroj schopen měřit teplotu několikrát za vteřinu, vzniká ke každému proplachu několik tisíc hodnot, konkrétně u v tomto případě je to 3280 údajů o teplotě, které jsou vykresleny v **Graf 3**. Pro účely zpracování jsou vyneseny teploty vždy zprůměrovány po vzdálenosti pět metrů. Naměřená data jsou velmi různá a jsou ovlivňována skupinou faktorů, která byla během zpracovávání stanovena. Nejvyšší naměřená teplota pitné vody z celé obce Kanice činila 24,6 °C, a to právě na výše popisovaném úseku. Tato hodnota sice nepřekračuje limit stanovený WHO, ale velmi se mu přibližuje. Jak je ale vidět, krátce po otevření hydrantu teploty opět klesají až pod hranici 22 °C, a i když potom dochází k jejich nárůstu, nejsou tak extrémně vysoké, jako tomu

bylo na začátku procesu. Tento úsek vodovodního potrubí je nejteplejší z celé obce vůbec, průměrná teplota vody zde činí 22,8 °C.

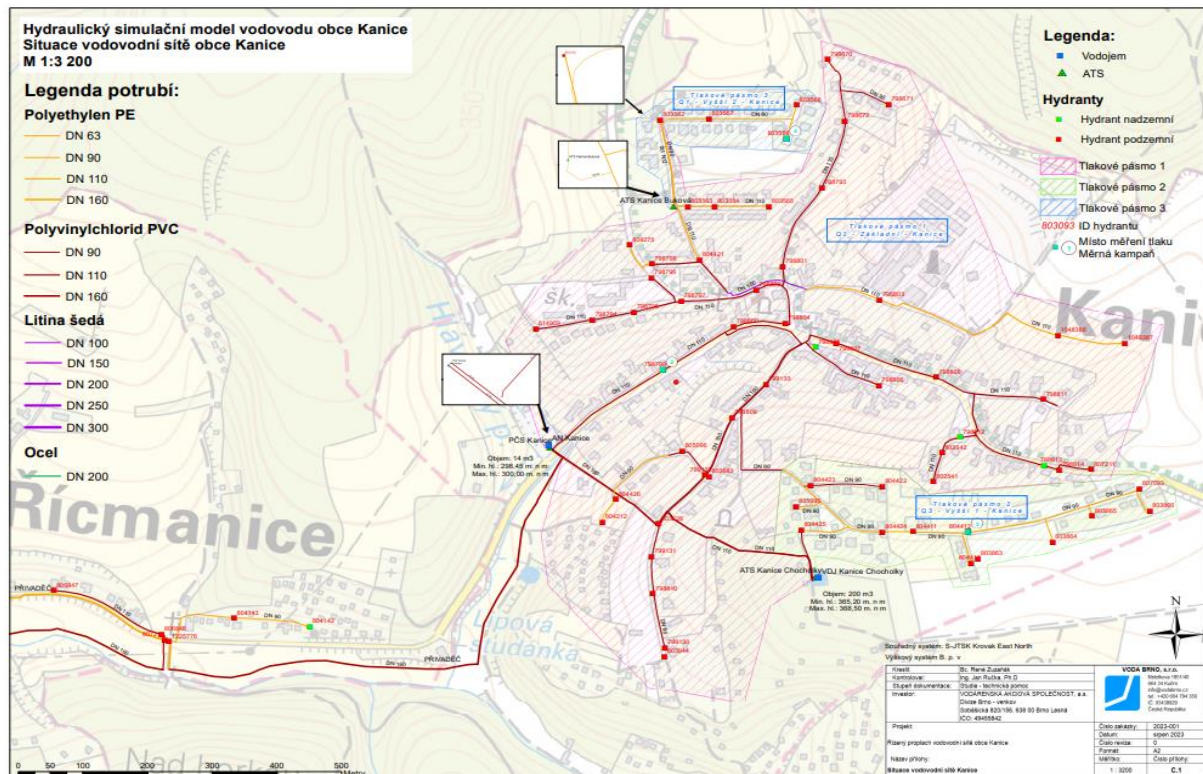
Je důležité poznamenat, že s úsekem a podobně vysokými teplotami se v obci nesetkáváme, hranici 24 °C překročil pouze jeden další úsek a z celkových 21 se jedná o velmi malé číslo. Druhá nejvyšší průměrná teplota byla 21,8 °C. Naopak se vyskytla část řadu vykazující velmi nízké hodnoty, kde se teplota vody v jednom bodě pohybovala okolo 14,6 °C. Stejný úsek měl zároveň nejnižší průměrnou teplotu vody, která činila 15,5 °C.



Graf 3 Průběh teploty vody po délce potrubí na úseku č. 1

3.2.1 Faktory ovlivňující teplotu pitné vody

Po vzoru zahraniční literatury byla snaha stanovit činitele, kteří ovlivňují výsledné podmínky ve vodovodní síti. Rozděleny byly do čtyř kategorií. Jelikož je známo, že tepelná vodivost materiálu potrubí má velký vliv na výslednou teplotu vody, byl materiál první kategorií. V Kanicích se nachází většinový podíl plastového potrubí, konkrétně PVC a PE. Nejméně se vyskytuje šedá litina, pouze v délce přibližně 136 metrů. Rozmístění materiálu potrubí lze vidět podrobně na **Obr. 10**. Vzhledem k tomuto nerovnoměrnému zastoupení nebylo možné úplně přesně kvantifikovat, jak moc se podílí litina na výskytu vyšších teplot vody. Je ale pravděpodobné, že by teploty byly mnohem vyšší, jelikož nejteplejší řad č. 1 má 100 % zastoupení PVC. [3]



Obr. 10 Přehled materiálů potrubí v obci Kanice [12]

Druhou kategorií je zastínění povrchu, protože měření vždy probíhalo zhruba od přibližně deváté hodiny ranní do zhruba 14:00 a bylo po celou dobu jasno, není uvažováno omezení slunečního záření na obloze, ale je limitováno pouze díky prvkům na terénu. Tedy vegetační pokryv nebo budovy, které chrání povrch vůči účinkům slunečního záření. Konkrétní vyhodnocování vypadalo následovně: pokud v blízkosti trasy vodovodu nebylo zpozorováno na satelitních snímcích žádné zastínění, bylo přiřazeno 0 %. Maximální zastínění 100 % bylo pouze v části jediného úseku, který se nachází v oblasti s vysokým počtem stromů. Část tohoto úseku a teploty na něm jsou vidět na Obr. 11. Pokud se na jedné straně trasy vyskytovaly stromy nebo obytné budovy, pak bylo zastínění 50 %. Poslední možností je 80% zastínění, do kterého byly klasifikovány oblasti s výskytem stromů nebo budov na obou stranách na povrchu nad vodovodním potrubím.



Obr. 11 Část proplachovaného úseku se 100 % zastíněním

Údaje o stáří vody dodal Ing. Jan Ručka, Ph.D. na základě jeho výpočtů, které provedl pomocí hydraulického simulačního modelu v programu Epanet. Jelikož se literatura na toto téma rozchází, byla snaha zjistit, jakým způsobem se podílí na výsledné hodnotě teploty pitné vody v potrubí. Nejstarší nalezená voda se nacházela v potrubí více než 72 hodin, a to hlavně na západním a východním okraji obce. [3] [4]

Detailní rozdělení všech kategorií popisuje Tab. 3.

Tab. 3 Kategorie faktorů ovlivňujících teplotu pitné vody

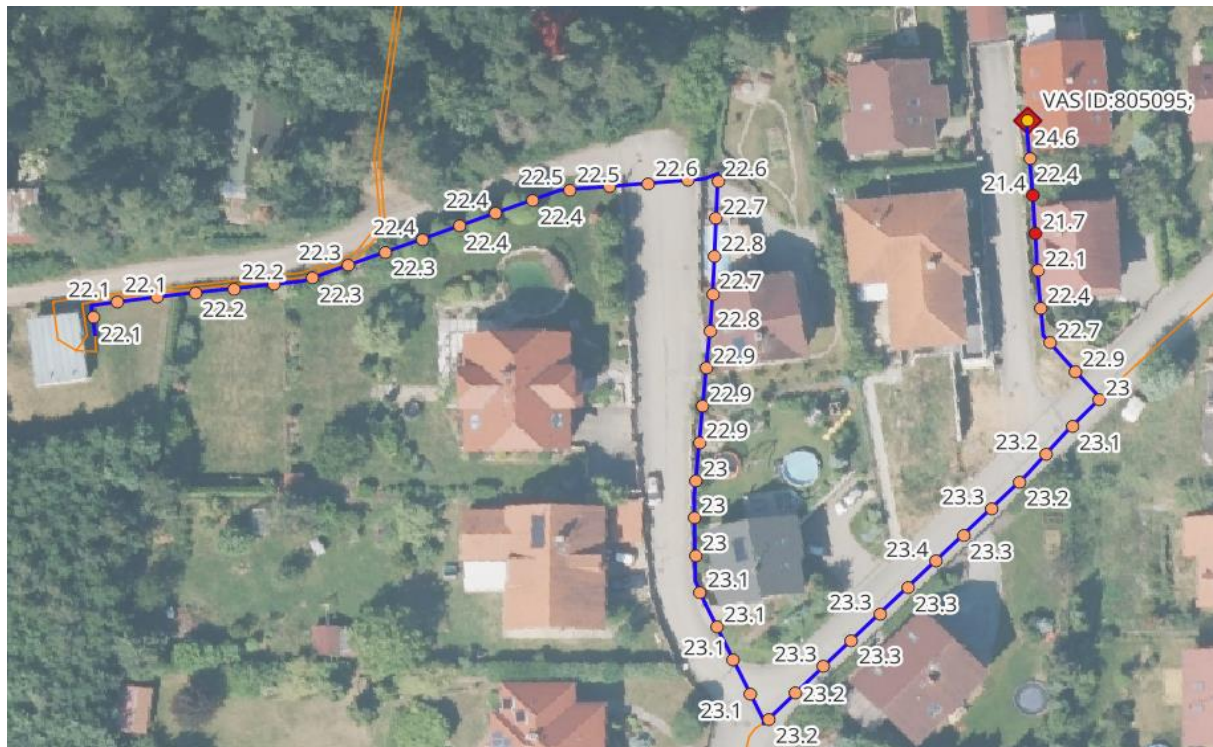
Povrch	Zastínění	Stáří vody	Materiál potrubí
Asfalt	0 %	0–48 hodin	PVC
Chodník/dlažba	50 %	48–56 hodin	PE
Travní porost	80 %	56–64 hodin	LT
-	100 %	64–72 hodin	-
-	-	> 72 hodin	-

Čtvrtou a poslední určenou kategorií je povrch, z rešerše studií je známo, že vegetační pokryv výrazně snižuje teplotu půdy a spolu se stářím vody jsou tyto dvě kategorie brány jako nejdůležitější a nejvlivnější. V Kanicích se vyskytují tři druhy povrchů, předpokládá se, že pod asfaltem by měla být voda více ohřátá než jinde, protože asfalt spolu s betonem velice dobře pohlcuje sluneční záření a následně akumuluje teplo. [3] [4]

Jelikož analýza teplot probíhala až zpětně po získání dat z proplachu, tedy v době měření nebylo známo, že vznikne tato práce, nebyly získány všechny potřebné údaje, které by mohly upřesnit výsledky a umožnit prezentaci některých závěrů s mnohem větší jistotou a přesností. Jedním z těchto důležitých aspektů je hloubka uložení vodovodního potrubí, kterou je sice možné získat i zpětně, ale nedostatečné podklady od správce sítě toto neumožňují. Vzhledem k tvrzení, které prezentuje studie z Montrealu, že mnohem větší vliv má hustota vegetace oproti hloubce uložení, není tato skutečnost nijak zásadní. Velmi pravděpodobně by tuto práci usnadnila znalost půdních parametrů v obou obcích z července 2023, které k dispozici nejsou z uvedených důvodů. [4]

3.2.2 Zajímavé průběhy teploty vody po délce potrubí

Úseků vodovodních řadů, které disponují zajímavými informacemi o teplotách vody a zároveň byly podrobeny detailní analýze, bylo určeno dohromady 10. Pět z nich bude zmíněno vzhledem k jejich vysokým celkovým teplotám a druhá polovina kvůli zajímavým průběhům, které mají poměrně velké výkyvy a rozdíly mezi minimální a maximální naměřenou teplotou. Je jasné, že vzhledem k tomu, že není možné přesně kvantifikovat vliv jednotlivých faktorů, tak nelze pro každý úsek říct, proč zrovna v tomto bodě a této vzdálenosti od hydrantu teplota vody klesá nebo roste. Jelikož neznáme místní půdní podmínky ani přesnou hloubku uložení, není možné zodpovědět všechny otázky, které tato práce a problematika zodpovídá.

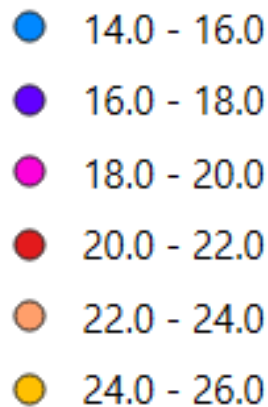


Obr. 12 Průběhy teplot na úseku č. 1 v situačním výkresu

Proplachovaný úsek č. 1

Úsek, který byl částečně představen už v části **Zpracování dat**, je řadem vykazujícím nejvyšší naměřené teploty. Pro větší přehlednost je **Obr. 12** otočen o 90°. Po rozřazení do jednotlivých kategorií faktorů, zjistíme, že je zde položeno PVC a PE potrubí. Zastínění je proměnlivé, pohybuje se mezi 50 a 80 %, největší je bráno na začátku úseku, po bod označující teplotu 22,4 °C, který se nachází ve vzdálenosti 30 metrů od hydrantu. Zprůměrované teplotní body jsou pro názornost odlišeny barevně, jak je vidět na **Obr. 13**. Světle modrou barvou jsou teploty nejnižší, oranžovou potom nejvyšší, rozmezí stupnice je od 14 do 26 °C.

Na tomto úseku je jednotná kategorie stáří vody, tedy nemění se po délce potrubí. Doba zdržení se zde pohybuje v rozmezí 56–64 hodin. Rozdíl mezi bodem s nejnižší a nejvyšší teplotou je zde relativně malý, činí 3,2 °C. Dále je dělí také rozdílná poloha vzhledem k hydrantu, hodnotu 24,6 °C vidíme hned na začátku úseku, hodnotu 21,4 °C potom 10 metrů od ní.



Obr. 13 Stupnice teplot používaná v situačním výkresu

Není úplně jednoznačné, proč na začátku proplachu teplota tolik kolísá. I když se prvních 25 metrů potrubí nachází ve stejných podmínkách, konkrétně v zeleném pásu a v 80% zastínění, tak teplota nejprve klesne o zhruba 3 °C a pak během krátké chvíle opět vzroste. S přibývajícím vzdáleností od hydrantu teplota překračuje 23 °C a následně klesá až k vodojemu. Tento průběh je zde nejspíš dán kombinací faktorů, které s aktuálními znalostmi a podklady není možné přesně interpretovat. Je tedy lepší v průběhu práce některé otázky nechat nezodpovězené, než aby došlo ke zkreslení a vyřčení nepravdivých nebo zavádějících závěrů.

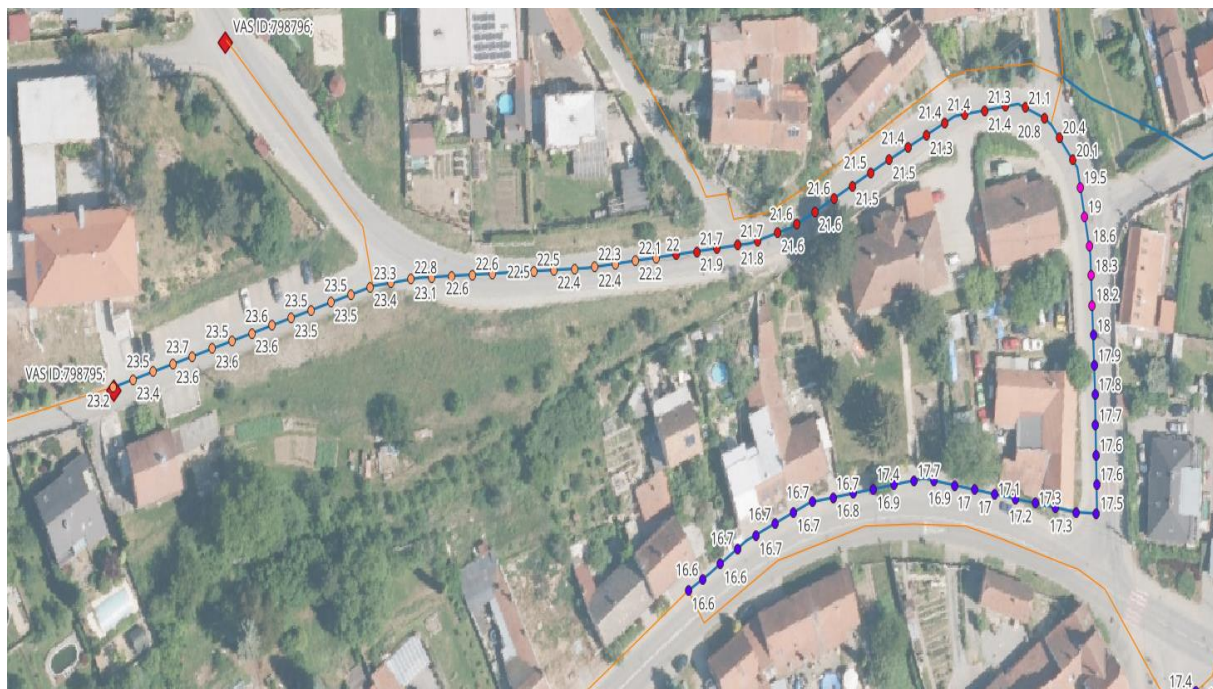
Proplachovaný úsek č. 2



Obr. 14 Průběhy teplot na úseku č. 2 v situačním výkresu

Značně chladnější vodu vykazuje úsek č. 2 o délce 130 metrů. Maximální naměřená teplota byla 24,1 °C, stejně jako v přechodím případě přímo v poloze hydrantu. S přibývajícím vzdáleností lze vidět značný teplotní pokles, a to až na 17,5 °C. Rozdíl mezi maximální a minimální naměřenou hodnotou je zde téměř 7 °C. Materiálem použitým na výstavbu vodovodního potrubí byl PVC a šedá litina. Přibližně v polovině tohoto úseku, kde se také mění stupnice teplot z růžové na tmavě modrou, tedy teploty zde klesají pod 18 °C, se mění i kategorie stáří vody. Třetí kategorie se právě v této části vodovodního řadu mění na kategorii druhou, doba zdržení je zde 48–56 hodin. Je to jeden z možných důvodů, proč výsledná teplota klesá na tak nízké hodnoty.

Proplachovaný úsek č. 3



Obr. 15 Průběhy teplot na úseku č. 3 v situačním výkresu

Na dalším úseku o délce 400 metrů se vystřídá několik teplotních kategorií, z pitné vody s vyššími teplotami ke konci úseku naměřené hodnoty klesají až k 16,6 °C. Jev, který byl pozorován v celé obci Kanice, je částečně vidět i zde. V krajních úsecích jsou pozorovány vyšší teploty než v úsecích, které se nacházejí v centru obce. Pravděpodobně je to způsobeno tím, že se v západní, východní a částečně i severní oblasti vodovodní sítě, zdržuje voda podstatně déle než jinde, a to i přes 72 hodin. Druhým možným vlivem je snížený vegetační pokryv a také jiné rozmístění budov, které v konečném důsledku méně stíní povrch, pod kterým se nachází vodovod. Po celé trase tohoto proplachovaného úseku je položeno PVC potrubí, nacházející se většinu času pod asfaltem, ve kterém dosahuje voda až 23,7 °C, zatímco nejmenší hodnota je o 7,1 °C nižší. Třetí úsek je díky tomuto faktu oblastí s nejvyšším teplotním rozdílem na jednom úseku.

Proplachovaný úsek č. 4



Obr. 16 Průběhy teplot na úseku č. 4 v situačním výkresu

Tento nejzápadnější úsek proplachovaný z hydrantu s označením VAS ID:814909 předchází třetímu popisovanému úseku, je to dobře vidět při pohledu na **Obr. 16** a **Obr. 17**. Je to také část vodovodní sítě, kde teplota uvnitř jako jediná s přibývajícím vzdáleností roste. Přesněji řečeno, na počátku, v prvních zhruba 15 metrech, i ostatní úseky projevují teplotní výkyvy, ale tento je speciální v tom, že jako jediný vykazuje nejvyšší teplotu na svém konci. U ostatních je tento trend přesně opačný a je možné se o tom přesvědčit v předcházejících i následujících obrázcích. Bohužel s aktuálními znalostmi a existujícími podklady není možné říct, proč se tomu děje zrovna zde. Jedním z možných a zároveň zkreslujících faktorů může být i to, že tento řad byl propláchnut 19. 7. 2023, zatímco ten navazující, tedy třetí popisovaný, už o den dříve. Skutečnost, že doba zdržení je zde větší než 72 hodin, potvrzuje předchozí tvrzení o akumulaci starší vody v okrajových částech obce. Nejvyšší a nejnižší naměřenou teplotu zde dělí 4,0 °C, stejně jako v přechodím případě je celé potrubí vystavěno z PVC, nachází se pod asfaltovým povrchem a zastínění je 50 %.

Proplachovaný úsek č. 5



Obr. 17 Průběhy teplot na úseku č. 5 v situačním výkresu

Toto je poslední řad, který disponuje nejvyššími teplotami. Oproti přechodí části vodovodního řadu je tento naopak nejvýhodnější a opět se zde setkáváme s vodou starší než 72 hodin. Čím víc se trasa vodovodu přibližuje k centru obce, tím jsou hodnoty teplot nižší. Nejvyšší teplota je 23,2 °C ve vzdálenosti 95 metrů od hydrantu, což znamená, že se nenachází na začátku ani na konci proplachovaného úseku, který má délku 420 metrů a je zároveň nejdelším popisovaným a proplachovaným úsekem vodovodního potrubí. Místo s nejnižší naměřenou teplotou se nachází v posledním bodě celého úseku. V místě přechodu barevné stupnice teploty vody z oranžové na červenou se také nachází mladší voda, ve třetí kategorii stáří, tedy mezi 56 a 64 hodinami. Vodovod z PE prochází jak pod asfaltovými, tak pod travnatými plochami, zastínění je proměnné a pohybuje se od 0 do 50 %. Vysoké teploty zde panují zřejmě vlivem kombinace malého zastínění a dlouhé doby stagnace. Na začátku se dle výpočtu nacházela voda o stáří 112,45 hodiny a je to nejvíc z celé obce.

Nyní budou popsány úseky, které měly nejzajímavější průběhy teplot po délce potrubí. Bylo vybráno dohromady pět úseků, kde se teplota vody uvnitř řadů vyvíjí po délce potrubí takovým způsobem, který není pro ostatní řady tak obvyklý nebo je v něčem speciální. Zároveň bude opět snaha popsat kombinaci vlivů materiálu

potrubí, stáří vody, povrchu a jeho zastínění a zodpovědět tak co nejvíce kladených otázek.

Proplachovaný úsek č. 6



Obr. 18 Průběhy teplot na úseku č. 6 v situačním výkresu

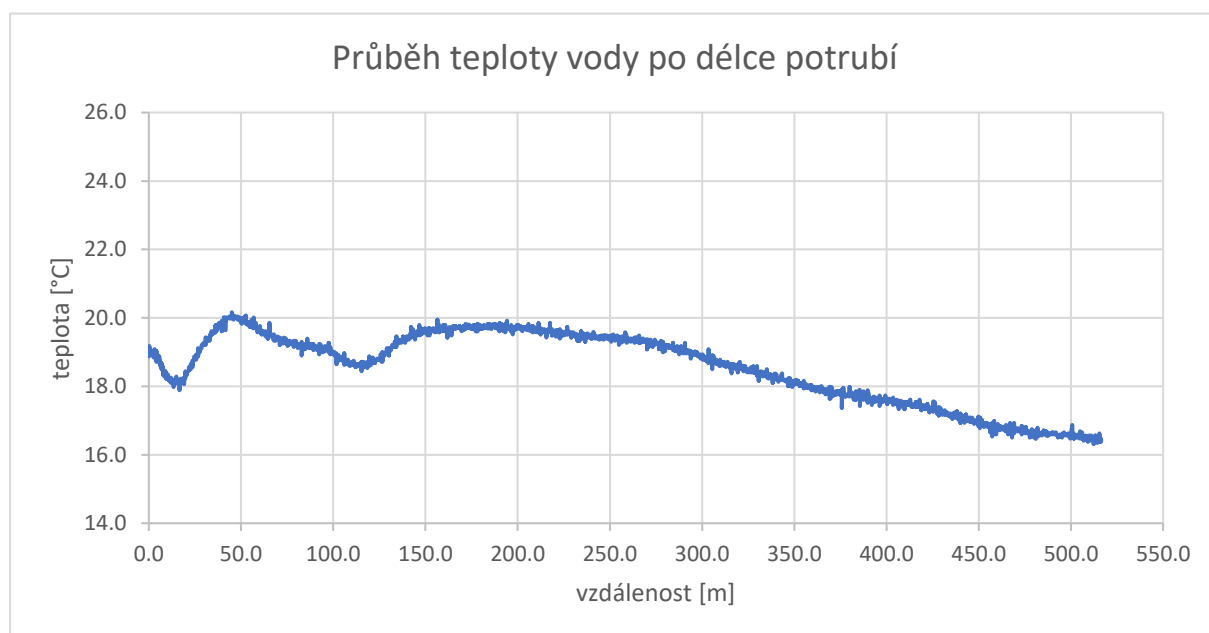
Zde lze pozorovat rozdíl maximální a minimální teploty pouhých 2,9 °C. V porovnání s předchozími úseky se tento řad vyznačuje poměrně stálými a zároveň nízkými teplotami. Velkou část trasy vodovodu zde pokrývá travnatá plocha přerušovaná příjezdovými cestami k jednotlivým domům. Nejvyšší teplota je 19,8 °C, nejnižší potom 16,9 °C, tyto dva body dělí vzdálenost 135 m. Fakt, že od začátku, než dojde k přechodu trasy z asfaltu pod zeleň, je doba zdržení okolo 100 hodin a teploty jsou přesto pod hranicí 20 °C, když v přechozích případech s podobným časovým intervalem stagnace byly klidně o 3 °C vyšší, pokládá v této problematice další otázky, které není možné při aktuálních znalostech zodpovědět. Možným faktorem může být výskyt stromů po obou stranách asfaltové vozovky, které během dne brání průchodu slunečního záření k povrchu. Skladba potrubí je zde zhruba 50 % PE a 50 % PVC.

Proplachovaný úsek č. 7



Obr. 19 Průběhy teplot na úseku č. 7 v situačním výkresu

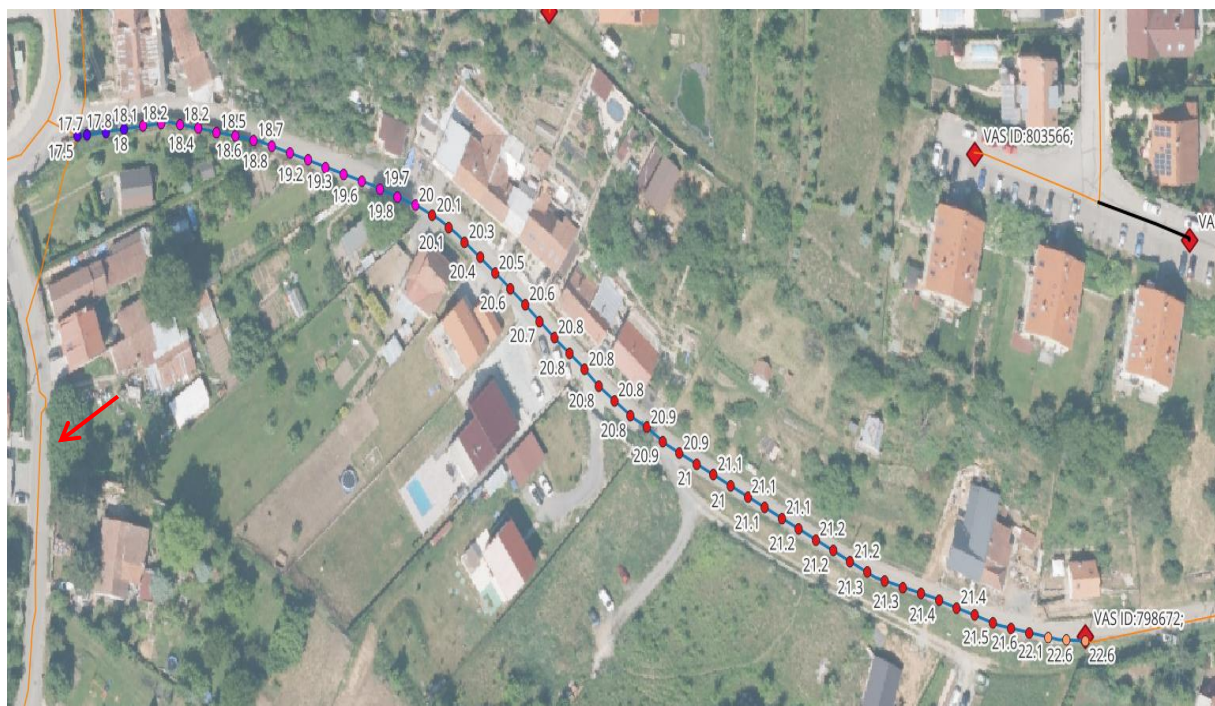
Při popisu tohoto úseku se přesouváme téměř na druhou stranu obce, k hydrantu 804413, konkrétně se tato část řadu nachází v blízkosti již zmiňovaného vodojemu a navazuje na řad č. 1, který je možné vidět na **Obr. 12**. Na tomto místě si lze všimnout, že na počátku z teplot přibližně 21 °C, se voda po odbočení ustaluje na hodnotách okolo pomyslné hranice 18,5 °C. Proč tomu tak je, není zcela jednoznačně možné říct. Stáří vody je po celou dobu mezi 48 a 56 hodinami a nemění se ani materiál potrubí, kterým je zde PE. Zvláštností, na kterou je třeba upozornit, je nejnižší teplota 18,0 °C, která se nenachází jako obvykle na koncovém úseku, ale v tomto případě dokonce ještě před jeho první polovinou.

Proplachovaný úsek č. 8**Obr. 20 Průběhy teplot na úseku č. 8 v situačním výkresu****Graf 4 Průběh teploty vody po délce potrubí na úseku č. 8**

Tento úsek o délce 515 metrů je nejdelším proplachovaným a teplotně vyhodnocovaným úsekem. Na takto dlouhé části řadu jsou teploty v daném měřítku v situaci obtížně přehledné, a proto je vložen pro lepší orientaci i Graf 4 Průběh teploty vody po délce potrubí na úseku č. 8 **Graf 4.**

Trend, který lze pozorovat i u předchozího měření, se zde potvrzuje a čím je voda dál od proplachovaného hydrantu v pravé části situačního výkresu a blíže k centru, tím její teplota klesá. Až na nejnižší zatím zmíněnou teplotu na konci úseku, která je 15,6 °C. Nejvyšší teploty lze pozorovat na začátku, ve vzdálenosti zhruba 50 metrů a potom ve vzdálenosti 150-200 metrů, kde se teploty pohybují těsně pod hranicí 20 °C. Rozdíl mezi minimem a maximem je zde opět o trochu vyšší v porovnání s předchozími dvěma úseky. Vyskytují se zde tři kategorie stáří vody, nejstarší je v potrubí přes 72 hodin, nejmladší okolo 55 hodin. Po celé délce se nachází PVC potrubí o DN 110. Zastínění je poměrně značné, dosahuje i 80 %. Žádný ojedinělý jev se zde nevyskytuje. Proč teplota vody dosahuje v rozmezí přibližně 120 metrů dvakrát téměř totožných hodnot, není možné s jistotou říct, lze se jenom domnívat.

Proplachovaný úsek č. 9

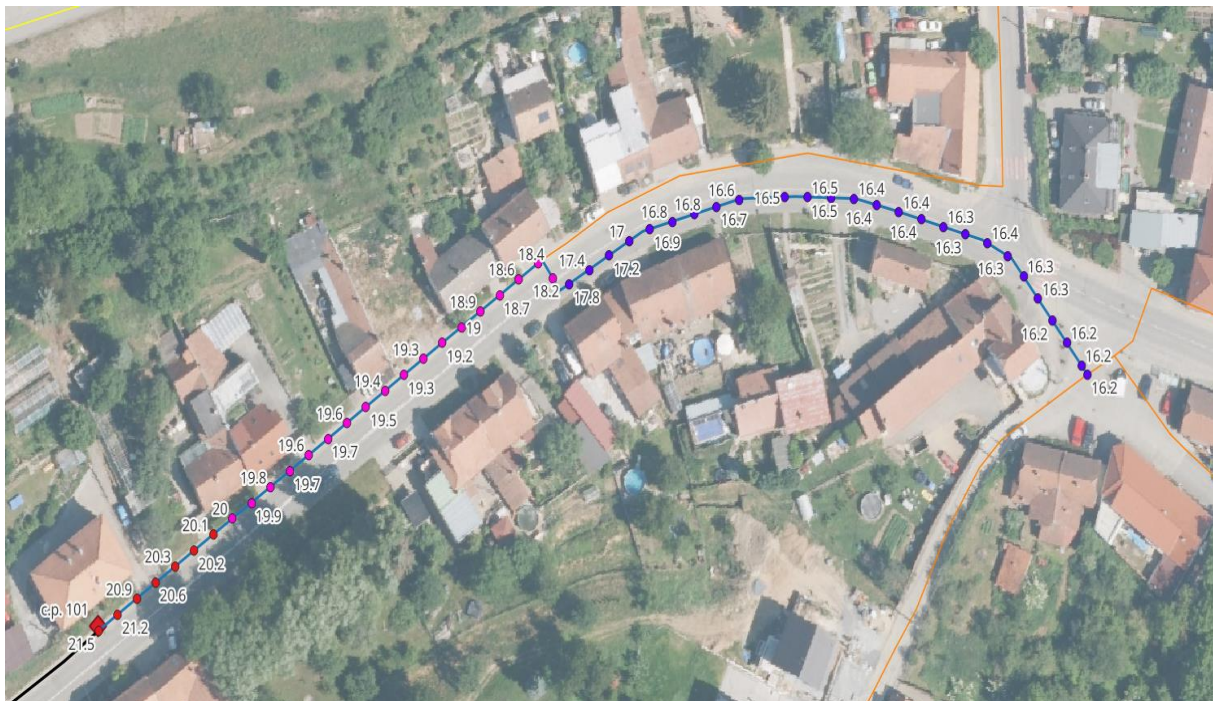


Obr. 21 Průběhy teplot na úseku č. 9 v situačním výkresu

Předposlední úsek vodovodního potrubí se zajímavým vývojem teplot se nachází v blízkosti řadů č. 6 a č. 8. Přímo se setkává s úsekem č. 2, který je na Obr. 14 označen červenou šipkou. Tento průběh je pro přehlednost otočen o 90°, proto

se může jevit jejich vzájemná poloha na **Obr. 14** jinak. Z hlediska trendů opět vidíme s přibližující se vodou směrem k centru její snižující se teplotu a také menší dobu zdržení. Nejvyšší a nejnižší hodnota se vyskytuje vždy na opačném konci úseku a dělí je jeho délka 293 metrů. Sice zde lze pozorovat teploty přes 22 °C, ovšem zhruba po 20 metrech délky teploty relativně rychle klesají, konkrétně ve vzdálenosti 150 metrů od hydrantu až do konce úseku teplota poklesne o zhruba 2–3 °C a dochází k němu právě v místě, kde se mění kategorie stáří vody. Jestli je to způsobené pouze tímto nebo v tom hraje roli více faktorů zároveň, není možné říct se stoprocentní jistotou.

Propláchnutý úsek č. 10



Obr. 22 Průběhy teplot na úseku č. 10 v situačním výkresu

Posledním analyzovaným úsekem vodovodního potrubí je úsek č. 10, který je z PVC o DN 110. Nachází se zde teploty v rozmezí přibližně 5 °C. Vyskytuje se zde stejný jev jako v předchozím případě, nejvyšší a nejnižší naměřená hodnota pitné vody se nachází na začátku a na konci úseku. S tím rozdílem, že zde je propláchnutý úsek o něco kratší, má délku 252 metrů. Voda v blízkosti centra Kanic ukazuje modré body, tedy teploty v rozmezí 16 a 18 °C. Zastínění je po celou dobu trasy přibližně stejné a je stanoveno na 50 %. Opět se zde setkáváme s tím, že

jakmile je voda mladší, její teplota klesá, ale s dodatkem, že doba zdržení nemusí být jediným činitelem, který se na tomto stavu podílí.



Obr. 23 Obec Kanice a rozmístění deseti popisovaných úseků

Na Obr. 23 lze vidět, kde v obci se nachází jednotlivé proplachované úseky, které byly popisovány v kapitole **Zajímavé průběhy teploty vody po délce potrubí**. Jsou označeny světle modrou barvou, kromě toho je u každé části vodovodního řadu vyznačen červeným kosočtvercem a příslušným popisem také vodovodní hydrant, který byl použit při proplachu.

3.2.3 Vyhodnocení dat

Při snaze prezentovat výsledky této práce bylo několik možných přístupů. Vliv na vyhodnocování má zcela jistě také původ jednotlivých podkladů pro určování faktorů. Materiál potrubí a stáří vody bylo pevně dané, ale povrch a zastínění bylo určováno čistě subjektivním pohledem na ortofoto mapu. Je tedy teoreticky možné, že některé výsledky jsou mírně zkreslené a pokud by je vyhodnocoval někdo jiný, výsledky těchto dvou faktorů by mohly být lehce odlišné. Obecně se jako nejjednodušší varianta jevila statistická analýza, která mohla být nápomocná při shrnutí velkého množství dat. Konkrétně byl použit korelační

koeficient (KK) pro určení závislostí teploty vody na jednotlivých faktorech. Korelaci určuje hodnota KK, která nám popisuje závislost dvou veličin. Interval výsledku je vždy $\langle -1; 1 \rangle$. Pokud se hodnoty přibližují k 1, znamená to přímou úměrnost mezi dvěma proměnnými. Druhou možností je výsledek blíží se hodnotě -1, což znamená úměrnost nepřímou. Poslední variantou jsou hodnoty okolo 0, které znamenají nezávislost jednotlivých veličin.

Tab. 4 Hodnoty korelačního koeficientu pro jednotlivé faktory

Stáří vody	Zastínění	Materiál	Povrch
0,5394	-0,5005	0,3062	-0,0652

Největší závislost dle tohoto koeficientu vyšla pro stáří vody, což odpovídá i pohledu na vyhodnocované úseky. V krajních oblastech vodovodní sítě v Kanicích se nachází nejstarší voda, s dobou zdržení větší než 72 hodin. Konkrétně v místech s hydranty označenými 814909 (**Obr. 16**), 1048387 (**Obr. 17**) a také 798811 (**Obr. 20**). Na všech třech místech se vyskytují vysoké teploty vody. Výjimkou je pouze proplachovaný úsek č. 1 (**Obr. 12**), který je považovaný za teplotně nejextrémnější, ovšem stagnace pitné vody je zde mezi 50 a 60 hodinami.

Druhým nejzásadnějším činitelem je zastínění, pro které vyšel KK z pohledu závislosti pouze o několik desetin menší oproti stáří vody, jak zobrazuje **Tab. 4**. Čím je menší zastínění, tím je větší teplota vody a obráceně. O tomto tvrzení se opět můžeme přesvědčit konkrétně a to na **Obr. 11**, kde lze pozorovat velmi nízké teploty, které jsou nejspíš právě vlivem zastínění menší než ty ve vodojemu. Je to jediný úsek, kde je evidována nižší teplota vody v potrubí než ve VDJ.

KK sice naznačuje mírnou závislost mezi materiálem potrubí a teplotou vody, jak vidíme v **Tab. 4**, ale při vyvozování takových závěrů je třeba opatrnost a vzhledem k nerovnoměrnému zastoupení jednotlivých druhů materiálu nebudou prezentovány konkrétní závěry. Pokud by probíhalo příští měření v oblasti, kde bude alespoň v přibližně stejné délce položen každý materiál, je jasné, že bude vliv teplovodivé litiny prezentován mnohem snadněji. Za aktuálních podmínek vycházejí vyšší teploty v plastovém potrubí, které vede teplo mnohem hůř, což nejspíš potvrzuje domněnku, že je třeba posuzovat spíše kombinované působení faktorů v daném místě než jejich vliv jednotlivě. Také to potvrzuje tezi o tom, že

prezentovat výsledky v této problematice je třeba vždy velmi pečlivě zvážit a neunáhlit se.

Podle výsledků korelace má povrch nejmenší vliv na teplotní změny pitné vody v potrubí. Stejně jako v přechozím případě to znamená, že je nevhodné pohlížet na povrch samostatně, ale spíše v kombinaci s jinými faktory. Druhým možným vysvětlením je nedostatečná znalost půdních parametrů, jejichž zásadní vliv dle literatury je podrobně popsán v části **teplota vody ve vodovodní síti**. Pro příští měření je zcela jistě vhodné podrobnější vyhodnocování v tomto ohledu. V úvahu také přichází měření teploty povrchu v místě proplachu.

4 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Je velice pravděpodobné, že doposud poněkud opomíjená problematika teploty pitné vody ve vodovodní síti bude v příštích letech stále aktuálnější. Nejen z hlediska podrobnějšího měření, ale také s tím souvisejícího přijímání opatření, která se budou snažit vodu udržovat v optimálním rozsahu teplot dle vyhlášky č. 252/2004 Sb., především kvůli zachování její hygienické kvality. Tato bakalářská práce se v některých svých závěrech shoduje s dostupnou literaturou v problematice hustoty vegetačního pokryvu a následnému zastínění a také ochlazování povrchu, pod kterým se trasy vodovodního potrubí nachází. Čím vyšší a intenzivnější je vegetační pokryv, tím nižší je výsledná teplota vody ve vodovodu i teplota půdy. Vzhledem k podmínkám, které byly rozebrány již v minulé kapitole **Faktory ovlivňující teplotu pitné vody**, nebyly vyhodnoceny půdní parametry, a tak není možné potvrdit ani vyvrátit vliv zeleně na snižování teploty půdy. V případě budoucího měření je určitě vhodné tento faktor také analyzovat, pro lepší nastínění problematiky a snazší vyvozování závěrů.

Naopak výsledky tohoto měření rozporují tvrzení kanadských vědců o tom, že doba zdržení nemá vliv na výslednou teplotu vody. V případě obce Kanice se většina vyšších teplot vyskytovala v místech, kde byla delší doba zdržení. Naopak v centru obce, kde se voda v potrubí stagnovala kratší dobu, byly teploty nižší. Otázkou zůstává, jestli je tato skutečnost pouze následkem doby zdržení nebo je to dané spíše místními podmínkami a kombinací více faktorů.

Kvůli nedostatečné půdní analýze není možné potvrdit nebo vyvrátit vlivy a působení půdy, která obklopuje vodovodní potrubí. V našem případě konkrétně vliv povrchu, který zahrnoval působení asfaltových, betonových a zelených ploch.

Podobná situace nastává i v případě materiálu potrubí. Vzhledem k tomu, že se v Kanicích nachází velmi nerovnoměrné zastoupení jednotlivých materiálů, není možné ověřit teze prezentované zahraniční literaturou. Přesto, že by bylo velmi zajímavé znát vliv vysoké tepelné vodivosti litinového potrubí nebo naopak minimální vliv tepelné vodivosti plastů, za aktuálních podmínek to není možné. Šedá litina se totiž v celé obci vyskytuje pouze na zhruba 135 metrech délky a tvoří tak opravdu drobný podíl z celé sítě. Původním a poněkud ambiciózním záměrem

bylo také rozlišit rozdíly v teplotách v PE a PVC potrubí, postupem času bylo jasné, že tyto závěry by mohly být nepřesné a zavádějící.

Hloubka uložení nebyla nakonec vyhodnocována vůbec vzhledem k neúplným podkladům, pokud by tak bylo učiněno, mohlo by dojít ke zkreslení prezentovaných závěrů a bylo proto jistější se touto problematikou vůbec nezabývat.

Průběhy teplot jednotlivých řadů byly velice proměnlivé, naměřené teploty byly v závislosti na různých podmínkách, mnohdy i v rámci jednoho úseku, velmi odlišné, a to téměř až o 8 °C. Nejvyšší naměřená hodnota byla 24,6 °C, a je to velice blízko limitu stanovenému WHO, který je 25 °C. Tuto hodnotu prezentuje vesměs veškerá dostupná literatura vzhledem k zachování hygienické kvality pitné vody. Na druhou stranu byly naměřené i hodnoty okolo 14,6 °C, což jen potvrzuje fakt, že při správných podmínkách může být teplota pitné vody hluboko pod limitem zdravotní zavadnosti. Nutno také doplnit, že i na úsecích, které vykazovaly na začátku proplachu teploty přes 22 °C, s rostoucí vzdáleností od hydrantu klesaly i pod 20 °C a to znamená, že průměrné teploty nebyly tak vysoké. Dokazuje to například úsek č. 2 na **Obr. 14**.

Na závěr je třeba říct, že i když byla při vypracování této práce víra v mnohem přesnější prezentaci výpočtů a analýz a byla snaha stanovit konkrétní teplotní rozdíly v jednotlivých kategoriích a skupinách faktorů, nakonec bylo dosaženo poměrně uspokojivých výsledků. Tato práce nastiňuje základní problematiku tohoto tématu a podává doporučení pro další postup. Pro příští měření bude důležitý rozbor půdních parametrů. Jako vhodnější se jeví také oblast, kde budou rovnoměrněji zastoupeny jednotlivé typy materiálu potrubí. Při znalosti těchto informací je velice pravděpodobné, že při další analýze teploty vody ve vodovodní síti bude schopnost zodpovědět otázky, které tato práce pokládá nebo zodpovídá pouze částečně.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Vyhláška č. 252/2004 Sb., 2024. *Zákony pro lidi* [online]. [cit. 2024-05-21]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-252>
- [2] Guidelines for Drinking-water Quality, 2017. *Guidelines for Drinking-water Quality* [online]. 2017(4), 244-282 [cit. 2024-05-02]. Dostupné z: <https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/254637/9789241549950-eng.pdf?sequence=1>
- [3] 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. 2024-05-02]. ISSN 0003-150X. Dostupné z: doi:10.5942/jawwa.2013.105.0011
- [4] ABSALAN, Faezeh, Fatemeh HATAM, Mirjam BLOKKER, Marie-Claude BESNER, Michèle PRÉVOST a Françoise BICHAÏ, 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. 2024-05-08]. ISSN 00431354. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2024.121490
- [5] 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.
- [6] ZHANG, Liqun, 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. 2024-05-08]. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-023-25633-1
- [7] EUROPEAN CHEMICALS AGENCY [ECHA], 2023. Ftaláty. *European Chemicals Agency [ECHA]* [online]. [cit. 2024-05-19]. Dostupné z: <https://echa.europa.eu/cs/hot-topics/phthalates>

- [8] EPDM rubber material utilization in epoxy composite systems, 2014. *Agronomy research* [online]. 12(1), 291-298 [cit. 2024-05-09]. Dostupné z: https://agronomy.emu.ee/vol121/2014_1_34_b5.pdf
- [9] O obci, 2024. *Kanice* [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://obeckanice.eu/o-obci/#obsah>
- [10] O Obci, 2024. *Obec Řícmanice* [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://ricmanice.cz/popis-obce/>
- [11] VAK BÍLOVICKO, 2024. Vodovody a kanalizace Bílovicko. VAK BÍLOVICKO. *Vodovody a kanalizace Bílovicko* [online]. [cit. 2024-05-10]. Dostupné z: <https://vakbilovicko.cz/>
- [12] *Studie řízený proplach vodovodních sítí obcí Kanice a Řícmanice: A. + B. Průvodní a technická zpráva* [online], 2023. 2023.
- [13] *Meteorologická stanice FAST VUT Brno: Ústav vodního hospodářství krajiny*, 2024. Brno. Datový soubor. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební.

6 SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Tepelná vodivost materiálů potrubí [3]	6
Tab. 2 Přehled naměřených teplot dle jednotlivých tříd oblastí [4]	9
Tab. 3 Kategorie faktorů ovlivňujících teplotu pitné vody.....	25
Tab. 4 Hodnoty korelačního koeficientu pro jednotlivé faktory	39

7 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Schéma prostředí a přenosu energie mezi jednotlivými vrstvami [3].....	3
Obr. 2 Vývoj teploty půdy v 50 a 100 cm pod povrchem [3]	4
Obr. 3 Zóny s různými druhy povrchu [4].....	8
Obr. 4 Vývoj měřených teplot v modelovaných třídách půdy [4]	10
Obr. 5 Přehled naměřených hodnot [4].....	11
Obr. 6 Výskyt ftalátů vzhledem k celkovému počtu vzorků dle materiálu [6]	15
Obr. 7 Všechny průměrné a maximální koncentrace ftalátů v $\mu\text{g/l}$ [6].....	16
Obr. 8 Vývoj koncentrací v $\mu\text{g/l}$ vzhledem k době zdržení [6]	17
Obr. 9 Proplachovaný úsek č.1.....	22
Obr. 10 Přehled materiálů potrubí v obci Kanice [12]	24
Obr. 11 Část proplachovaného úseku se 100 % zastíněním	25
Obr. 12 Průběhy teplot na úseku č. 1 v situačním výkresu	27
Obr. 13 Stupnice teplot používaná v situačním výkresu	28
Obr. 14 Průběhy teplot na úseku č. 2 v situačním výkresu	29
Obr. 15 Průběhy teplot na úseku č. 3 v situačním výkresu	30
Obr. 16 Průběhy teplot na úseku č. 4 v situačním výkresu	31
Obr. 17 Průběhy teplot na úseku č. 5 v situačním výkresu	32
Obr. 18 Průběhy teplot na úseku č. 6 v situačním výkresu	33
Obr. 19 Průběhy teplot na úseku č. 7 v situačním výkresu	34
Obr. 20 Průběhy teplot na úseku č. 8 v situačním výkresu	35
Obr. 21 Průběhy teplot na úseku č. 9 v situačním výkresu	36
Obr. 22 Průběhy teplot na úseku č. 10 v situačním výkresu	37
Obr. 23 Obec Kanice a rozmístění deseti popisovaných úseků.....	38

8 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 Průběh teplot během července 2023 [13].....	20
Graf 2 Průběh srážkových úhrnů během července 2023 [13]	21
Graf 3 Průběh teploty vody po délce potrubí na úseku č. 1.....	23
Graf 4 Průběh teploty vody po délce potrubí na úseku č. 8.....	35

9 SEZNAM ZKRATEK

GDWQ... Guidelines for Drinking-Water Quality

WHO... World Health Organization

DH... doporučená hodnota

ÚV... úpravna vody

US EPA... United States Environmental Protection Agency

EU... Evropská unie

PAE... phthalate acid esters

DMP... dimetyl ftalát

DEP... dietyl ftalát

DIBP... diisobutyl ftalát

DEHP... diethylhexyl ftalát

DBP... dibutyl ftalát

BBP... butyl benzyl ftalát

DCHP ... dicyklohecykl ftalát

DNOP... di-n-oktyl ftalát

PVC... polyvinylchlorid

PP... polypropylen

PE... polyetylen

PB... polybuten

PAP... polyetylen/aluminium/polyetylen

EPDM... etylen-propylen-dien-monomer

pH... potential of hydrogen

PP-R... polypropylen random

PVDF... polyvinyl fluorid filtr

UV... ultrafialové záření

VAK... vodovody a kanalizace

m... metr

ha... hektar

mm... milimetr

km... kilometr

km²... kilometr čtvereční