



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ANALÝZA STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI VYBRANÉHO SPOTŘEBIŠTĚ

ANALYSIS OF WATER AGE IN THE WATER SUPPLY NETWORK OF A SELECTED AREA

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tereza Pellarová

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2021



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství obcí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Tereza Pellarová
Název	Analýza stáří vody ve vodovodní síti vybraného spotřebiště
Vedoucí práce	Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2020
Datum odevzdání	28. 5. 2021

V Brně dne 30. 11. 2020

doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

- [1] INGEDULD, P., 2003: Modeling of Water Distribution Systems with MIKE NET, DHI Water & Environment, 2003
- [2] Rossman, A. L., 2000: EPANET 2 Users Manual, United States Environmental Protection Agency US E.P.A., USA, 9/2000
- [3] National Research Council of the national academies, 2006: Drinking Water Distribution Systems – Assessing and reducing Risks, the National Academic Press, Wasington D.C., ISBN: 0-309-10306-1, 2006

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

V rámci bakalářské práce bude provedena hydraulická analýza skutečné vodovodní sítě se zaměřením na simulaci stáří vody v jednotlivých částech vodovodní sítě. Práce bude obsahovat část teoretickou a praktickou. Pro hydraulickou analýzu bude použito softwarových nástrojů na bázi Epanet 2.0.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se věnuje problematice stáří vody v distribučním systému pitné vody. V teoretické části jsou rozebrány faktory ovlivňující stáří vody a jakost dopravované vody. Dále jsou zmíněny možnosti stanovení stáří a také ukazatelé vysokého stáří. Je zde rozebrána i spotřeba vody z vodovodní sítě a ceny vody v Evropě. V praktické části se práce zaměřuje na analýzu stáří vody ve vodovodním systému. Pro získání dat potřebných k analýze byl použit nástroj EPANET 2.2, ve kterém byla provedena simulace pro období s různou spotřebou vody – roční průměr, letní období (červenec, srpen) a zimní období (leden, únor). Po provedení simulace byla data vložena do MS Excel a následně statisticky zpracována a vyhodnocena. Cílem praktické části bylo nalezení vzájemných souvislostí faktorů, které působí v síti. V úsecích vodovodu byla vyšetřována závislost stáří/rychlost proudění a stáří/průtok. V uzlech sítě byla pozornost věnována závislosti stáří/odběr z uzlů a stáří/tlak. Všechny data byla sledována v rámci neměnných intervalů stáří vyskytujících se ve sdruženém vodovodu obce.

KLÍČOVÁ SLOVA

pitná voda, stáří vody, vodovodní síť, analýza stáří vody, spotřeba vody

ABSTRACT

The bachelor thesis deals with the issue of water age in drinking water distribution system. The theoretical part discusses the factors influencing the age of water and the quality of delivered water, and also the way in which the age influences the quality of water. Furthermore, the methods of age determination are mentioned, as well as indicators of high age. The consumption of mains water and water prices in Europe are also discussed. The practical part of the thesis focuses on the analysis of the age of water in the water supply system. The data needed for the analysis was obtained by means of the EPANET 2.2 tool, in which simulations were performed for periods with different water consumption, including the annual average, summer (July, August) and winter (January, February). After the simulation, the data were entered into MS Excel and then statistically processed and evaluated. The aim of the practical part was to find the correlations of the factors acting in the network. The age/velocity and age/flow rate were examined in the water main sections. The relations between age/consumption from the nodes and age/pressure were examined in the nodes of the network. All data were monitored within the constant age intervals occurring in the municipality's shared water supply system.

KEYWORDS

drinking water, water age, water supply network, water age analysis, water consumption

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PELLAROVÁ, Tereza. *Analýza stáří vody ve vodovodní síti vybraného spotřebiště*. Brno, 2021. 61 s., 1 s. příl. 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 bakalářské práce s názvem *Analýza stáří vody ve vodovodní síti vybraného spotřebiště* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 26. 5. 2021

Tereza Pellarová
autor práce

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Analýza stáří vody ve vodovodní síti vybraného spotřebiště* zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 26. 5. 2021

Tereza Pellarová
autor práce

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala vedoucímu práce, Ing. Janu Ručkovi, Ph.D., za příležitost věnovat se zajímavému tématu a také za odborné vedení této práce. Poděkování také patří všem, kteří se zapojili do výzkumu stáří vody a z jejichž zdrojů jsem mohla čerpat.

OBSAH

1	ÚVOD	3
1.1	Motivace.....	4
1.2	Cíl práce.....	6
2	STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI	7
2.1	Faktory ovlivňující stáří vody	7
2.1.1	Spotřeba vody	7
2.1.2	Tlak vody	8
2.1.3	Provoz a údržba systému	9
2.2	Faktory ovlivňující jakost dopravované vody	9
2.2.1	Jakost dopravované vody	9
2.2.2	Teplota vody	10
2.3	Vliv stáří vody na jakost vody.....	10
2.4	Výpočet stáří vody.....	12
2.4.1	Trasovací metody.....	12
2.4.2	Hydraulické modely.....	13
2.5	Ukazatele vysokého stáří vody	15
2.5.1	Organoleptické ukazatele.....	15
2.5.2	Monitorovací ukazatele.....	15
2.6	Shrnutí	16
3	SPOTŘEBA VODY Z VODOVODNÍ SÍTĚ	17
3.1	Rozdělení spotřeby vody domácností během dne.....	18
3.2	Spotřeba vody v České republice.....	19
3.3	Spotřeba vody v Evropě	22
4	ANALÝZA STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI	25
4.1	Popis zájmového území.....	25

4.2	Hydraulický simulační model	27
4.2.1	Stávající stav a spotřeba vody	27
4.2.2	Koeficienty nerovnoměrnosti spotřeby vody	28
4.2.3	Hydraulická drsnost potrubí.....	28
4.2.4	Profily, materiál a stáří potrubí	29
4.3	Analýza stáří vody ve vodovodní síti skupinového vodovodu	30
5	VÝSLEDKY A DISKUZE.....	34
6	DOPORUČENÍ A ZÁVĚR	49
7	LITERATURA	51
	SEZNAM TABULEK	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	58
	SEZNAM PŘÍLOH.....	59
	SUMMARY	60

1 ÚVOD

Stáří vody je čas, který stráví objem vody v distribuční síti. Voda, která vstupuje do sítě ze zdroje má nulové stáří. Stáří vody poskytuje jednoduché měřítko celkové jakosti dodávané pitné vody. [32] Zvyšující se stáří vody může mít mnoho příčin, jednou z nejčastějších příčin je předimenzování potrubí, které bylo v minulosti navrženo na vyšší spotřebu pitné vody. Pro představu to byl v 70. letech dvoj až trojnásobek dnešní specifické potřeby. [1] K roku 2019 je specifické množství vody fakturované domácnostem $90,6 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$ [28]. Dalšími příčinami vysokého stáří vody je výskyt míst v hydraulických okruzích, kde se několikrát během dne mění směr proudění, jedná se o krátké úseky, v nichž se nachází malá rychlost proudění. V neposlední řadě může ke zvyšování stáří vody docházet v koncových částech vodovodní sítě (tzv. mrtvé konce). [1] Stáří vody je jedním z faktorů ovlivňujících jakost vody, přičemž nízké stáří indikuje dobrou jakost vody. Pokud voda teče ke spotřebiteli příliš dlouho (až několik dní), může dojít ke snížení potřebné koncentrace dezinfekčního činidla a může potom docházet k množení mikroorganismů a následným zdravotním potížím spotřebitelů. Voda má často zvýšené stáří v mrtvých koncích, nebo tam, kde je příliš malý odběr (může se jednat o sezónní odběr nebo období např. prázdnin). Na mnoha místech ve světě se již na tyto mrtvé konce klade důraz, např. v Nizozemsku, a dochází k jejich pravidelnému proplachování provozovateli sítě. Vhodným prostředkem pro určení stáří vody je hydraulické modelování, pomocí kterého se dají dobře určit podmínky stárnutí vody i místa s výskytem vysokého stáří. Modely mohou vypočítat stáří vody za nejrůznějších provozních podmínek a vytvářet tak scénáře, které umožňují pracovníkům údržby vyhodnotit proaktivně potřebu údržby sítě. [2]

V ČR v současné době neexistuje legislativa, která by určovala maximální stáří vody. Jakost vody v ČR upravuje vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody. [31]

Tato práce se zaměřuje především na zjištění možných příčin vzniku míst s vysokým stářím vody a důsledky, ke kterým následně může docházet. Jedním z důsledků vody s vysokým stářím může být zhoršení jakosti vody, která může být bezprostředně vnímána zákazníkem v oblasti sensorického vnímání, to může vést k následným stížnostem uživatelů na jakost vody. Sensorické vlastnosti vody jsou vzhled (barva, zákal), chuť a pach. [3] Vyhláška č. 252/2004 Sb. říká, že pach a chuť vody musí být přijatelná pro spotřebitele. Barva a zákal musí splňovat limitní hodnoty. Teplota je v této vyhlášce ve formě doporučené hodnoty 8–12 °C. [31] V současné době se usiluje o získání důvěry spotřebitelů ve vodárenské společnosti. Prezident IWA (International Water Association) M. Rouse říká „Spotřebitel musí mít důvěru ve vodárenský produkt, protože to, jak veřejnost vnímá kvalitu vody, je nutno považovat za nedílnou součást kvality samotné. K tomu je mimo jiné nezbytné, aby voda měla příjemnou chuť, pach a vzhled, protože jde o vlastnosti vody, se kterými se spotřebitel denně setkává

a je schopen je sám hodnotit – a přirozeně si podle nich udělat úsudek o kvalitě a bezpečnosti vody. Vodárenské společnosti nemohou nikdy považovat za vyhovující stav, při němž pitná voda sice odpovídá všem hygienickým požadavkům, ale spotřebiteli nechutná.“ Z tohoto tvrzení plyne, že i když stáří vody není nijak legislativně upravováno, tak je nutné mu věnovat dostatečnou pozornost, protože může způsobovat narušení vlastností, které vnímá spotřebitel (i když je voda zdravotně nezávadná). Tato nedůvěra by mohla vést k volbě využití alternativních (méně bezpečných) zdrojů vody, což povede ke snížení odběrů ze sítě a tím k prohloubení problému zvyšujícího se stáří vody. [3]

V minulosti byla provedena analýza stížností odběratelů na jakost vody na vybraném spotřebišti. Nejprve byl zhotoven simulační model vodovodu oblasti a na základě místa výskytu stížností byly vyhodnoceny možné příčiny. Celkem bylo vyhodnoceno 12 problémových lokalit. Na 6 z 12 míst docházelo k výskytu koliformních bakterií z toho 5 míst mělo velmi podobné hydraulické podmínky, tato místa měla maximální rychlost proudění vody $0,01-0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a stáří vody se zde pohybovalo v rozmezí 48–216 hodin. V ostatních problémových lokalitách, kde maximální stáří dosahovalo nejvíce 48 hodin a maximální rychlost proudění vody byla o něco vyšší, byly indikovány odlišné závady, než je výskyt koliformních bakterií, např. chemický pach vody, výskyt železa, výskyt počtu kolonií (PK) při $36 \text{ }^\circ\text{C}$ a další. Výskyt koliformních bakterií může značit sekundární kontaminaci vody, kdy se koliformní bakterie dostávají do vody z vnějšího prostředí. Při kombinaci malé rychlosti proudění, nedostatečného proplachu potrubí a tím i vysokého stáří vody, je pravděpodobný výskyt sedimentu, ve kterém mohou koliformní bakterie ulpívat. Výskyt koliformních bakterií může také značit nízkou účinnost dezinfekce, což mohlo být také způsobeno vysokým stářím vody. [4]

1.1 MOTIVACE

V současné době se lidé snaží ve vztahu k pitné vodě chovat šetrně, ekologicky i ekonomicky jednak kvůli rostoucím cenám vody ale i kvůli vztahu k přírodě. Díky dřívější vyšší spotřebě a nutnosti dodržovat normy jsou současné vodovodní sítě předimenzované. Nižší spotřeba vody se podepisuje na stavu vodovodní sítě, potrubí je zanášeno sedimenty a voda stárne. [5] Na základě tohoto problému v minulosti byla provedena případová studie. V září roku 2019 byl proveden jako součást projektu první řízený proplach vodovodní sítě. V rámci proplachu byl prováděn i monitoring jakosti vody. Proplach a monitoring byl součástí výzkumných projektů TAČR Zéta I. č. TJ01000296 s názvem „Řízení jakosti pitné vody ve vodovodních sítích“. V květnu 2019 byl proveden druhý proplach, který byl součástí projektu „Doba vlivu řízeného proplachu vodovodního potrubí na vybrané ukazatele jakosti pitné vody“ č. FAST-J-19-6066. Cílem projektu je řídit jakost vody již během její distribuce, k tomu je zapotřebí hydraulických simulačních modelů, bez jejichž použití by tento problém nemohl být řešen. [6] Řízeným

proplachem se rozumí systematická činnost, během které dojde k odstranění jemného nezpevněného sedimentu, který se během provozu v potrubí hromadí. [37] Sediment může být produktem koroze, v současné době už ale studie dokládají, že sedimenty se vyskytují i v nekovových potrubích, například v plastovém potrubí. [37,40] Pokud je síť v běžném hydraulickém režimu, nedochází k žádné zákalové události, zákal vody je pod úrovní 5 ZF_n. Může ale dojít např. k náhlému vysokému odběru (havárie, odběr při hašení požáru), který má za následek rozvíření sedimentu, což vede odběratele ke stížnostem nebo znehodnocení důvěry v odebíranou vodu. [39] Je ale nutno dodat, že tyto stížnosti jsou žádoucí, protože jsou konstruktivním podnětem pro vodárenské společnosti. [4] V září 2018 byl proveden první proplach, o 8 měsíců později v květnu 2019 druhý, díky tomu bylo možné určit procento snížení zákalu. Nejlepšího výsledku, 3 % z původní hodnoty zákalu, bylo dosaženo na vybraném úseku. Naopak při opakovaném proplachu na určitém úseku bylo dosaženo o 5 % vyšší hodnoty zákalu. Z toho plyne, že v tomto místě dochází k vyšší akumulaci sedimentu a je potřeba ho proplachovat častěji. [6]

Zvyšující se stáří vody vede ve většině případů ke zhoršování ukazatelů jakosti vody, zejména potom ukazatele organoleptické a mikrobiologické. V rámci výše uvedených projektů bylo řešeno i zhoršování jakosti vody vlivem zdržení vody v síti. Tento nežádoucí jev vede k sedimentaci jemných částic, ztrátě dezinfekčního prostředku a k dalšímu růstu bakterií. Vlivem zákalové události se tyto jemné sedimenty uvedou do vznosu a uvolňují se do vody bakterie, které dokážou v sedimentu zůstat i za přítomnosti volného chloru. [37] Jakost vody je ovlivněna tvorbou biofilmu, který se utváří na vnitřních stěnách potrubí. Pokud je jakost vody stabilní, je stabilní i stav biofilmu a do vody se v tomto případě bakterie uvolňují v malém množství. Například v Nizozemsku tento stabilní biofilm běžně udržují. Ukázalo se, že pokud je voda biologicky stabilní a potrubí je vyrobeno z vhodného materiálu, který nepodporuje růst bakterií, nemá délka zdržení příliš významný vliv na množení bakterií v síti. [7] Toto tvrzení platí zřejmě pouze v případech, kdy je v potrubí pouze malé množství jemného sedimentu. Pokud k tomu jsou vytvořeny vhodné podmínky, např. nízká rychlost proudění, dochází na vhodných místech sítě k nanášení těchto jemných sedimentů do určitých úseků sítě a dochází tak k tvorbě biofilmu na stěnách potrubí. [8]

Sedimenty mají různý původ a složení a nejčastěji pocházejí z:

- 1) Podzemního zdroje
- 2) Z dřívějších poruch potrubí nebo oprav, kdy došlo k vniku zeminy do sítě
- 3) Nesprávně fungující filtrace
- 4) Z produktů koroze potrubí
- 5) Z degradačních procesů v biologicky nestabilní dopravované vodě
- 6) Z rozpadu biofilmu.

Tyto drobné sedimenty ale i produkty koroze chrání bakterie před účinkem dezinfekčního činidla, vytvářejí dobré podmínky pro množení mikroorganismů a následkem toho se zhorší jakost dopravované vody. [8]

Cílem projektu bylo mimo jiné stanovit postup a frekvenci proplachování úseků, které jsou ohroženy zvyšujícím se stářím vody. V rámci projektu byla provedena pomocí simulačního modelu analýza stáří vody, následně bylo určeno 5 koncových úseků, kde lze sledovat proudění vody, stáří i jakost vody. V těchto úsecích bude hodnocena jakost vody (teplota, zákal, koncentrace volného chloru, koncentrace železa, mikrobiologický a biologický rozbor), stanoven postup údržby a dále budou vyhodnocovány stížnosti odběratelů na jakost vody včetně stanovení příčiny. Během řízeného proplachu, který probíhal v rámci projektu TAČR Alfa IV č. TA02020604 “Nástroje pro prevenci vzniku zákalu ve vodovodních sítích“, byly odebrány vzorky pro mikrobiologický a chemický rozbor. V dalších dvou letech bude i nadále probíhat proplachování vybraných koncových částí sítě a budou sledovány vybrané ukazatele jakosti. Díky tomuto postupu bude možné určit postup, resp. plán pro proplachování úseků ohrožených zvyšujícím se stářím vody. [1] Projekt může být cenným podkladem pro další zkvalitňování služeb vodárenských společností.

1.2 CÍL PRÁCE

V rámci bakalářské práce byla provedena hydraulická analýza skutečné vodovodní sítě se zaměřením na simulaci stáří vody v jednotlivých částech vodovodní sítě. Práce obsahuje část teoretickou a praktickou. Pro hydraulickou analýzu bylo použito softwarových nástrojů na bázi EPANET 2.2.

2 STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI

2.1 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ STÁŘÍ VODY

Je zřejmé, že stáří vody je hlavním faktorem v oblasti zhoršování jakosti vody v distribučním systému. Zhoršení jakosti vody je způsobeno jednak interakcí mezi stěnou potrubí a vodou a dále potom reakcemi, které probíhají ve vodě samotné. Voda, která teče distribučním systémem prochází mnoha chemickými, fyzikálními ale i organoleptickými změnami, které mají vliv na jakost vody. To, v jak velké míře tyto procesy budou probíhat, závisí na množství protékající vody, tlaku, jakosti upravované vody, teplotě, materiálu potrubí a množství odebírané vody. [9] Níže v textu budou vybrané faktory okomentovány.

2.1.1 Spotřeba vody

V současné době je běžnou praxí dimenzovat vodovodní potrubí na potřebu vody, která se vyskytne v časovém výhledu 20 let. V důsledku toho mohou mít zařízení na síti nadbytečnou kapacitu (včetně kapacity vodojemů). Zařízení, která jsou dimenzována na budoucí potřebu vody, mohou v současné době zvyšovat stáří vody a jejich kapacita může být vzhledem k současné potřebě vody příliš velká. Změny v potřebě vody nebo změny rozložení spotřebitelů mohou mít dopad na stáří vody, například při stěhování velkých průmyslových firem.

Ke změnám potřeby dochází i během dne vlivem maximálních a minimálních odběrů v závislosti na rozložení potřeby v průběhu dne. Obecně platí, že nejvyšší potřeba vody je ve večerních hodinách, v tomto čase má voda nejnížší stáří. Naopak nejvyšší stáří se vyskytuje v ranních hodinách, protože nad ránem a během noci je velmi malý odběr. [9]

Požární odběry

Podle ČSN 73 0873 – Požární bezpečnost staveb – Pro zásobování požární vodou je pro rodinné domy a nevýrobní objekty minimální průměr potrubí 80 mm a minimální odběr při rychlosti $0,8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ je $4 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. [10] Pokud vodovod, nebo hydrant neslouží jako zdroj požární vody, potom se ČSN 73 0873 na celý vodovod, nebo úsek před hydrantem nevztahuje. V takovém případě platí doporučující norma ČSN EN 805 Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti. Norma doporučuje nejmenší průměr u rozváděcích řadů DN50 s předpokládaným počtem 30 připojených osob a pokud délka řady nepřesahuje přibližně 100 m. Dále norma doporučuje DN80 s předpokládaným počtem 100 připojených osob a DN100 s předpokládaným počtem 250 připojených osob. [33]

Ne každý vodovod musí být zdrojem požární vody. Obce mají povinnost zajistit požární vodu. Zdrojem může být vodovod, ale i požární nádrž. Pokud je zdrojem vodovod, HZS určí hydranty,

kteřé mohou hasičské jednotky použít jako zdroj hasební vody. Tyto hydranty musí splňovat normu ČSN 73 0873, na další hydranty se ale nevztahuje. [34] Vliv požárního průtoku na velikost systému a stáří vody se liší místo od místa. Rozhodnutí o zásobování požární vodou veřejným vodovodem může mít významné dopady na konstrukci a provoz systému, protože u menších obcí zpravidla normativní požadavky na požární průtok převyšují běžnou potřebu domácností. U větších systémů má požární ochrana okrajový vliv na rozhodování o velikosti sítě, v menších systémech může mít požadavek na dimenzi potrubí a požární průtok rozhodující vliv na velikost jednotlivých komponent vodovodu. [11]

V současné době se již ve světě vyskytují alternativní metody pro hašení požáru, jako jsou automatické protipožární systémy, kapičkové hašení, pomocí vodní mlhy apod. Dnes se již hojně využívají postřikovače jejichž význam by neměl být ignorován. Přijetí nových norem, které by vyžadovaly v nových stavbách tyto postřikovače, je prvním krokem kupředu, protože tyto postřikovače vyžadují menší průtok než běžné sprinklery. Přednostní výhodou použití těchto technologií nízkoprůtokového postřikovače je snížení stáří vody a zvýšení jakosti vody. Použití těchto technologií by ale bylo vhodné především pro místa, kde vznikají nové vodovodní systémy. U stávajících systémů by mohlo dojít kombinací současných velkých dimenzí a menších požárních průtoků k prohloubení problému zdržení vody v síti. I tento problém se ve světě řeší novými projekty, tzv. duálními systémy, kdy se běžná síť převádí na duální systém přidáním potrubí umístěného rovnoběžně se stávajícím potrubím. Tyto systémy však vyžadují komplexní plánování a jsou specifické pro dané místo. [11]

2.1.2 Tlak vody

Distribuční systém zásobování často trpí na vysoké ztráty vody v důsledku netěsností a zejména potom v důsledku vysokého provozního tlaku. Jednou z nejčastějších metod snižování ztrát je řízení tlaku (jeho snižování), tím se však zvyšuje doba zdržení vody v síti. Existují studie, které ukázaly, že regulací tlaku lze snížit objem vstupující vody do distribučního systému až o 30–40 %. [12, 35, 36] Konečným cílem vodárenských společností je dodávat spotřebitelům vodu dobré jakosti s přijatelnou úrovní tlaku. Pro dodávání vody přímo ke spotřebitelům je potřeba určitá minimální úroveň tlaku. [12] V ČR pro hodnoty tlaků platí norma ČSN 75 5401 Navrhování vodovodního potrubí. [13] Norma stanovuje minimální hydrodynamický přetlak v místě napojení vodovodní přípojky 0,25 Mpa. Při zástavbě do dvou nadzemních podlaží je dostatečný přetlak 0,15 Mpa. Maximální přetlak v nejnižším místě sítě nemá převyšovat hodnotu 0,6 Mpa, v odůvodněných případech 0,7 Mpa. [13] Řešením problému, který vzniká při sníženém tlaku je nalezením optimálního bodu mezi tlakem vody a stářím vody. Vhodným nástrojem pro nalezení tohoto optima jsou hydraulické modely sítě tvořené vhodným softwarem, modely pomáhají nalézt vhodnou regulaci tlaků v síti. [12]

2.1.3 Provoz a údržba systému

Provozní postupy ovlivňují směr proudění, rychlost proudění a stáří vody. Cesta hydraulického proudění vody a její výsledná doba zdržení v potrubí je ovlivňována nastavením šoupátek a případným provozem čerpací stanice. Uzavření šoupátek systému může mít za následek vytvoření slepých míst, kde dochází ke stagnaci vody. Pro snížení doby zdržení vody mohou vodárenské společnosti upravit hranice tlakových pásem případně regulovat hodnoty tlaku na čerpacích stanicích. I při takových zásazích je třeba brát v potaz minimální a maximální hodnoty tlaku dané ČSN 75 5401. Dalším prvkem, který významně ovlivňuje stáří vody je objem vodojemu. Zvýšené stáří vody se často připisuje jeho nedostatečnému využití, anebo v něm může docházet ke špatnému promíchávání přitékající vody. Tomuto nedostatku může být zabráněno dobrou konfigurací vodojemu přítok/odtok, případně zvýšením odebíraného množství. [9]

Dalším způsob, který může zabránit přílišnému stárnutí vody je provádění kvalitní údržby. Proplachování systému je důležitým nástrojem, který udržuje vodovod čistý bez usazeného sedimentu. Vodárenské společnosti mohou čistit nebo vyměňovat poškozená potrubí, která velkým dílem přispívají ke zhoršení jakosti vody. [9]

2.2 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ JAKOST DOPRAVOVANÉ VODY

Jednou z nejobtížnějších rolí provozu distribuční sítě je udržování mikrobiologické bezpečnosti vody. Aby byla zajištěna dobrá úroveň jakosti vody na konci sítě, udržuje se zbytková koncentrace dezinfekčního činidla. Některé evropské země např. Nizozemsko, Švýcarsko nebo části Německa již zbytkové dezinfekční prostředky nepoužívají, protože se spoléhají především na kvalitní úpravu vody, dobrou konstrukci sítě, kvalitní provoz a údržbu. Bez ohledu na výskyt zbytkového dezinfekčního činidla probíhá v potrubí řada reakcí mezi mikroorganismy a anorganickými kontaminanty (např. produkty koroze potrubí), které jsou ovlivňovány jakostí zdrojové vody, hydraulickými podmínkami v síti, stářím infrastruktury a teplotou. Teplota je velmi důležitým faktorem, protože ovlivňuje podmínky přežití a růst mikroorganismů a kinetiku mnoha chemických reakcí. [14]

2.2.1 Jakost dopravované vody

Voda se získává z povrchových nebo podzemních zdrojů a upravuje se tak, aby vyhovovala normám pro pitnou vodu. Voda poté proudí distribučním systémem, v němž se může jakost vody zhoršit vlivem mikrobiologického růstu, chemických reakcí nebo interakcí se stárnoucí sítí. [14] Kvalitní úprava zdrojové vody může pomoci zmírnit problémy jakosti vody spojené se zvýšeným stářím vody. Kvalitní úpravou vody, a tím i zajištěním biochemické stability vody, se může rychlost a intenzita mnoha chemických a biologických reakcí zmírnit. Biochemická

stabilita souvisí s množstvím organické hmoty, která v průběhu v čase reaguje s dezinfekčními prostředky za vzniku biologicky odbouratelného organického uhlíku, který poskytuje energii pro následné šíření mikrobiálních komunit. Odstranění těchto prekurzorů již při úpravě vody může zabránit mnoha reakcím bez ohledu na stáří vody. Například odstranění organických i anorganických látek omezí rychlost rozpadu chloru, který je potom ve vyšší koncentraci dál od zdroje a může v systému přetrvávat déle. [9]

Pro minimalizaci tvorby organického uhlíku je také důležitá stabilita pH, které se může v některých systémech lišit až o dvě jednotky. Variabilitu pH (pufrovitost vody), která je dána obsahem rozpuštěného hydrogenuhličitanu $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, lze snížit zvýšením zásaditosti zdrojové vody (např. přidáním vápnicku). Úpravou pH lze také zmírnit korozi, která vzniká především v litinových potrubích a přispívá ke spotřebě chloru ve vodě. Úprava přispívající k odstranění železa a manganu může přispět ke snížení množství sedimentu v potrubí. [9]

2.2.2 Teplota vody

Teplota vody má dopad na fyzikální, chemické a mikrobiální reakce, které mají vliv na jakost vody. Teplota může ovlivnit dynamiku mikroorganismů v síti, která podporuje roli biofilmů jako nosiče oportunních patogenů a jejich následné uvolňování do pitné vody. [14] V rámci průzkumu ve Velké Británii bylo jasně prokázáno, že teplota se zvyšuje s rostoucím stářím vody. Tento fakt se ale pojí také s tím, že teplota vody je ovlivňována několika faktory dohromady – kombinací doby zdržení v síti, teplotou zdrojové vody (záleží i na tom, zda se jedná o podzemní nebo povrchový zdroj), krytím vodovodu, teplotou půdy, průměrem potrubí a dalšími. [16] V roce 2018 byl proveden evropský projekt Project Water Quality, který vyšetřoval přístupy vybraných evropských zemí včetně České republiky, týkající se monitorování teploty vody. Uvedené monitorování bývá obvykle náhodné a prostorově velmi řídké. Pouze v Nizozemsku a České republice se teplota měří a zaznamenává tak, aby vyhovovala legislativním požadavkům. Konkrétně ČR odesílá výsledky statistik naměřených teplot do národní databáze PiVo. Tato databáze byla vytvořena v roce 2004 jako nástroj hygienických služeb pro sledování jakosti vody v České republice. [15] Světová zdravotnická organizace (WHO) doporučuje jako maximální limit teploty pitné vody 25 °C u kohoutku spotřebitele. Tato hranice byla stanovena jednak kvůli chuti vody, protože chladná voda je obecně chutnější než teplá, dále potom kvůli biologickým procesům probíhajícím uvnitř vodovodu. [17]

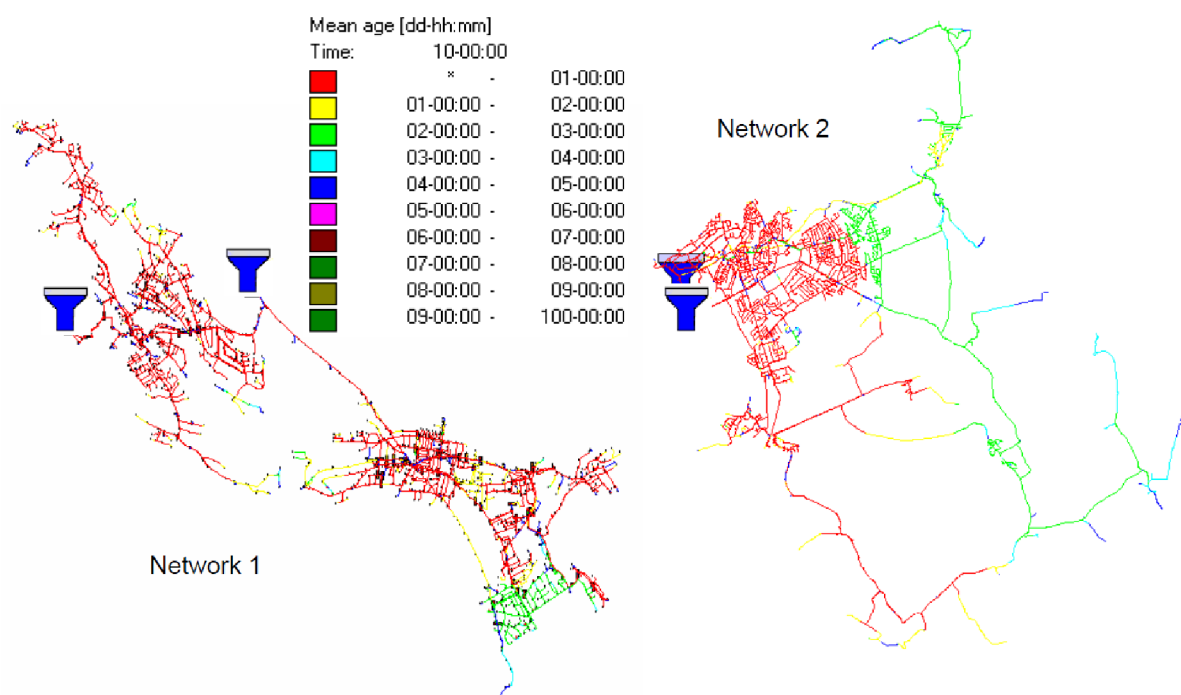
2.3 VLIV STÁŘÍ VODY NA JAKOST VODY

Ve Velké Británii byl proveden průzkum, jehož cílem bylo zjistit, zda stáří vody ovlivňuje jakost vody a najít mezi těmito veličinami vztah. Studie probíhala ve dvou fázích. V 1. fázi průzkumu byla vyhodnocena potrubí s různým stářím vody, dále se vyhodnocovaly odebrané

vzorky za posledních šest let a zjišťoval se vztah mezi vypočítaným stářím vody a naměřenými údaji jakosti vody. Ve II. fázi studie se potom odebíraly vzorky na místech, kde bylo různé stáří vody. Tyto vzorky se potom vyhodnocovaly z hlediska fyzikálních, chemických a bakteriologických parametrů a byl zjišťován vztah mezi jakostí vody a jejím stářím. [16]

Pro účely studie byly vybrány dvě distribuční sítě. Síť (1) byla převážně ve městě, síť (2) měla vysoký podíl rozsahu mimo město. Dominantním materiálem v obou sítích byla litina (70 %). Ze sady dat byla odstraněna ta potrubí, kde docházelo ke stagnaci vody. Je známo, že stagnace vody v mrtvých koncích sítě jednoznačně ovlivňuje jakost vody, lze ji řešit proplachováním, a proto tyto části nebyly předmětem studie. Prostřednictvím simulačního modelu bylo zjištěno nejvyšší a také průměrné stáří vody pro každou síť. Výsledné hodnoty byly tříděny do věkových intervalů, jak je možné vidět na obrázku 1. [16]

Bylo zjištěno, že většina vody v síti (1) má průměrné stáří méně než 24 hodin, s maximálním průměrným stářím 122 hodin. Voda v síti (2) má průměrné stáří 100 hodin a maximální průměrné stáří 463 hodin. [16]



Obr. 1 Rozložení stáří v síti (1) a (2)

V I. fázi byly pro každou síť získány výsledky jakosti vody a byl proveden statistický souhrn za 6 let u vybraných ukazatelů – pH, zákal, chlor celkový i vázaný, koliformní bakterie, hliník, železo, mangan a další. Z údajů je zřejmé, že jakost vody v obou sítích byla na velmi vysoké úrovni, přesto síť (2) vykazovala horší výstupní hodnoty. Stáří vody v síti (2) bylo vyšší než v síti (1). Síť (2) vykazovala horší hodnoty koliformních bakterií, klostridií, zákalu a manganu, což jednoznačně poskytuje důkaz o vztahu mezi stářím a jakostí vody. Statistiky však naznačují,

že rozdělení stáří vody u horších vzorků je podobné, jako u vzorků s dobrým výsledkem a neprokazují tak významný rozdíl ve stáří vody. [16]

Ve II. fázi bylo odebíráno 130 vzorků týdně, 30krát intenzivněji, než ve fázi I. V této fázi nebyly zaznamenány žádné zvýšené detekce koliformních bakterií, bakterií *Escherichia coli*, fekálních streptokoků a dalších. Dále bylo pozorováno, že došlo k celkovému zvýšení hodnoty pH, vodivosti, teploty, zákalu a počtů kolonií kultivujících se po 5 a 7 dnech na všech trasách sítě. Došlo také k celkovému poklesu volného i celkového chloru a hliníku (původ pravděpodobně z úpravny vody) v celé délce sítě. V určitých trasách docházelo ke zvyšování a snižování železa a manganu. Bylo také zjištěno, že pokud došlo ke zvýšení více parametrů najednou, bylo to zpravidla u litinového potrubí. Výsledky také naznačují, že na celkovou jakost vody má vliv spíše skutečný stav jednotlivých potrubí, jejich interakce s vodou, stárnutí vody a způsob úpravy zdrojové vody. [16]

Studie dokazuje, že znalost stáří vody je užitečná pro celkové vyhodnocení sítě, protože však byly hodnoceny pouze dvě sítě, závěry nejsou definitivní. Samotné znalosti stáří vody nestačí k jednoznačnému popisu změn ve specifických parametrech, ale jsou užitečné pro vyhodnocení míst, kde by mohla být jakost vody narušena. Studie tedy odhalila nejednoznačné vztahy mezi stářím vody a hodnotami ukazatelů jakosti, nebyly ale nalezeny konkrétní parametry, které by vykazovaly určité vztahy. Stáří vody tedy nelze použít k vyjádření konkrétního ukazatele jakosti vody, jedná se však o užitečnou náhradu pro určení jakosti vody. [16]

2.4 VÝPOČET STÁŘÍ VODY

Stáří vody je funkcí především spotřeby vody, provozu a návrhu systému. Například společnost AWWA uvádí průměrné stáří vody 1,3 dne a maximální stáří vody 3,0 dny na základě průzkumu více než 800 amerických vodárenských společností. Tato doba může být různá v závislosti na tom, jakou metodou bylo stáří stanoveno. V současné době se jako metody stanovení stáří vody nejčastěji využívají trasovací metody za pomoci hydraulických modelů nebo hydraulické modely samotné. [9]

2.4.1 Trasovací metody

Trasovací metody odstraňují nevýhody hydraulických modelů, které mají vysoké náklady na vývoj a kalibraci. Studie chemických stopovacích látek poskytují levnější způsob odhadu stáří vody. Hydraulické modely a modely kvality distribučního systému jako je např. EPANET 2.2 zahrnují i možnost analýzy stáří vody. Praktické a spolehlivé simulace ale vyžadují velkou investici času a peněz pro kalibraci a ověření dosažených výsledků, zejména ve velkých a složitých systémech. Pro kalibraci hydraulických modelů se doporučuje studie stopovacích látek. Tyto stopovací látky mohou být použity samostatně k získání odhadu stáří vody na různých místech distribučního systému. Metodika pro provádění trasovacích studií

a interpretaci výsledků ještě nebyla vytvořena. Další problém může nastat v případě, že distribuční systém může mít více zdrojů pitné vody. Voda může být na různých místech směsíci těchto dvou i více zdrojů. Pokud by se na každé úpravně používal stejný chemický indikátor, není potom možné určit, z kterého zdroje voda pochází a nelze tak věrohodně stanovit její stáří. [18]

Střední doba zdržení vychází ze sledování zvyšující/snižující se koncentrace chemické látky, která je dodávána do upravené vody. Šířením chemické látky distribučním systémem dochází ke změnám koncentrace stopované látky na různých místech systému. Určující je tedy koncentrace látky na vstupu do sítě a naměřená nová koncentrace na daném místě. Typickou metodou trasování je uzavření přívodu fluoridu do sítě tak, aby jeho koncentrace náhle poklesla v síti a tato koncentrace byla měřitelná. Koncentrace fluoridu se ve vodě v čase snižuje. Čím delší je doba, po kterou každý objem vody teče na místo vzorkování střední doby zdržení, tím déle bude trvat, než se koncentrace sledovaného činidla sníží. Z toho lze vyhodnotit střední dobu zdržení (MRT = „mean residence time“) v kterémkoliv místě sítě pomocí vztahu:

$$MRT = \sum_0^n t_i \Delta F_i(t)$$

Kde i ... i -tý vzorek vody,

t_i ... čas od vstupu látky do sítě

$\Delta F_i(t)$... změna koncentrace trasované látky v časovém intervalu.

Do výpočtu průměrné doby zdržení se musí zahrnout i vliv časových změn v potřebě vody, promíchávání vody a další důležité provozní parametry jako je plnění a prázdnění vodojemů apod. Tato metoda stanovení střední doby zdržení je příznivá pro svou jednoduchost, nevýhodou je, že se vztahuje na analýzu krokové koncentrace látky. Okamžitého poklesu nebo nárůstu koncentrace je téměř nemožné dosáhnout. [18]

2.4.2 Hydraulické modely

Hydraulické modely umožňují matematicky vyjádřit dynamiku distribuční sítě pomocí velkého množství rovnic, které zahrnují zákon zachování hmotnosti a zákon zachování energie. V modelech jsou rovnice řešeny pomocí numerických metod. V současné době jsou pro simulaci chování vody v síti využívány softwarové produkty. Mezi tyto produkty patří například software EPANET, AQUIS, Infoworks, SynerGEE a další. Tyto softwary umožňují implementaci matematických modelů distribučních sítí. Kombinují fyzikální zákony a rovnice, které určují tlakové a průtokové poměry pro každý prvek v síti. [19] Modely často umožňují interakci a napojení na geografický informační systém (GIS). [20] Aby byl jakýkoliv hydraulický model užitečný pro obsluhu sítě, měl by obsahovat přesné informace o fyzikálních vlastnostech jednotlivých prvků a model by měl být kalibrován úpravou proměnných parametrů

modelu, dokud nebudou shodné simulované a přímo měřené veličiny, např. tlak, průtok. Modely musí být kalibrovány pro skutečné vyobrazení provozních charakteristik sítě. Proces kalibrace většinou vyžaduje velké množství dat, je časově a často i finančně náročný. [19]

Běžný simulační model distribuční sítě se skládá ze statistických informací o síti, jako jsou délky potrubí, průměry, drsnost, topologie, dále se potom skládá z informací o dynamických parametrech, například o rozložení potřeby vody, rozložení prvků jako jsou čerpadla, vodojemy a šoupátka. Časově závislé vztahy, jako je potřeba vody, se upravují pro různé typy odběratelů a přiřazují se do jednotlivých uzlů sítě. [19]

Na základě hydraulických modelů se tvoří hydraulická analýza vodovodní sítě, jejíž cílem je získání základních informací o síti, jako je tlak a průtok v jednotlivých částech sítě. Tyto informace potom slouží pro potřeby vodárenských společností pro provozování a řízení, projektování, rekonstrukce apod. [21]

Hydraulické modely můžeme rozlišovat podle typu úlohy a cílových dat, která chceme získat. Mezi základní analýzy tedy potom patří hydraulická analýza a kvalitativní analýza. Pro hydraulickou analýzu je potřeba základních znalostí hydrauliky a jejich aplikace do modelů sítě. V případě kvalitativní analýzy (jako je stanovení stáří vody, jakosti vody apod.) je třeba využívat širší znalosti o proudění a mísení kapalin a v neposlední řadě znalosti o chemických reakcích, které probíhají ve vodě. [21]

Modely vodovodních sítí můžeme dále rozlišit na dva typy. Prvním typem je model, který znázorňuje neexistující soustavu, s jehož pomocí můžeme navrhnout novou distribuční síť nebo rozšířit stávající. Druhým typem jsou modely na již existujících sítích, pomocí nichž můžeme simulovat různé provozní scénáře včetně detekce úniků vody ze sítě v kombinaci s měrnou kampaní na síti. [21]

Hydraulická analýza se rozlišuje podle toho, jaký časový krok je k simulaci využit, existují tři typy. V prvním případě se jedná o analýzu statickou, která znázorňuje pouze jeden daný časový úsek, který se nemění. Druhý typ je kvazi-dynamická analýza, která je založena na posloupnosti jednotlivých statických analýz pro určitý časový úsek. Třetím typem je analýza dynamická, která je posloupností opět statických analýz, časový krok je ale velmi krátký, zejména v sekundách. Poslední typ se nejčastěji využívá na simulaci vodních rázů. Pro účely vodovodních systémů a jejich řízení je vhodná kvazi-dynamická analýza, kde je časový krok zpravidla hodina a doba trvání simulace je např. týden, měsíc. [21]

2.5 UKAZATELE VYSOKÉHO STÁŘÍ VODY

Ukazatelů, které mohou značit vysoké stáří vody, existuje celá řada. Patří mezi ně organoleptické ukazatele, které může zaznamenat spotřebitel, a ukazatele, které se běžně v síti monitorují. Je třeba mít na paměti, že ukazatele mohou být vyvolány jinými faktory, než je stáří vody. Můžou být zapříčiněny nedostatečnou úpravou vody, materiálem a stářím potrubí a dalšími. [9]

2.5.1 Organoleptické ukazatele

Mezi organoleptické ukazatele řadíme:

- Chuť a pach – voda může být zatuchlá a díky vhodnému prostředí pro růst mikroorganismů voda může mít nepříznivý pach i chuť.
- Zákal – vlivem dlouhého zdržení vody se v potrubí hromadí sediment, který tento zákal vytváří. Během zvýšené potřeby nebo náhlé události dochází ke vznosu zákalu.
- Teplota vody – během dopravy vody v síti se teplota vyrovnává s teplotou okolní půdy a dochází tak jejímu nepříznivému zvýšení. [9]

2.5.2 Monitorovací ukazatele

Monitorovací ukazatele se získávají během odběru a analýzy vzorků vody. Patří mezi ně:

- Zvýšená hladina vedlejších produktů dezinfekce
- Biologické a mikrobiologické ukazatele
- Zvýšená hladina dusitanů a dusičnanů tzv. nitrifikace v chlorovaných systémech [9]

Vedlejší produkty dezinfekce (chlorace)

Chlorace je posledním krokem úpravy vody. Jejím použitím se zabezpečuje hygienická nezávadnost vody – odstraňují se choroboplodné zárodky jako jsou bakterie a viry. Chlorace může ale při určitých podmínkách vytvářet vedlejší produkty dezinfekce, které mohou mít vliv na zdraví spotřebitelů. Vedlejšími produkty chlorace jsou především trihalomethany a haloacetonové kyseliny. [22] Koncentrace vedlejších produktů chlorace závisí na mnoha faktorech. Tím nejvýznamnějším faktorem je doba kontaktu chloru s vodou, protože má za následek, vlivem nízké rychlosti a proudění, hromadění biofilmu v potrubí a jeho následnou zvýšenou aktivitu. Díky tomu dochází k rozpadu dezinfekce na vedlejší produkty a je potom možné při zjištění vedlejších produktů usuzovat, že kontakt vody s dezinfekčním prostředkem je delší a lze tak rozpoznat zvyšující se stáří vody. Je stále potřeba brát zřetel na to, že zvyšující se stáří vody není jedinou příčinou a je možné, že se jedná o kombinaci více faktorů jako je stáří potrubí, počáteční množství činnidla apod. [23]

Mikrobiologické a biologické ukazatele

Široce používaným měřítkem jakosti vody jsou počty kolonií (PK) kultivující se při teplotě 22 °C a 36 °C. Neočekávané změny v populacích bakterií při sledování PK mohou být známkou výskytu většího množství biofilmu nebo výsledkem náhlé události v síti, v současnosti se tyto bakterie používají jako obecný indikátor jakosti vody. Mezi faktory, které ovlivňují PK patří teplota, doba zdržení v síti (stáří vody), dávka dezinfekčního činidla, rychlost proudění, sedimenty a další. V minulosti byla zjištěna určitá závislost mezi PK v distribuční síti, teplotou a vzdáleností od zdroje zásobování. Ve vzorcích odebraných se sítě jsou analyzovány různé druhy mikrobiologických parametrů, mezi ty, které by mohly indikovat stáří vody, patří i bakterie *Aeromonas sp.* V minulosti byla zjištěna závislost mezi bakteriemi *Aeromonas sp.* a množstvím organického uhlíku ve vodě. Předpokládá se, že bakterie *Aeromonas sp.* se množí v sedimentu a biofilmu na stěně potrubí a jejich zvýšené počty korelují s vysokým stářím vody a teplotou. V minulosti byla prováděna studie zabývající se závislostí biologických ukazatelů, stářím vody a teplotou vody. Jedním z cílů studie bylo ověřit jednotlivé závislosti pomocí Holandských a Britských datových sad. Bylo zjištěno, že bakterie *Aeromonas sp.* (při 30 °C) nemají přímou závislost se stářím vody, mohou ale být nepřímo ovlivněny výměnnými procesy mezi sedimentem a biofilmem. Dále byl u bakterie *Aeromonas sp.* prokázán významný vliv teploty. Dalším indikátorem, který byl zkoumán, byly počty kolonií při různých teplotách. Ukázalo se, že KTJ při 37 °C a KTJ při 30 °C nerostou v distribučním systému ani nemají žádnou souvislost se stářím vody. U KTJ při 22 °C (kultivace 3 dny) byl zjištěn rychlý růst a možná spojitost se stářím vody i teplotou. U KTJ při 22 °C (kultivace 7 dní) byl zjištěn pomalý růst a omezený vztah ke stáří vody. [24]

2.6 SHRNU TÍ

Reakce, které probíhají v rozvodech pitné vody, mají kinetickou povahu a řídí se tedy časem. Žádná naměřená veličina ale nemůže být spojena s konkrétním stářím vody v aktuálním čase. Často se však předpokládá, že stáří vody může být určitým zástupcem jakosti vody. [16] Nelze tedy jednoznačně říct, že při konkrétním stáří dochází ke konkrétním změnám jakosti. Jedná se vždy o kombinaci mnoha faktorů a je třeba tyto faktory vyřešit a uvést je do správného kontextu vzhledem k výsledné jakosti vody.

3 SPOTŘEBA VODY Z VODOVODNÍ SÍTĚ

Celková spotřeba vody je charakterizována několika složkami spotřeby. Jedná se o spotřebu domácností, komerční a průmyslovou spotřebu a další. Spotřeba domácností zahrnuje také několik složek jako je voda na pití, vaření, praní, hygienu a další. Veřejná spotřeba vody zahrnuje vodu pro požární účely, údržbu silnic a veřejné zeleně, pro školy a další veřejné budovy. Komerční a průmyslová spotřeba vody zahrnuje vodu pro provoz podniků, obchodů, kanceláří a dalších. Celková spotřeba vody je na různých místech rozdílná a závisí na obyvatelstvu, zeměpisné poloze, podnebí, na průmyslové činnosti, množství obchodů nebo i na celkové ceně vody. Faktorů je velké množství. [25]

Spotřeba vody je číselně vyjádřena průměrnou denní spotřebou na obyvatele. Spotřeba vody může v některých rozvojových zemích dosahovat pouhých $15 \text{ l.os}^{-1}.\text{den}^{-1}$, světový průměr se odhaduje přibližně na $60 \text{ l.os}^{-1}.\text{den}^{-1}$. Na každém místě se spotřeba vody mění v průběhu sezóny, dne i hodiny. Např. pokud je horko, může spotřeba vody vzrůst až o 200 % průměrné spotřeby. Odběrové špičky během dne se nejčastěji vyskytují v ranních a podvečerních hodinách (19–21 h) v návaznosti na pracovní den. Naopak odběrová minima nastávají v brzkých ranních hodinách (2–4 h). Projektanti, kteří navrhují vodovodní systémy musí rozložení spotřeby věnovat velkou pozornost v závislosti na konkrétním spotřebišti a navrhnout tak efektivní systémy zásobování. [25] Po celém světě se hodnota spotřeby vody významně liší, v rámci této práce bude pozornost věnována pouze hodnotám v Evropě, které jsou pro tuto práci nejměrodatnější.

3.1 ROZDĚLENÍ SPOTŘEBY VODY DOMÁCNOSTÍ BĚHEM DNE

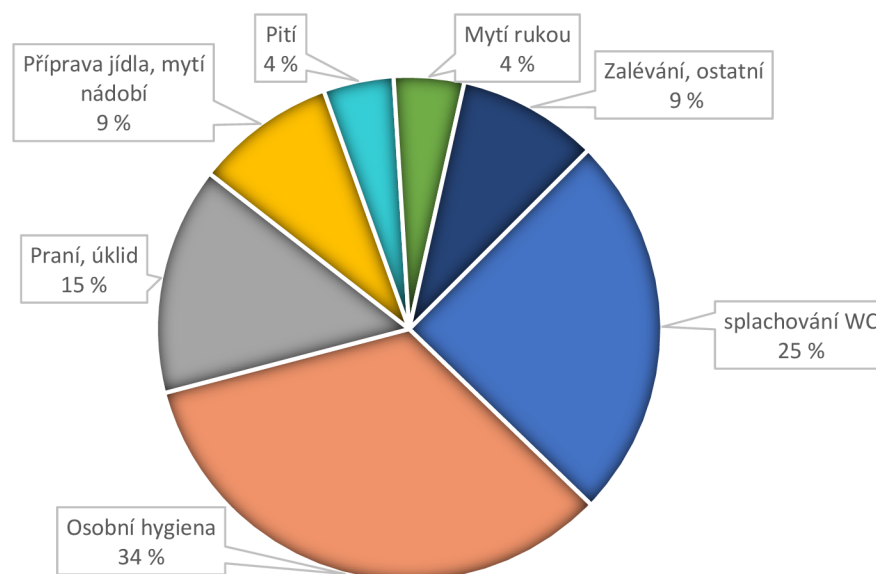
Spotřeba vody domácností se skládá z několika složek v závislosti na druhu činnosti. Například Severočeské vodovody a kanalizace uvádějí, že celková spotřeba vody na osobu a den byla v roce 2019 přibližně 89 litrů. Při ceně vodného a stočného 98,91 Kč včetně DPH stojí toto množství vody 8,80 Kč.os⁻¹.den⁻¹. Následující tabulka a graf znázorňují rozdělení spotřeby vody v průměrné domácnosti. Hodnoty v grafu jsou pouze orientační, skutečná spotřeba v konkrétní domácnosti se od uvedených hodnot může lišit. [26]

Z grafu č. 1 je patrné, že ačkoliv se můžou jednotlivé hodnoty rozdělení lišit, pořád bude v celkové spotřebě během dne převládat spotřeba na splachování WC a osobní hygienu.

Tab. 1 Spotřeba vody v domácnosti [26]

	Průměrné denní hodnoty v litrech	Průměrné denní hodnoty v Kč
Splachování WC	22	2,18
Osobní hygiena	30	2,98
Praní, úklid	13	1,29
Příprava jídla, mytí nádobí	8	0,79
Pití	4	0,39
Mytí rukou	4	0,39
Zalévání, ostatní	8	0,79
Celkem:	89	8,80

Graf č. 1 Rozdělení spotřeby vody domácnosti [26]



3.2 SPOTŘEBA VODY V ČESKÉ REPUBLICE

V rámci České republiky byla provedena analýza vývoje jednak specifické spotřeby vody a také vývoje cen vodného a stočného pro kraje za rok 2019 a také pro celou Českou republiku od roku 1996 až do roku 2019 prostřednictvím Českého statistického úřadu (ČSÚ). Data byla potom porovnána s průměrnou hrubou měsíční mzdou v daném roce. Je zajímavé pozorovat, jak se jednotlivé hodnoty vyvíjely v průběhu let.

Tab. 2 Srovnání spotřeby vody, ceny vodného a stočného v krajích v roce 2019 [27]

Území, kraj	Specifické množství vody fakturované celkem [l.os ⁻¹ .den ⁻¹]	Specifické množství vody fakturované domácnostem [l.os ⁻¹ .den ⁻¹]	Cena vody [Kč.m ⁻³ bez DPH]	Cena stočného [Kč.m ⁻³ bez DPH]	Cena vody a stočného [Kč.m ⁻³ bez DPH]
Česká republika	133,8	90,6	39,3	34,7	74,0
Hl. město Praha	172,8	113,1	42,7	35,3	78,0
Středočeský	126,9	89,7	41,9	34,2	76,1
Jihočeský	125,6	82,3	37,6	29,9	67,5
Plzeňský	136,7	86,9	40,8	30,5	71,3
Karlovarský	135,2	86,5	40,1	36,8	76,9
Ústecký	130,0	93,0	44,2	41,8	86,0
Liberecký	127,8	89,2	44,8	42,9	87,7
Královéhradecký	125,9	84,6	36,1	35,6	71,7
Pardubický	123,2	80,2	35,9	37,3	73,2
Vysočina	121,8	81,4	38,5	28,8	67,3
Jihomoravský	135,7	92,9	36,1	36,2	72,3
Olomoucký	121,7	84,3	34,1	33,9	68,0
Zlínský	116,7	78,7	37,2	32,0	69,2
Moravskoslezský	129,2	89,6	36,2	32,9	69,1

Z tabulky 2 lze vidět, že Hl. město Praha má nejvyšší specifické množství vody fakturované celkem i domácnostem. Nejvyšší cenu vodného a stočného má Liberecký kraj. Naopak nejlépe je na tom Zlínský kraj, co se týče specifického množství vody fakturovaného celkem i domácnostem. Nejlepší cena vodného a stočného je v kraji Vysočina. [27]

Tabulka 3 znázorňuje vývoj specifické spotřeby vody fakturované celkem a domácnostem a dále vývoj cen vodného a stočného od roku 1996 až po rok 2019. Z informací o vývoji ceny byla pro každý rok stanovena doba v hodinách, kterou musí člověk pracovat, aby si vydělal na 1 m³ vody.

Z grafu č. 2 lze dobře vidět, jak se v průběhu let snižuje specifická spotřeba vody fakturované celkem (snižování o 61 l.os⁻¹.den⁻¹) a domácnostem (snižování o necelých 25 l.os⁻¹.den⁻¹). Od roku 2015 lze pozorovat zpomalení ve snižování spotřeby, a naopak lze vidět nepatrný nárůst

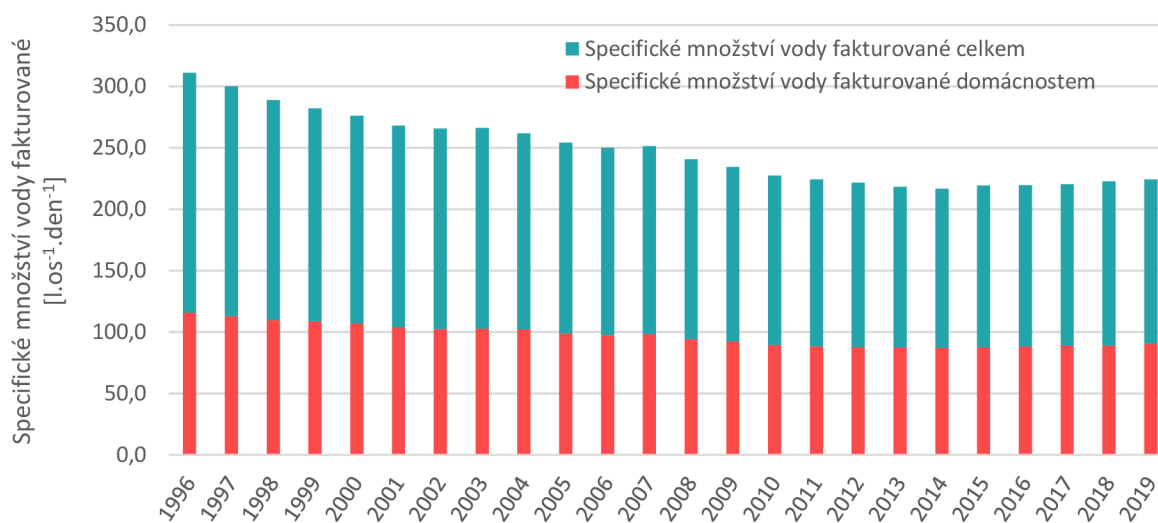
specifické spotřeby vody. Se snižující se specifickou spotřebou vody fakturované se ale pravidelně v celém časovém období zvyšují ceny vodného i stočného (méně vody za více peněz), to lze pozorovat v grafu č. 3. V grafu č. 4 můžeme vidět výsledek úvahy, jak dlouho v každém roce musel člověk pracovat, aby si vydělal na jeden kubík vody. Nejhůře od roku 1996 na tom byl spotřebitel v roce 2014, kdy musel pracovat bezmála 2 hodiny, naopak nejlépe se dařilo v roce 1997, kdy spotřebitel musel pracovat cca. 1,5 hodiny. K této hodnotě v posledních letech směřujeme a cena vody vzhledem k průměrné hrubé mzdě klesá.

Tab. 3 Srovnání spotřeby vody, ceny vodného a stočného v ČR 1969-2019 [28]

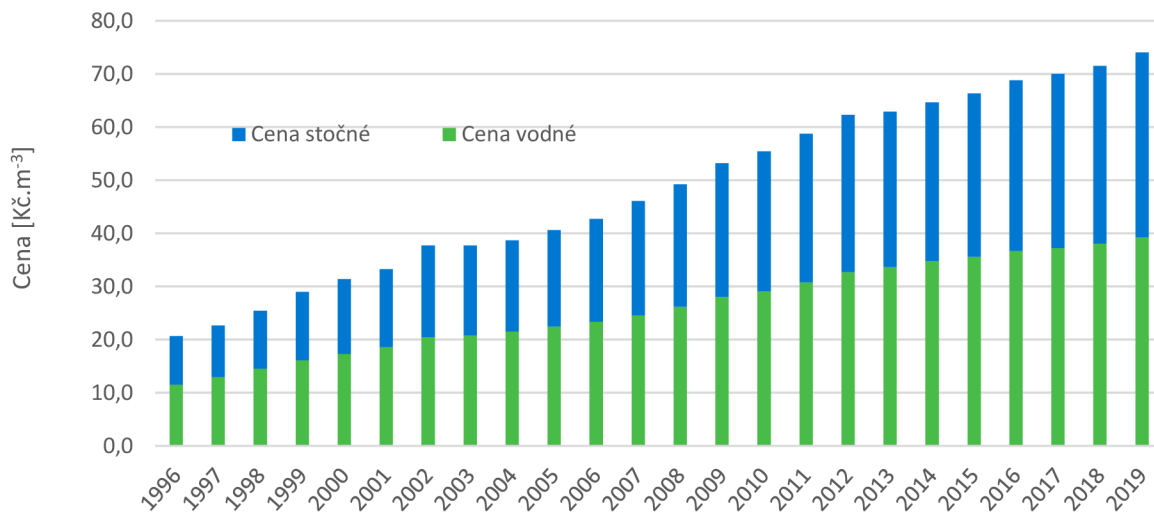
rok	Specifické množství vody fakturované domácnostem [l.os ⁻¹ .den ⁻¹]	Specifické množství vody fakturované celkem [l.os ⁻¹ .den ⁻¹]	Cena vody [Kč.m ⁻³ bez DPH]	Cena stočného [Kč.m ⁻³ bez DPH]	Cena vody a stočného [Kč.m ⁻³ bez DPH]	Průměrná hrubá měsíční mzda [Kč]	Doba práce na výdělek 1 m ³ vody ¹⁾ [h]
1996	116,0	195,0	11,5	9,2	20,7	9 825	1,54
1997	113,0	187,0	13,0	9,7	22,7	10 802	1,53
1998	110,0	179,0	14,5	10,9	25,4	11 801	1,58
1999	109,0	173,0	16,1	12,9	29,0	12 797	1,66
2000	107,0	169,0	17,3	14,1	31,4	13 594	1,69
2001	104,0	164,0	18,6	14,7	33,3	14 750	1,65
2002	102,6	163,2	20,5	17,2	37,7	15 911	1,73
2003	102,9	163,3	20,8	16,9	37,7	16 905	1,63
2004	102,4	159,3	21,5	17,2	38,7	18 025	1,57
2005	98,9	155,3	22,5	18,1	40,6	18 283	1,63
2006	97,5	152,6	23,4	19,3	42,7	19 447	1,61
2007	98,5	152,9	24,6	21,5	46,1	20 927	1,61
2008	94,2	146,4	26,2	23,0	49,2	22 653	1,59
2009	92,5	142,0	28,1	25,1	53,2	23 425	1,66
2010	89,5	137,9	29,1	26,3	55,4	23 903	1,70
2011	88,6	135,8	30,8	27,9	58,7	24 466	1,76
2012	87,9	133,7	32,7	29,6	62,3	25 112	1,82
2013	87,2	131,2	33,7	29,2	62,9	25 128	1,83
2014	87,3	129,5	34,8	29,8	64,6	25 686	1,84
2015	87,9	131,5	35,6	30,7	66,3	26 467	1,83
2016	88,3	131,2	36,7	32,1	68,8	27 589	1,83
2017	88,7	131,7	37,2	32,8	70,0	29 504	1,74
2018	89,2	133,5	38,1	33,4	71,5	31 868	1,64
2019	90,6	133,8	39,3	34,7	74,0	34 125	1,59

¹⁾ doba práce je vztažená na průměrný měsíc o délce 30,5 dne

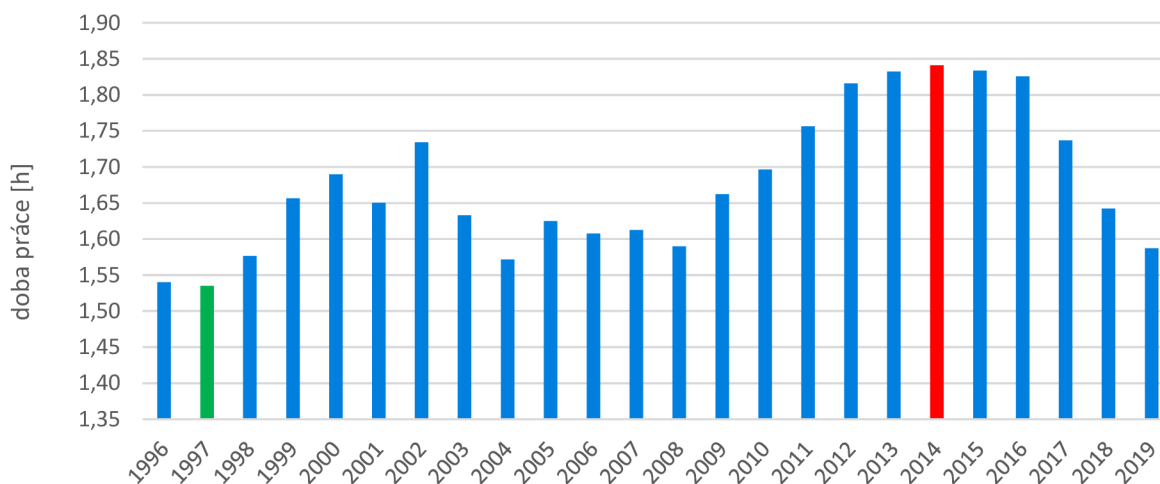
Graf č. 2 Vývoj specifického množství vody fakturované 1996–2019 [28]



Graf č. 3 Vývoj cen vodného a stočného 1996–2019 [28]



Graf č. 4 Doba práce potřebná na výtěžek 1 m³ vody 1996–2019 [28]



3.3 SPOTŘEBA VODY V EVROPĚ

V Evropě je spotřeba vody v řadě zemí odlišná, mohlo by se zdát, že tam kde je dostatek zdrojů pitné vody je i vysoká spotřeba. V mnoha zemích jižní Evropy je sucho, a i přes tento fakt mají mnohem vyšší spotřebu, než by se dalo očekávat, např. Španělsko 139 litrů, Portugalsko 204 litrů nebo Itálie 245 litrů na osobu a den. Ve srovnání s Českou republikou jsou hodnoty těchto zemí poměrně vysoké. Nejvyšší spotřebu v Evropě má Švýcarsko - 307 litrů na osobu a den. Nejnižší spotřebu vody má Estonsko - 78 litrů na osobu a den. [29]

Tab. 4 Vývoj specifické spotřeby vody a cen v evropských zemích 2018

Země	Specifická spotřeba vody [l.os ⁻¹ .den ⁻¹]	Cena vodné a stočené [Kč.m ⁻³ s DPH]	Medián hrubé hodinové mzdy [Kč.h ⁻¹]	Doba práce na 1 m ³ vody ¹⁾ [h]
Estonsko	78,0	82,6	170	0,48
Slovensko	79,0	62,7	147	0,43
Malta	79,4	86,8	260	0,33
ČR	88,3	85,5	161	0,53
Polsko	94,1	56,2	130	0,43
Maďarsko	95,0	69,3	114	0,61
Belgie	96,0	118,4	470	0,25
Slovinsko	102,3	56,7	210	0,27
Dánsko	104,0	235,3	712	0,33
Finsko	119,0	154,0	457	0,34
Německo	122,0	156,8	450	0,35
Nizozemí	126,0	102,2	433	0,24
Rakousko	135,0	95,9	399	0,24
Rumunsko	136,0	37,1	98	0,38
Lucembursko	137,0	150,3	512	0,29
Španělsko	139,0	46,5	263	0,18
Velká Británie	139,0	92,5	397	0,23
Norsko	140,0	149,0	687	0,22
Švédsko	140,0	116,1	475	0,24
Francie	143,0	102,5	401	0,26
Kypr	149,0	75,8	219	0,35
Řecko	150,0	36,6	183	0,20
Chorvatsko	150,0	51,8	x	x
Portugalsko	204,0	47,6	140	0,34
Itálie	245,0	39,2	330	0,12
Švýcarsko	307,0	54,9	x	x

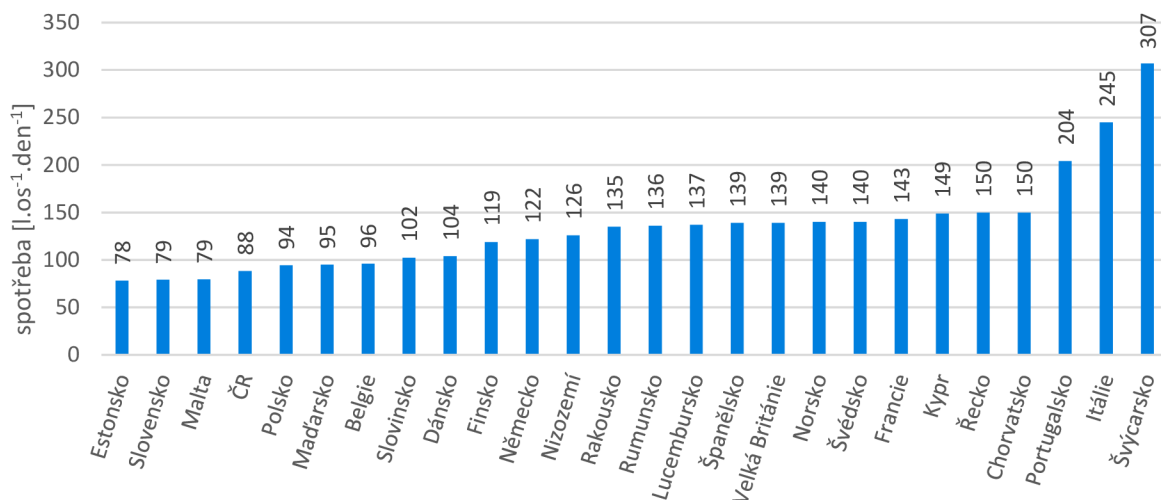
¹⁾ doba práce je vztažená na medián hrubé hodinové mzdy

*) 1 euro = 26,14 Kč

x = nenalezená hodnota

Data o spotřebě vody v Evropě za rok 2018 lze přehledně vidět na grafu č. 5 (výchozí je tabulka č. 4). Česká republika je čtvrtá v pořadí s nejnižší spotřebou vody 88,3 litrů na osobu a den.

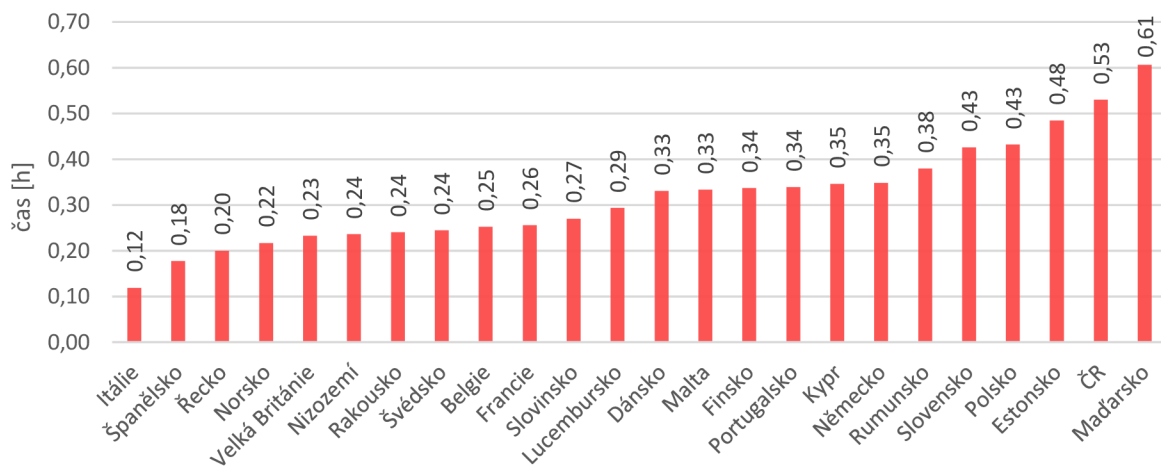
Graf č. 5 Spotřeba pitné vody v Evropě 2018 [29]



Z údajů o cenách vody za 1 m³ vyplývá, že Česká republika se řadí na 14. místo v Evropě. Průměrný Čech zaplatí za jeden kubík vody 3,27 eura (85,3 Kč; 1€=26,09 Kč) a řadí se tak do cenového průměru v Evropě. [29] Mnohem zajímavější je ale přepočtení vzhledem k mediánu hrubé hodinové mzdy (graf č. 6), tam už si ČR nevede tak dobře. Pokud se srovná cena za kubík a medián hrubé hodinové mzdy (Eurostat) zjistí se, že průměrný Čech je druhý v pořadí, který musí pracovat nejdéle (necelých 32 minut), aby si na tento kubík vydělal. Na první místo se řadí Maďarsko, kde musí člověk pracovat necelých 37 minut.

Lze provést i srovnání vzhledem k životní úrovni obyvatel, tedy vzhledem k HDP na obyvatele, v tomto ohledu se v Česku platí devátá nejnižší částka za vodu (105,63 eur za rok) a řadí se tedy do průměru. Nejvíce zaplatí např. v Dánsku (341,64 eur za rok) a nejméně na Slovensku (69,2 eur za rok). [29]

Graf č. 6 Doba práce potřebná na zaplacení 1 m³ vody 2018



*) Vztaheno na medián hrubé hodinové mzdy

V grafu č. 4 je doba práce na kubík vztažena na průměrnou hrubou měsíční mzdu. Tato mzda byla rozdělena na hodiny v průměrném měsíci o délce 30,5 dne. V grafu č. 6 je doba práce na výdělek kubíku vztažena na medián hrubé hodinové mzdy. Z tohoto důvodu je v grafu č. 4 délka práce pro rok 2018 1,64 h a v grafu č. 6 0,53 h. Evropské země nebylo možné porovnat na základě průměrné hrubé měsíční mzdy, protože nebyla pro jednotlivé země nalezena.

Z uvedených grafů a poznatků vyplývá, že nezáleží na tom, kolik lidé vydělávají, nebo kolik zaplatí za kubík vody, jejich spotřeba vody je dána způsobem života a stavem vodohospodářské infrastruktury. Při aktuální změně klimatu přichází v celé Evropě nová tendence šetřit s vodou a přizpůsobovat tomu vodohospodářskou infrastrukturu. Otázkou do diskuse je, zda toto snižování spotřeby v Evropě, a především v České republice, bude mít negativní dopad na jakost vody v distribučních systémech.

4 ANALÝZA STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI

Tato kapitola obsahuje informace o zájmovém území a popis celého distribučního systému. Bude zde podrobně rozebrána simulace stáří vody jednak za současného stavu a jednak ve stavu, kdy se sníží nebo zvýší spotřeba vody. Celá lokalita i skupinový vodovod zůstanou anonymizovány, protože jsou součástí dosud nedokončeného výzkumu.

4.1 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

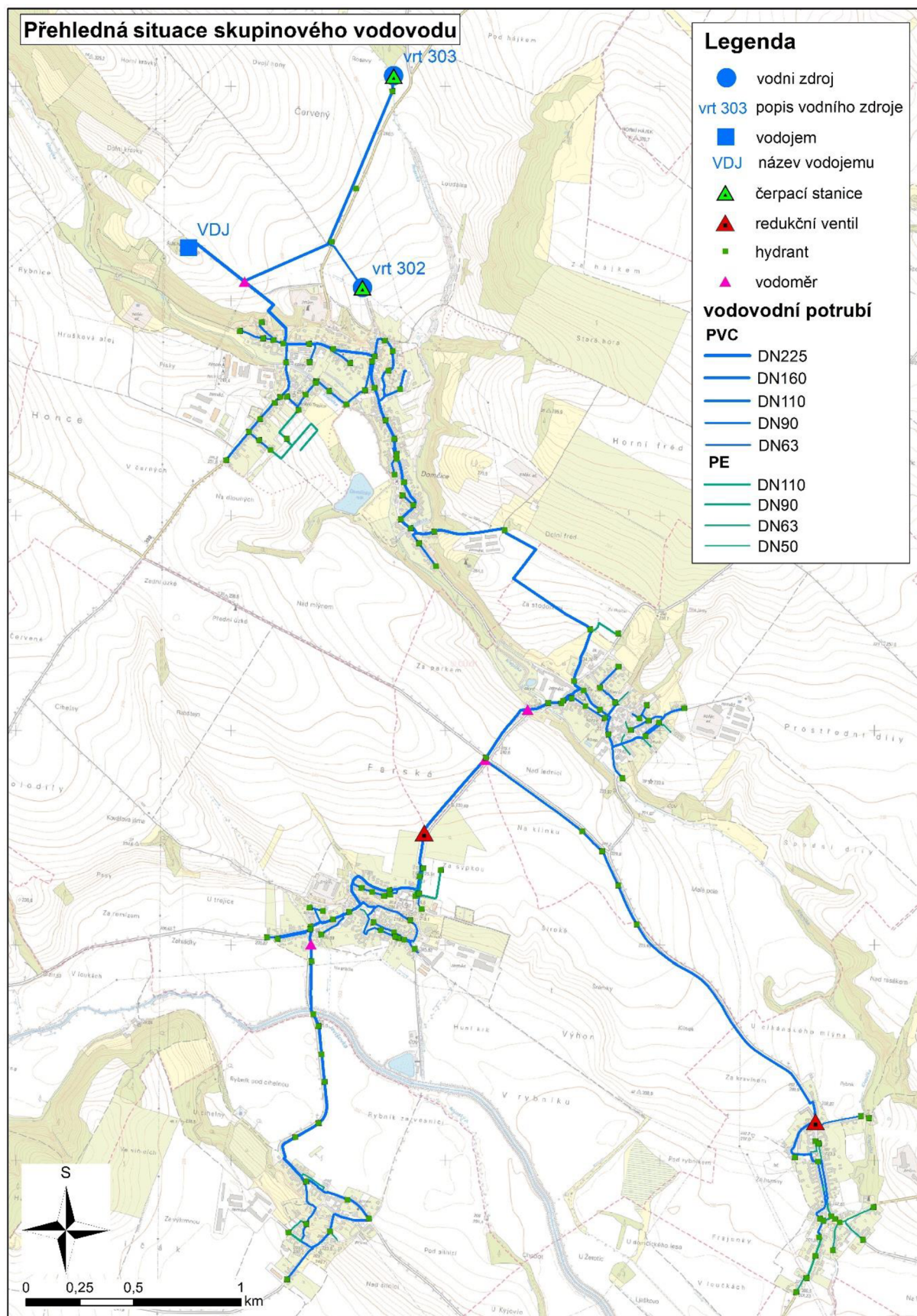
Jedná se o skupinový vodovod, který zásobuje dle Českého statistického úřadu 1653 obyvatel (celkem 5 obcí). Charakter zástavby je v celé lokalitě vesměs venkovský až na několik bytových domů, které ale nemají více než dvě podlaží. V lokalitě jsou odběratelé občanské vybavenosti, mezi které patří mateřská a dvě základní školy, obecní úřady zásobovaných obcí a malé soukromé podniky. V lokalitě se nenachází žádný velkoodběratel se spotřebou větší než $0,1 \text{ l.s}^{-1}$. Většinu odběrů tvoří domácnosti. [30]

Vodním zdrojem skupinového vodovodu jsou dvě vrtané studny, jejichž vydatnosti jsou následující:

- Vrt HV302 $Q = 1,1 \text{ l.s}^{-1}$
- Vrt HV303 $Q = 6,0 \text{ l.s}^{-1}$

Jímaná voda z obou vrtů je čerpána výtlačným řadem délky 1,9 km z potrubí PVC DN160 do zemního vodojemu o objemu $2 \times 400 \text{ m}^3$ s horní provozní hladinou na kótě 285,22 m n. m. Z vodojemu je potom voda gravitačně vedena do rozvodné sítě. Rozvodná síť je budována v průběhu let až do roku 2004, převažujícím materiálem je PVC, v menší míře se vyskytuje i PE potrubí o vnějších průměrech 225, 160, 110, 90, 63 a 50 mm. Kovové materiály potrubí se zde nevyskytují. [30]

Celý skupinový vodovod je členěn na tři tlaková pásma (dále jen TP). První TP1 je řízeno polohou hladiny ve VDJ, další dvě tlaková pásma TP2 a TP3 jsou regulována pomocí regulačního ventilu s nastaveným konstantním výstupním tlakem. Na síti jsou umístěny podzemní hydranty a sekční uzávěry pro možnost uzávěry jednotlivých řadů. Dále jsou na síti fakturační vodoměry pro měření spotřeby vody v jednotlivých obcích zásobovaných skupinovým vodovodem. Celková délka rozvodné sítě je 23,8 km bez uvažování vodovodních přípojek. [30]



Obr. 2 Přehledná situace skupinového vodovodu

4.2 HYDRAULICKÝ SIMULAČNÍ MODEL

Pro provedení analýzy stáří vody ve skupinovém vodovodu bylo třeba sestavit hydraulický model. Předmětem této práce je analýza stáří vody ve spotřebiči, nikoliv tvorba samotného modelu, proto byl hotový kalibrovaný a verifikovaný model sítě dodán vedoucím práce. V minulosti model sloužil pro vyhodnocení technického stavu ve spotřebiči a některé údaje z tohoto vyhodnocení budou použity jako podklady této práce.

V modelu jsou obsažena všechna tlaková pásma a objekty (VDJ a regulační ventily), neobsahuje vodovodní přípojky a vnitřní vodovody. Model byl kalibrován na základě měření tlaků a průtoků na vybraných místech, kalibrace proběhla pro 24 časových kroků. Model tedy reprezentuje chování vodovodní sítě během jednoho dne bez rozlišení dnů pracovního klidu. [30]

4.2.1 Stávající stav a spotřeba vody

Pro stanovení jednotlivých tlakových pásem je nutná znalost kót hladin na výstupu z tlakově řídicího bodu. Hladiny jsou následující:

- VDJ 283,47 m n. m.
- RV1 254,78 m n. m.
- RV2 241,60 m n. m.

V rámci stanovení spotřeby vody byla síť rozdělena s použitím průtokoměrů na tři měrné okrsky (MO), které jsou skoro totožné s tlakovými pásmy. Naměřená data z průtokoměrů byla exportována v podobě hodinových průměrů a použita pro analýzu spotřeby vody v tlakových pásmech. Na základě analýzy byly stanoveny odběrové křivky pro každý měřicí okrsek, které vyjadřují časový průběh spotřeby za jeden den. Odběrové křivky byly následně vloženy do simulačního modelu.

Uzlové odběry znázorňují odběr vody domácnostmi, průmyslem, občanskou vybaveností a přímé ztráty ze sítě. [30]

Tab. 5 Přehled spotřeby vody v jednotlivých MO [30]

Měřicí okrsek (MO)	Q_p [$l \cdot s^{-1}$]	Q_d [$l \cdot s^{-1}$]	Q_h [$l \cdot s^{-1}$]	délka sítě [m]
MO1	1,27	289,20	5,63	10 038
MO2	0,66	125,60	2,97	7 208
MO3	0,20	55,10	2,00	4 659
Výtlačný řad do VDJ	0,09	-	-	1 889
Celkem	2,22	-	-	23 794

4.2.2 Koeficienty nerovnoměrnosti spotřeby vody

Pro každý časový krok během dne byl stanoven koeficient nerovnoměrnosti odběru vody v závislosti na měrném okrsku. Koeficienty byly stanoveny bez rozlišení pracovních dnů a dnů pracovního klidu. Hodnoty byly následně vloženy do modelu. [30]

Tab. 6 Koeficienty nerovnoměrnosti odběru vody pro jednotlivé MO [30]

Hodina/číslo křivky	1	2	3	4
0-1	0,40	0,60	0,36	1,00
1-2	0,37	0,52	0,32	1,00
2-3	0,41	0,49	0,29	1,00
3-4	0,47	0,50	0,31	1,00
4-5	0,65	0,57	0,48	1,00
5-6	0,87	0,69	0,66	1,00
6-7	1,06	0,85	0,94	1,00
7-8	1,21	1,02	1,11	1,00
8-9	1,31	1,13	1,19	1,00
9-10	1,24	1,20	1,17	1,00
10-11	1,19	1,25	1,09	1,00
11-12	1,18	1,22	1,10	1,00
12-13	1,16	1,17	1,14	1,00
13-14	1,11	1,10	1,21	1,00
14-15	1,10	1,10	1,14	1,00
15-16	1,17	1,12	1,26	1,00
16-17	1,24	1,18	1,34	1,00
17-18	1,37	1,23	1,46	1,00
18-19	1,58	1,28	1,69	1,00
19-20	1,58	1,48	1,84	1,00
20-21	1,24	1,45	1,51	1,00
21-22	0,93	1,19	1,10	1,00
22-23	0,68	0,95	0,78	1,00
23-24	0,48	0,72	0,53	1,00

4.2.3 Hydraulická drsnost potrubí

Byly stanoveny hydraulické ztráty třením po délce dle vztahu Darcy-Weisbach a počítá se s nimi i v modelu. Na základě stáří potrubí a jeho materiálu byla stanovena absolutní drsnost „k“ pro každý úsek, v hodnotách jsou zahrnuty i místní ztráty. [30]

Tab. 7 Hydraulická drsnost "k" podle materiálu a stáří potrubí [30]

Materiál / rok položení	≤ 1950	1951–1960	1961–1970	1971–1980	1981–1990	1991–2000	2001–2017
PE	x	0,24	0,22	0,19	0,17	0,14	0,11
PVC	x	x	0,29	0,28	0,27	0,26	0,25

x = materiál nebyl položen v daném období

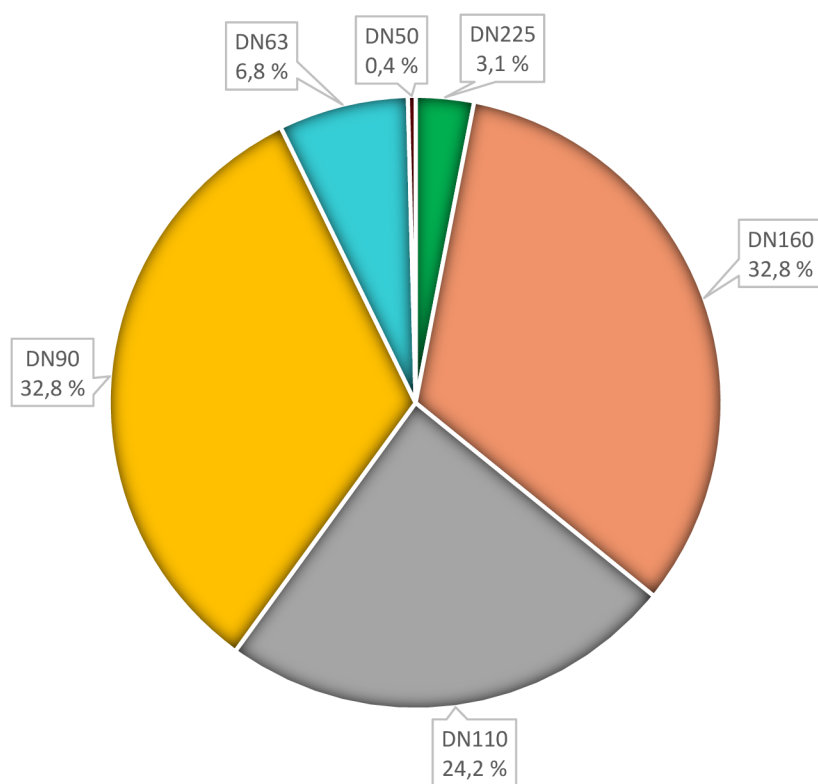
4.2.4 Profily, materiál a stáří potrubí

V síti se vyskytují jen 2 materiály – PE a PVC. PE zaujímá pouze 13,5 % délky a PVC 86,5 %. Profily úseků, materiál a rok položení jsou zřejmé z následujících tabulek: [30]

Tab. 8 Délka potrubí dle DN a materiálu [30]

Materiál / DN	225	160	110	90	63	50	Celkem [m]
PE	0	0	13	1 771	1 334	96	3 215
PVC	729	7 800	5 735	6 022	294	0	20 579
Celkem [m]	729	7 800	5 747	7 794	1 628	96	23 794

Graf č. 7 Délka potrubí dle dimenze



Tab. 9 Délka potrubí dle stáří [30]

MAT/ROK	1990–1999	2000–2009	2010–2019	neuveveno	Celková délka [m]
PVC	9 282	10 298	0	1 000	20 580
PE	469	1 906	702	137	3 214
Celkem [m]	9 751	12 203	702	1 138	23 794

4.3 ANALÝZA STÁŘÍ VODY VE VODOVODNÍ SÍTI SKUPINOVÉHO VODOVODU

V této kapitole jsou prezentovány výsledky prací, které byly získány analýzou stáří vody ve spotřebiči za pomoci softwaru EPANET 2.2. V analýze byl modelován průměrný roční stav sítě, tedy stav, pro který byl model vytvořen, dále stav nižší spotřeby vody v zimě a stav vyšší spotřeby vody v létě. Pro analýzu byla stanovena doba simulace 336 hodin, tedy 14 dní. V modelu se nacházejí mrtvé konce sítě, které nemají žádný odběr. Stáří v těchto úsecích je vždy stejné, jako doba simulace, protože se objem vody v potrubí neobměňuje. Tyto úseky byly i přes zřejmou příčinu vysokého stáří vody zahrnuty do výpočtu.

Pro rozlišení různých stavů spotřeby vody bylo v modelu pracováno s hodnotou koeficientu demand multiplier. Tento faktor upravuje spotřebu vody, která následně vstupuje do výpočtu stáří vody. Hodnoty demand multiplier byly zjištěny na základě objemu vody, který byl odebrán ze zdroje za rok 2018, tedy z vrtů HV302 a HV303. Pro období s nižší spotřebou, tedy v zimě, byly brány průměrné hodnoty za leden a únor, pro období se zvýšenou spotřebou vody v létě byly brány průměrné hodnoty za červenec a srpen.

Tab. 10 Měsíční odběry z vrtů HV302 a HV303 za rok 2018

	leden	únor	březen	duben	květen	červen	červenec	srpen	září	říjen	listopad	prosinec	Průměr
Součet [m ³ .rok ⁻¹]	6304 ¹⁾	3900 ¹⁾	6767	6168	6528	7743	5840 ²⁾	7666 ²⁾	6907	4519	5235	5030	6051

¹⁾ hodnoty vstupující do výpočtu demand multiplier v zimě

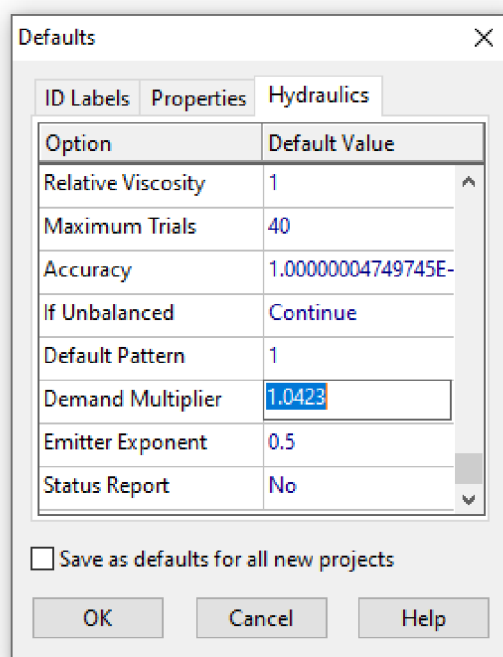
²⁾ hodnoty vstupující do výpočtu demand multiplier v létě

Celkový průměr odběrů za celý rok je brán jako 100 %. Tomuto průměru, tedy současnému stavu v modelu, odpovídá demand multiplier 1,0423. Na základě jednoduché trojčlenky lze určit i hodnoty demand multiplier pro letní a zimní období.

Tab. 11 Stanovení demand multiplier pro jednotlivá období

Období	Průměr [m ³ .měsíc ⁻¹]	%	Demand multiplier [-]
Roční průměr	6051	100	1,042
Leden, únor (zima)	5102	84	0,876
Červenec, srpen (léto)	6753	112	1,167

Pro spuštění analýzy stáří vody je tedy třeba měnit pro každou modelovou situaci spotřeby vody demand multiplier, který aktuální spotřeby navýší nebo sníží viz. Tabulka 11.



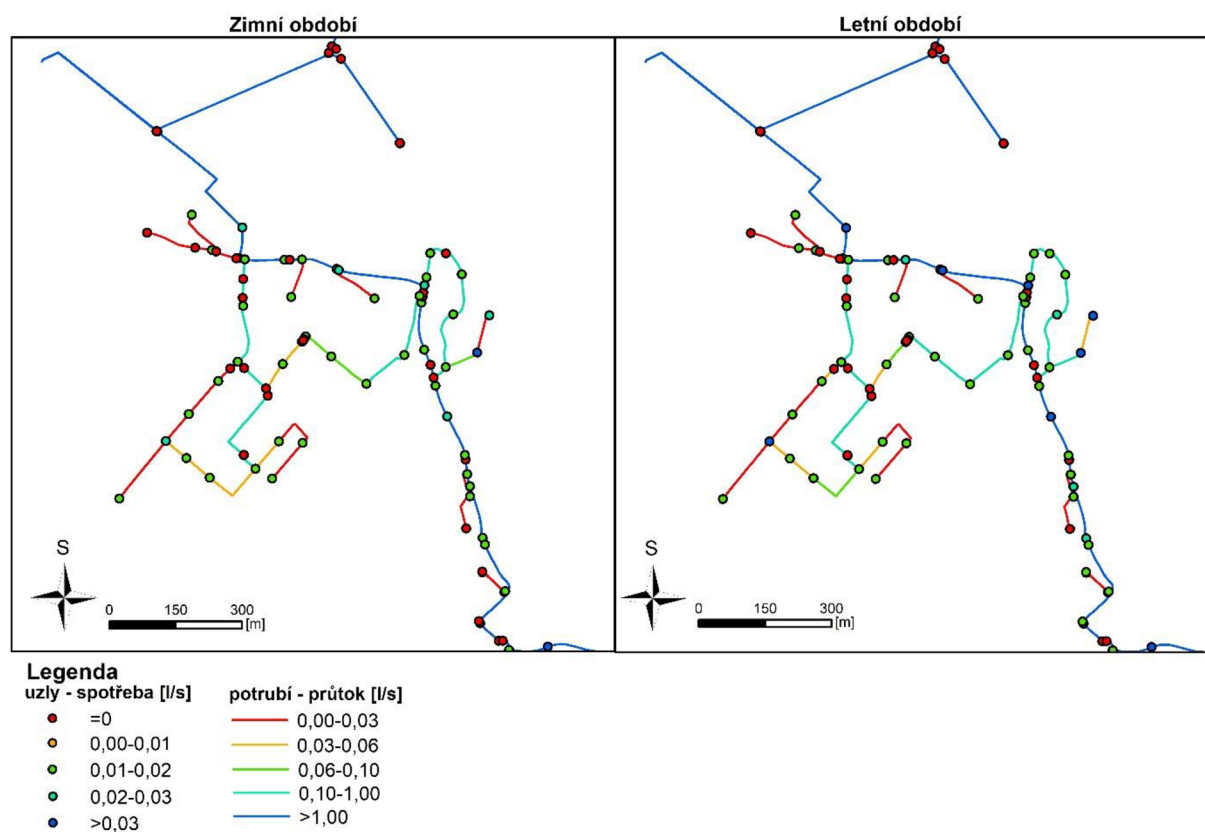
Obr. 3 Rozhraní programu EPANET 2.2. – demand multiplier

V EPANETu lze nastavit druh statistiky, kterým lze vyjádřit výsledky. V tomto případě byly zvoleny maximální hodnoty pro lepší vyjádření každé veličiny.

Spuštěním analýzy v každém simulovaném období se vypočte stáří vody v uzlech, rychlost proudění, průtok a stáří v úsecích v závislosti na spotřebě vody v simulovaném období. Tyto výsledky byly exportovány pro další zpracování dat jednak do MS Excel, a pro zpracování grafických výsledků do programu ArcMap.

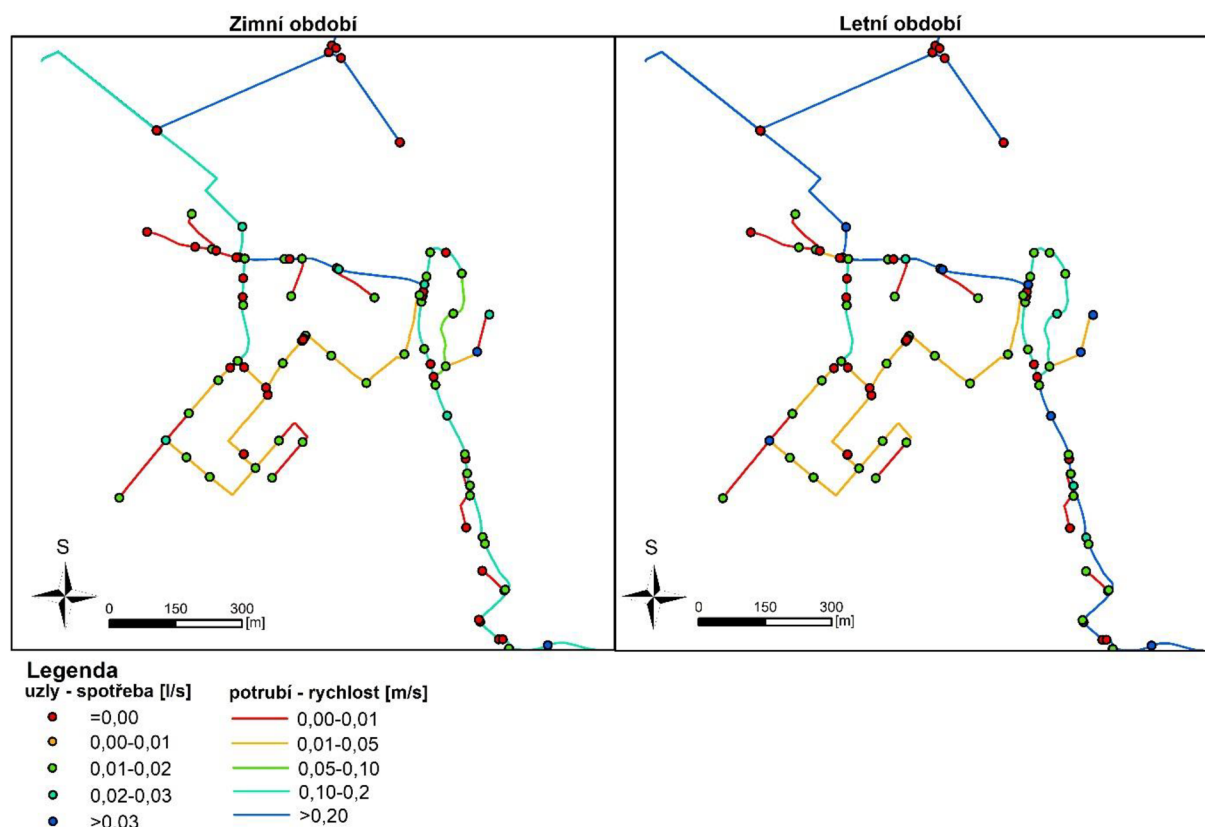
Stáří vody bylo ve všech případech počítáno jako doba, za kterou voda v systému putuje od zdrojového vrtu (HV302, HV303) přes vodojem až do vybraného (analyzovaného) místa – uzlu, úseku. Ve zdrojovém vrtu je tedy stáří vody nulové.

Na obrázku 4 je názorně zobrazeno, jak se změní hodnoty průtoku v potrubí a hodnoty spotřeby v uzlech v měrném okrsku č. 1., pokud je v modelu změněn demand multiplier. V zimě (levá část obrázku) se sníží spotřeba, tím dochází i ke snížení průtoku v potrubí. Naopak při vyšší spotřebě v létě se navyšuje i průtok (pravá část obrázku). Potrubí, která jsou vyznačena červeně, jsou ve většině případů mrtvé konce sítě, kde je zpravidla velmi malý nebo žádný odběr z uzlu. Naopak kmenové potrubí je celé modré, protože je v něm dostatečný průtok. Obecně platí závislost, že čím menší je odběr z uzlu, tím menší je i průtok v potrubí.



Obr. 4 MO 1 - schéma spotřeby vody v uzlech a průtoku v potrubí

Na obrázku 5 je znázorněna závislost rychlosti proudění v potrubí a velikosti odběru v uzlu v měrném okrsku č. 1. V zimním období, kdy je odběr v uzlech nižší, je i rychlost proudění nízká. V létě, kdy je odběr vyšší, je i oproti zimnímu období rychlost proudění vody v potrubí vyšší. I v této závislosti lze pozorovat mrtvé konce sítě (červená barva), kde je velmi nízký nebo nulový odběr. V těchto částech je rychlost proudění vždy velmi nízká a vyskytuje se zde velmi vysoké stáří vody. Protože hydraulická simulace vychází z hydraulických podmínek proudění vody v potrubí, musí platit přímá úměrnost mezi odběrem (průtokem) a rychlostí proudění a nepřímá úměrnost mezi odběrem a stářím vody.



Obr. 5 schéma spotřeby vody v uzlech a rychlosti v potrubí

Podrobné výsledky simulace a vyhodnocení bude provedeno v následující kapitole.

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

Z provedené analýzy bylo zjištěno, že nejvyšší stáří pro všechny tři simulovaná období roku s rozdílnou spotřebou vody se vyskytuje pořád na stejném místě (pokud se neuvažují mrtvé konce sítě, kde je nulový odběr). Pro všechny období také platí, že bezprostředně na uzlu s nejvyšším stářím navazuje potrubí, kde je také nejvyšší stáří vody. Nejlépe lze shrnout výsledky s nejvyšší dosaženou hodnotou stáří a dalšími ukazateli, které se v daném úseku nebo uzlu vyskytují, pomocí tabulky 12 a 13.

Tab. 12 Nejvyšší dosažená hodnota stáří vody v úseku dle období bez uvažování mrtvých konců

Období	ID úseku	Nejvyšší dosažená stáří [h]	Průtok [$l \cdot s^{-1}$]	Rychlost [$m \cdot s^{-1}$]
Léto (červenec, srpen)	w_link_95	187,39	0,00	0,00
Roční průměr	w_link_95	203,96	0,00	0,00
Zima (leden, únor)	w_link_95	251,30	0,00	0,00

Tab. 13 Nejvyšší dosažená hodnota stáří vody v uzlu dle období bez uvažování mrtvých konců

Období	ID uzlu	Nejvyšší dosažená stáří [h]	Odběr [$l \cdot s^{-1}$]	Tlak [m v. s.]
Léto (červenec, srpen)	1_232	187,40	0,00	40,73
Roční průměr	1_232	208,10	0,00	40,74
Zima (leden, únor)	1_232	251,30	0,00	40,76

Pro tento skupinový vodovod z tabulek jasně vyplývá, že v letním období bude vždy stáří vody nižší, než v zimním období. Zajímavé je také pozorovat, jak se mění průměrné stáří vody v celé síti v návaznosti na zvolené období spotřeby (tabulka 14). Průměr byl stanoven jednak jako vážený průměr vzhledem k délce sítě a také vzhledem k objemu vody v potrubí. Dva druhy stanovení průměrného stáří vody byly zvoleny pro možnost porovnání. Průměrné stáří vody vzhledem k objemu vody v potrubí ukazuje optimističtější výsledky (nižší průměrné stáří vody).

Tab. 14 Průměrné stáří vody v síti dle období

Období	Průměrné stáří vody v síti vztahované na délku sítě [h]	Průměrné stáří vody v síti vztahované na objem vody v potrubí [h]
Letní období	53,0	45,4
Roční průměr	58,8	50,5
Zimní období	69,4	59,7

V distribuční síti skupinového vodovodu se nachází celkem 48 úseků, ve kterých je nulová rychlost proudění a nulový průtok, tedy ty úseky, ve kterých bude stáří vody vždy rovno délce simulace (336 h). Počet, délka a objem těchto mrtvých konců budou v každém zatěžovacím období vždy stejné bez ohledu na hodnotu demand multiplier. Celková délka těchto mrtvých

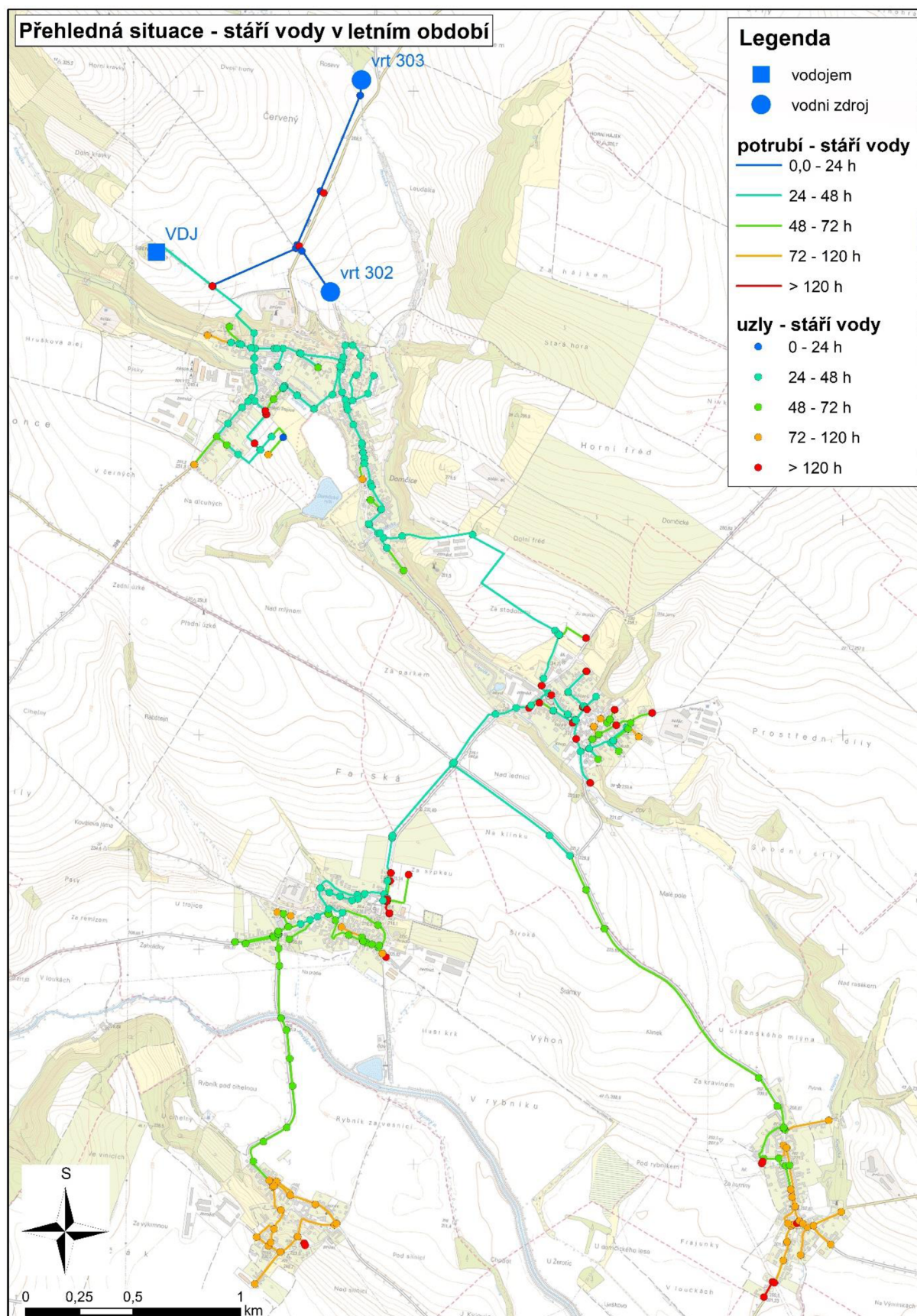
konců sítě je 189,8 m, což představuje necelých 0,8 % délky skupinového vodovodu. Objem vody v potrubí, který zaujímají mrtvé konce je 0,7 m³, tedy 0,35 % z celkového objemu 193,7 m³. Pokud bychom tyto úseky vyjmuli z váženého průměru při výpočtu průměrného stáří vody v síti, budou hodnoty průměrného stáří vody dle tabulky 15.

Tab. 15 Průměrné stáří vody bez uvažování mrtvých konců

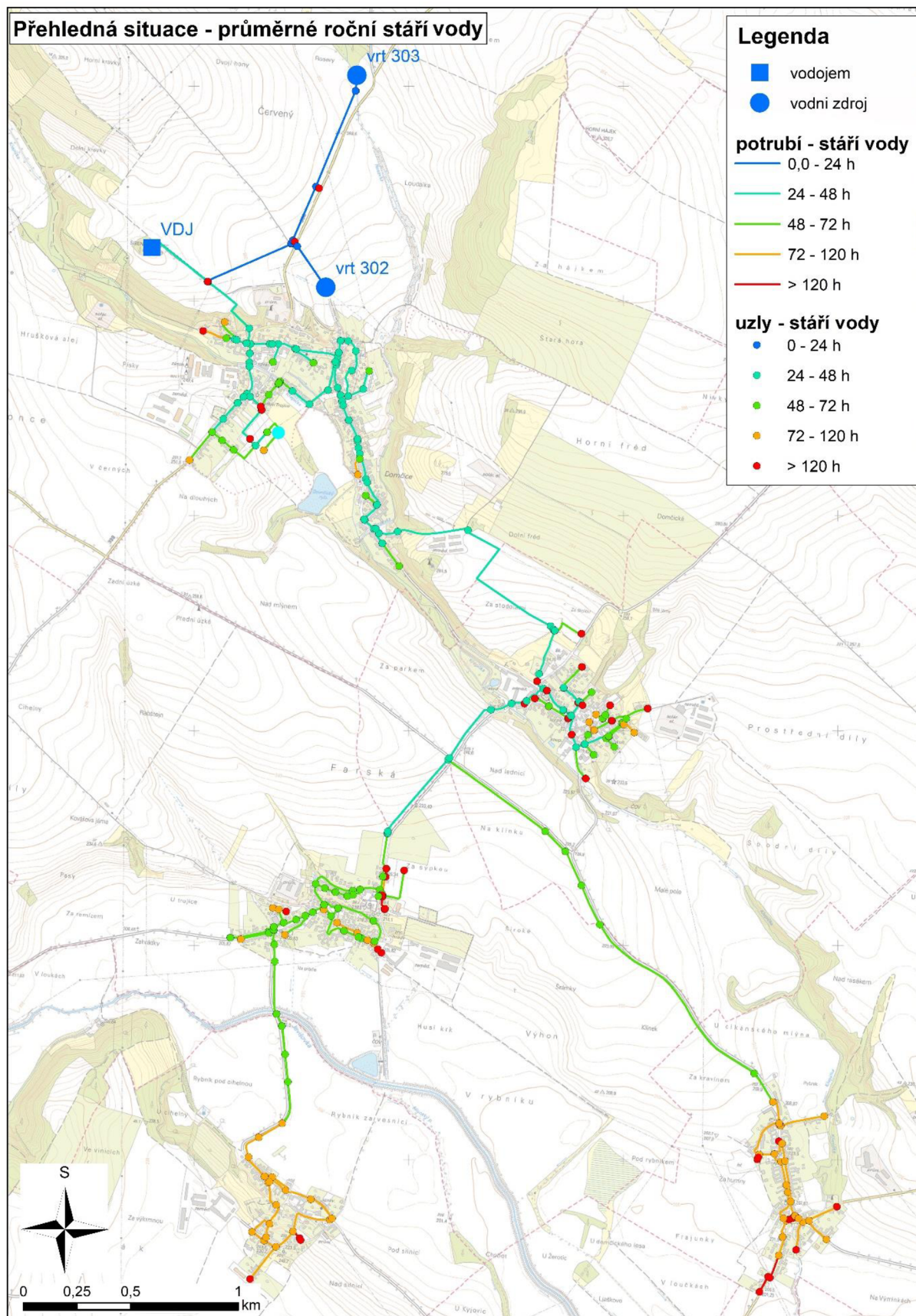
Metoda stanovení váženého průměru	Období	Skutečné prům. stáří vody [h]	Prům. stáří vody bez slepých úseků [h]	Rozdíl [h]	Procento snížení [%]
Na základě délky sítě	Letní období	53,0	50,7	2,3	4,3
	Roční průměr	58,8	56,6	2,2	3,8
	Zimní období	69,4	67,3	2,1	3,1
Na základě objemu vody v potrubí	Letní období	45,4	44,4	1,0	2,3
	Roční průměr	50,5	49,5	1,0	2,0
	Zimní období	59,7	58,8	1,0	1,6

Tabulka jasně ukazuje, že tyto mrtvé konce mají negativní vliv na průměrné stáří vody v síti a tím spíše na části skupinového vodovodu, kde jsou tato místa čtenější. Průměrné hodnoty stáří vody byly stanoveny metodou váženého průměru jednak na základě délky sítě a také na základě objemu vody v potrubí. Ukazuje se, že při výpočtu průměrného stáří vody pomocí objemu vody v potrubí je vliv mrtvých konců na průměrné stáří vody v síti nižší, než při výpočtu průměrného stáří vody na základě délky sítě. To je dáno proto, že průměr potrubí v mrtvých koncích sítě je většinou malý a proto nemá při výpočtu velkou váhu. V letním období se tyto mrtvé konce projevují nejvíce, po odečtení délky těchto mrtvých konců je průměrné stáří vody v síti nižší o 4,3 % (2,3 h), po odečtení objemu těchto mrtvých konců je průměrné stáří nižší o 2,3 % (1 h). V porovnání s letním obdobím je procento snížení průměrného stáří vody v zimním období nižší. Tato stagnace vody v mrtvých koncích sítě je problém nejen tohoto skupinového vodovodu, ale i téměř každé vodovodní sítě. K dispozici nejsou rozborů jakosti vody, je ale velmi pravděpodobné, že jakost v těchto úsecích bude na horší úrovni, než v úsecích, kde je určitá rychlost proudění a průtok. Tyto úseky je třeba při běžné údržbě vodovodu častěji proplachovat a pravidelně čistit.

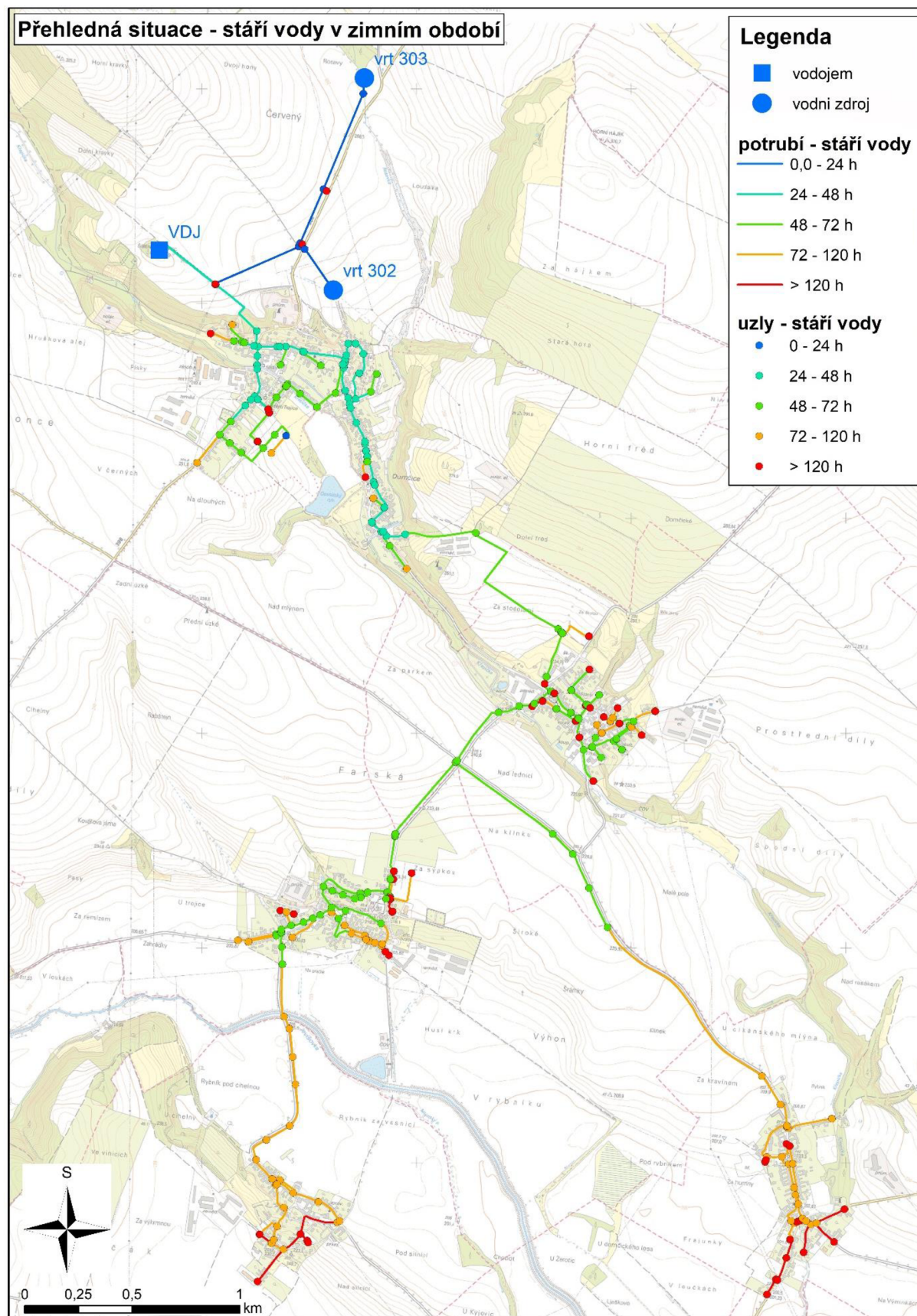
Situaci lze také dobře popsat pomocí map (obrázky 6, 7 a 8), na kterých je zobrazeno stáří vody v uzlech i úsecích dle zvoleného období. V místech, kde voda opouští zdrojové vrty a putuje do vodojemu je stáří velmi nízké (modrá barva), čím víc je síť vzdálená od vodojemu, tím starší je voda, což je patrné v dolní části mapy (červená a oranžová barva). Obě obce v nejvzdálenějších oblastech od vodojemu už mají jak v zimním období, tak v letním období vodu zpravidla starší než 72 hodin, tedy starší než 3 dny. Nemusí to ale nutně znamenat, že by voda měla mít nevyhovující jakost, to záleží na konkrétních podmínkách v síti. Pro lepší zobrazení byl vytvořen výřez (obrázek 9) měrného okrsku 3 – obec vpravo dole na mapě a výřez (obrázek 10) měrného okrsku 2 – obec vlevo dole na mapě.



Obr. 6 Přehledná situace – stáří vody v letním období

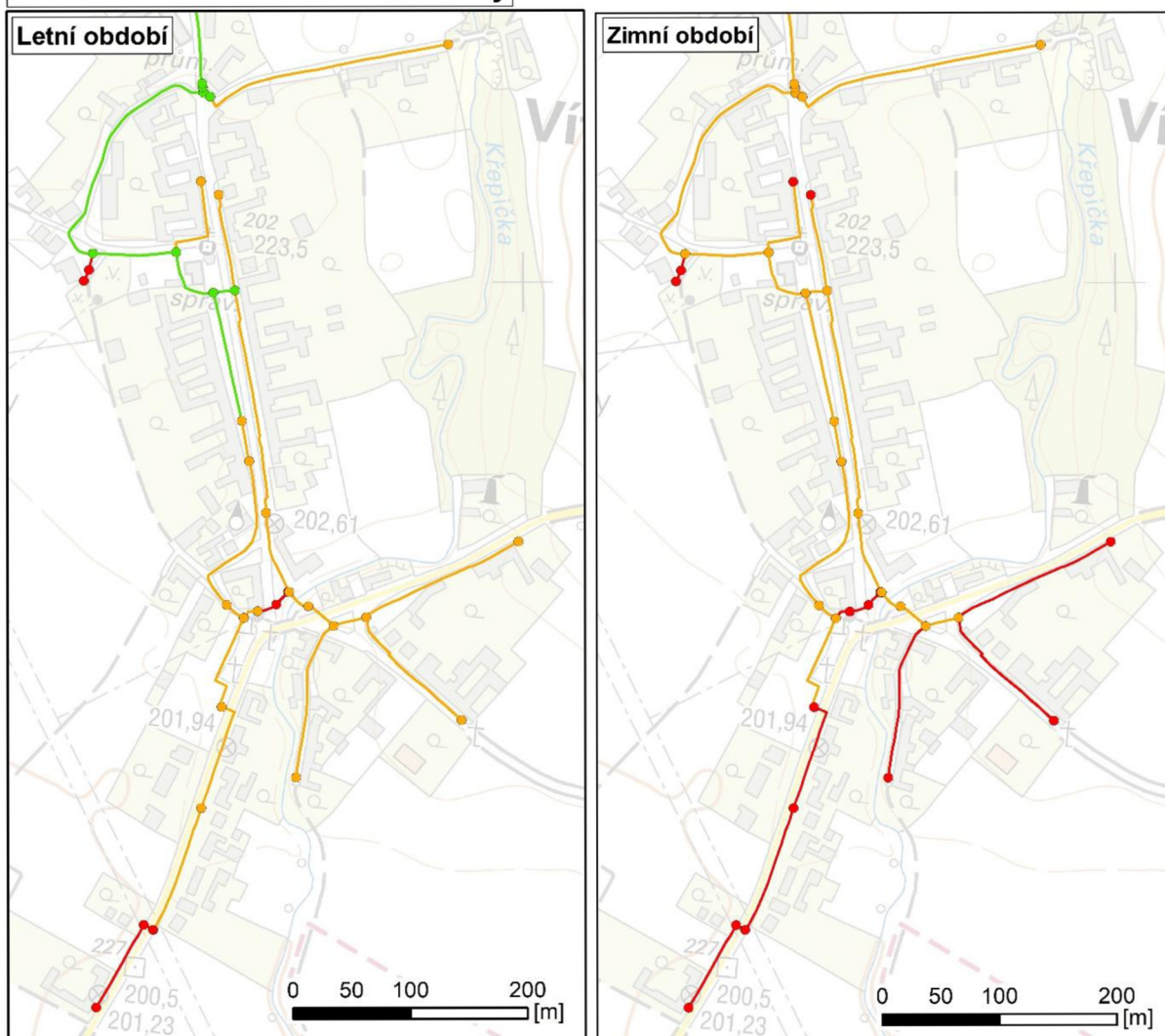


Obr. 7 Přehledná situace – průměrné roční stáří vody



Obr. 8 Přehledná situace – stáří vody v zimním období

Detail měrného okrsku 3 - stáří vody



Legenda

potrubí - stáří vody

- 0,0 - 24 h
- 24 - 48 h
- 48 - 72 h
- 72 - 120 h
- > 120 h

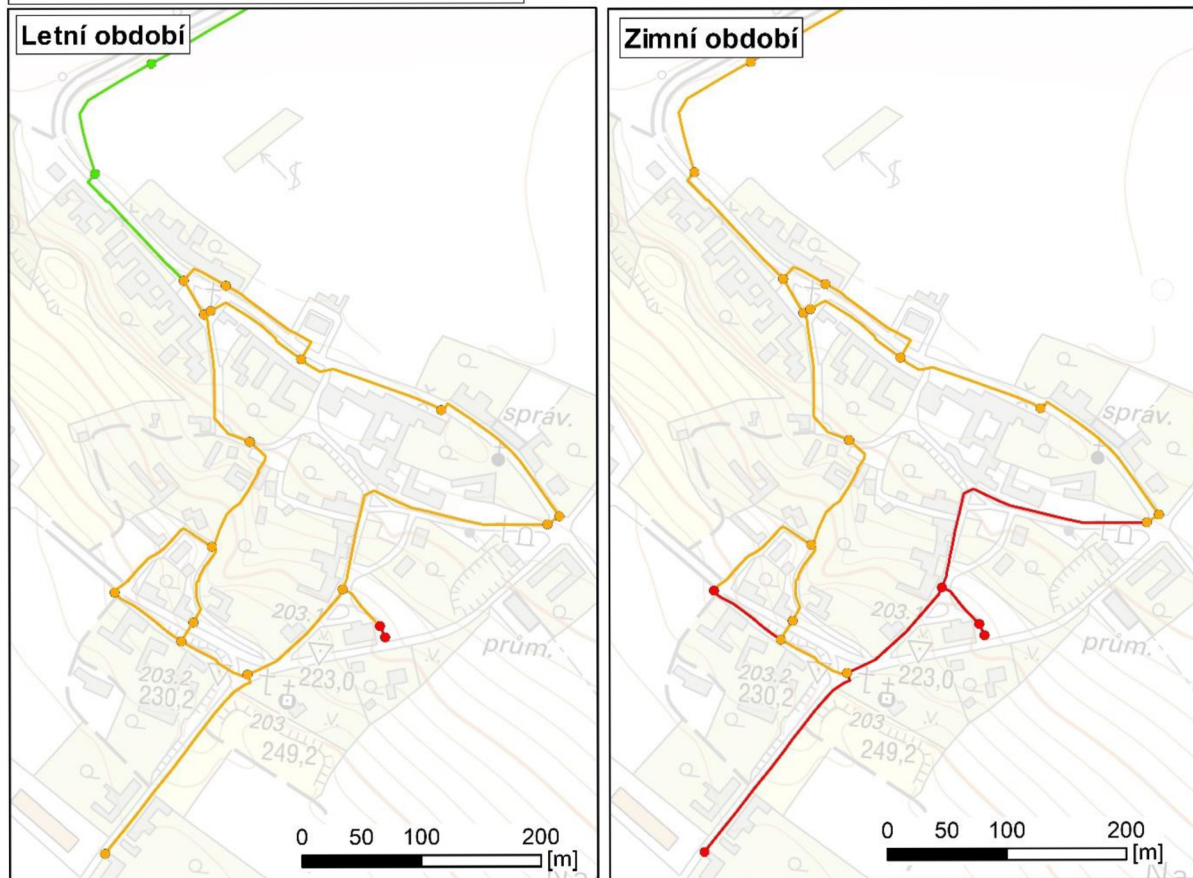
uzly - stáří vody

- 0 - 24 h
- 24 - 48 h
- 48 - 72 h
- 72 - 120 h
- > 120 h



Obr. 9 Výřez MO3 – stáří vody pro letní období (vlevo) a zimní období (vpravo)

Detail měrného okrsku 2 - stáří vody



Legenda

potrubí - stáří vody	uzly - stáří vody
0,0 - 24 h	0 - 24 h
24 - 48 h	24 - 48 h
48 - 72 h	48 - 72 h
72 - 120 h	72 - 120 h
> 120 h	> 120 h



Obr. 10 Výřez MO2 – stáří vody pro letní období (vlevo) a zimní období (vpravo)

Tabulka 16 uvádí výsledky statistického zpracování stáří vody. Byly vybrány hodnotící intervaly stáří a jim náležející délka a objem sítě. Kromě intervalů stáří je v tabulce sloupec se stářím vody rovným délce simulace (336 h), který uvádí rozsah hodnot v mrtvých koncích. Pro intervaly stáří byla stanovena procenta, která zaujímá délka sítě v daném intervalu stáří a procenta, která zaujímá objem sítě v daném intervalu stáří. Při porovnání procent, které zaujímá délka sítě a procent, které zaujímá objem vody v potrubí v intervalech stáří, lze vidět, že vyjádření procent objemu vody v potrubí podává optimističtější výsledky (menší část sítě náleží intervalu 120–336 h). Podle procent, která zaujímají objem sítě v daném intervalu stáří byla vytvořena barevná hodnotící škála – velký podíl červené barvy značí, že voda v síti je starší, než 120 h.

Tab. 16 Zastoupení délky sítě a objemu vody v potrubí podle hodnotících intervalů stáří vody

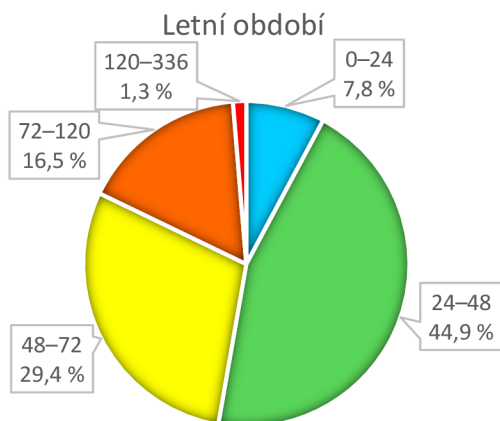
období/stáří [h]		0–24	24–48	48–72	72–120	120–336	=336
Letní období	Délka sítě [m]	1860	10693	6992	3933	313	190
	Procento délky sítě [%]	8	45	29	17	1	0,8
	Objem potrubí [m ³]	26,2	95,1	53,2	18,1	1,1	0,7
	Procento objemu v potrubí [%]	14	49	27	9	1	0,4
Roční průměr	Délka sítě [m]	1860	7670	8817	4936	508	190
	Procento délky sítě [%]	8	32	37	21	2	0,8
	Objem potrubí [m ³]	26,2	74,0	65,2	26,4	1,9	0,7
	Procento objemu v potrubí [%]	14	38	34	14	1	0,4
Zimní období	Délka sítě [m]	1860	3276	9346	7611	1698	190
	Procento délky sítě [%]	8	14	39	32	7	0,8
	Objem potrubí [m ³]	26,2	36,0	72,5	51,5	7,4	0,7
	Procento objemu v potrubí [%]	14	19	37	27	4	0,4

Z grafického hodnocení je patrné, jak se jednotlivé oblasti stáří vody zmenšují nebo zvětšují v závislosti na velikosti spotřeby. V letním období je nejvíce rozšířenou oblastí intervalu stáří 24–48 h, v zimním období je nejrozšířenější oblastí stáří interval 48–72 h. Pro lepší představu o tom, jak velkou část sítě zaujímá daný interval stáří, byly vytvořeny koláčové grafy (grafy č. 8, 9 a 10) přehledně znázorňující, které intervaly jsou v závislosti na délce sítě nejvíce rozšířeny.

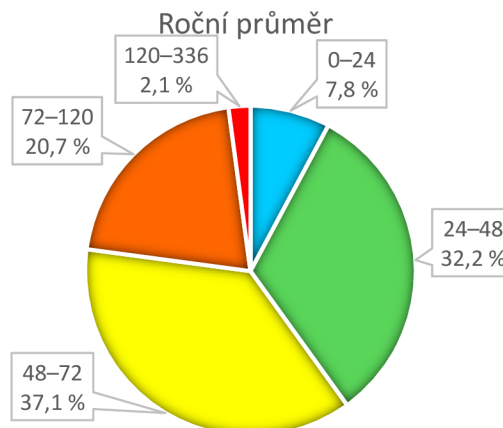
Další možnou interpretací dat, které vypovídají o závislosti délky sítě a stáří vody v síti, je vyjádření pomocí polygonu četnosti v grafu č. 11. Na svislé ose je četnost délky a na vodorovné ose jsou opět zvoleny intervaly stáří. Intervaly stáří jsou rozděleny do menších intervalů, aby bylo zřejmé, jak velká část sítě spadá do konkrétního intervalu. Polygon četností je vyjádřen opět pro každé období. Z grafu je patrné, že ve všech třech obdobích je po délce

sítě nejvíce rozšířena hodnota stáří 40–60 h. Lze také pozorovat, že nejvíce zasažený interval změnou (v negativním smyslu) je 20–40 hodin. V létě je v tomto intervalu obsažena poměrně velká část sítě (přes 6 km), v zimě se ale velká část délky přesouvá na interval 60–80 h.

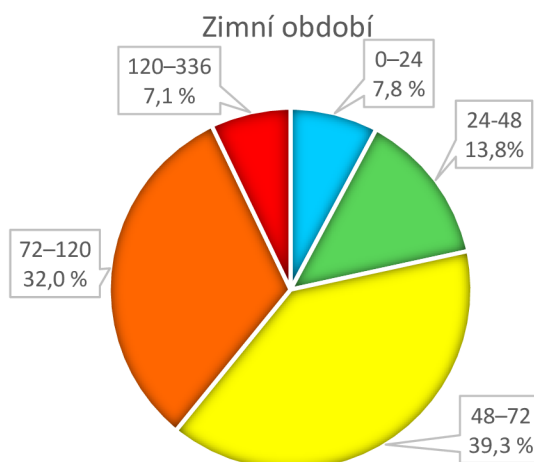
Graf č. 8 Rozdělení délky sítě podle intervalu stáří v letním období



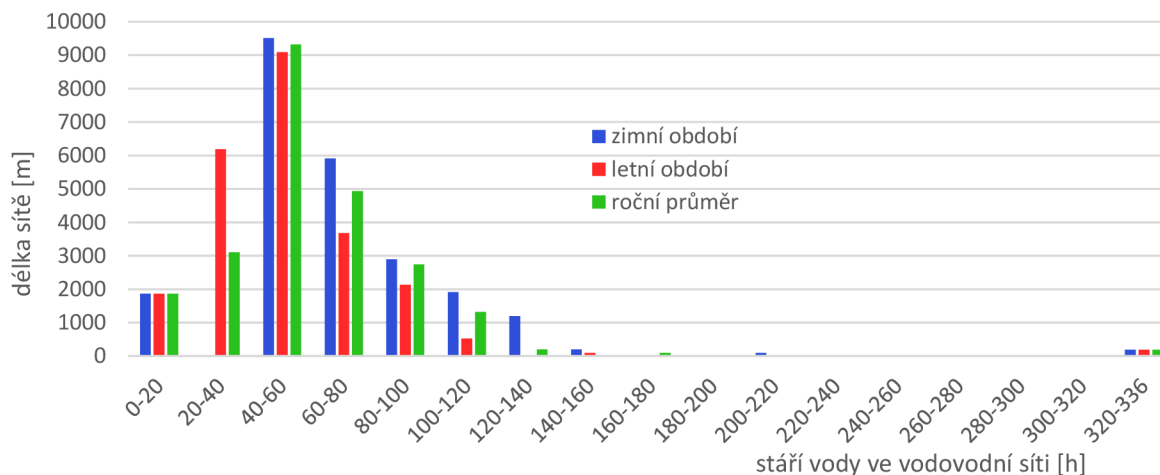
Graf č. 9 Rozdělení délky sítě podle intervalu stáří - roční průměr



Graf č. 10 Rozdělení délky sítě podle intervalu stáří v zimním období

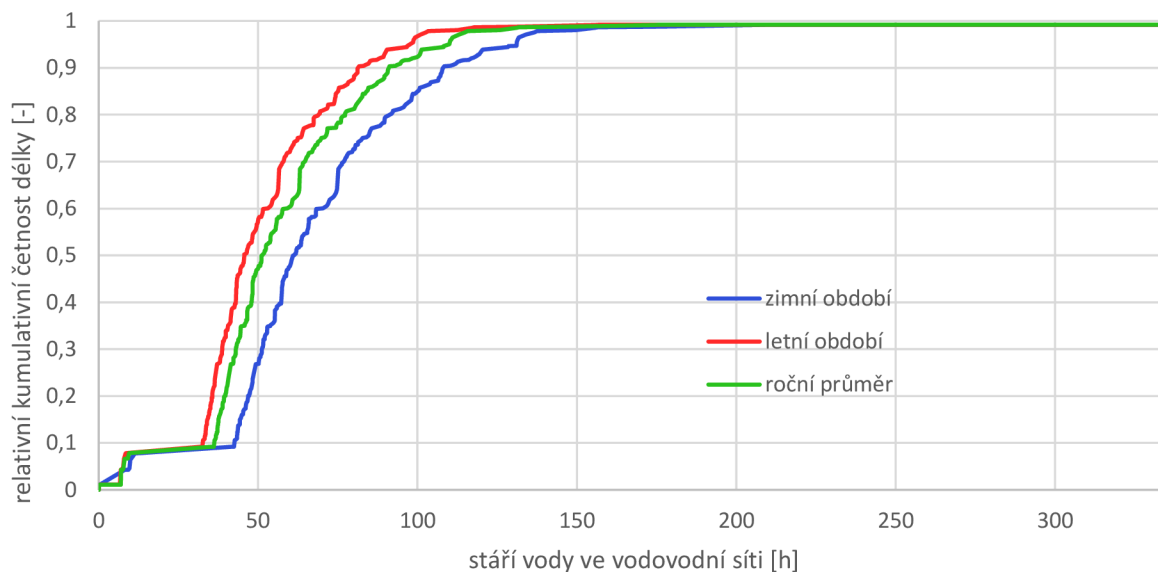


Graf č. 11 Polygon četnosti délky v intervalech stáří pro jednotlivá období



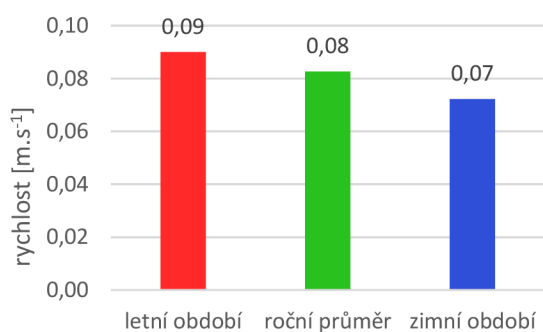
Protože datový soubor obsahuje velké množství dat, je vhodné poukázat na závislost, která charakterizuje rozdělení stáří vody v síti nejpřesněji. Takovým vyjádřením je součtová křivka (graf č. 12), která znázorňuje na vodorovné ose stáří vody a na svislé ose relativní kumulativní četnost délky. Z křivky lze snadno určit, kolik procent, respektive jaká část sítě, má menší stáří než určitá hodnota stáří. Např. lze říct, že stáří menší než 50 h v zimním období má přibližně 25 % sítě. Stejně tak to lze určit pro všechna simulovaná období.

Graf č. 12 Součtová křivka délky podle aktuálního stáří v čase simulace

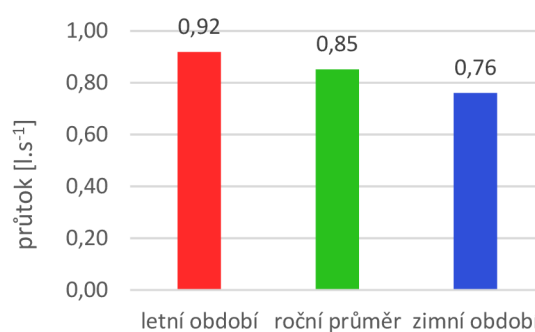


Dosud bylo stáří řešeno pouze samostatně bez uvažování vlivu dalších faktorů působících v síti. Samostatně vyjádřené stáří hodnotí pouze velikosti hodnot, nevypovídá však vcelku o chování celé sítě. V následujících grafech 13 a 14 jsou znázorněny průměrné hodnoty rychlosti proudění a průtoku pro jednotlivá období spotřeby. Grafy dávají celkovou představu o tom, co se v síti děje, když se mění spotřeba vody.

Graf č. 13 Průměrná rychlost proudění celé sítě pro jednotlivá období



Graf č. 14 Průměrný průtok celé sítě v jednotlivých obdobích



Grafy potvrzují souvislost, která platí pro každou distribuční síť. Pokud se zvýší spotřeba vody, zvýší se i průtok, a tedy i rychlost proudění (letní období). Naopak snížila-li se spotřeba vody, snížila se průtok a tím se snížila i rychlost proudění (zimní období). Nyní je potřeba tyto hodnoty dát do souvislosti se stářím vody. Tato souvislost je uvedena v tabulkách č. 17, 18 a 19 pro jednotlivá období roku.

Tab. 17 Průměrné hodnoty faktorů ovlivňující stáří vody – letní období

Stáří	[h]	0–24	24–48	48–72	72–120	120–336	Celkem
délka	[m]	1860	10693	6992	3933	313	23791
procento délky sítě	[%]	7,8	44,9	29,4	16,5	1,3	100,0
průměrná rychlost	[m.s ⁻¹]	0,25	0,13	0,03	0,01	0,00	0,09
průměrný průtok	[l.s ⁻¹]	3,59	1,29	0,17	0,04	0,00	0,92

Tab. 18 Průměrné hodnoty faktorů ovlivňující stáří vody – roční průměr

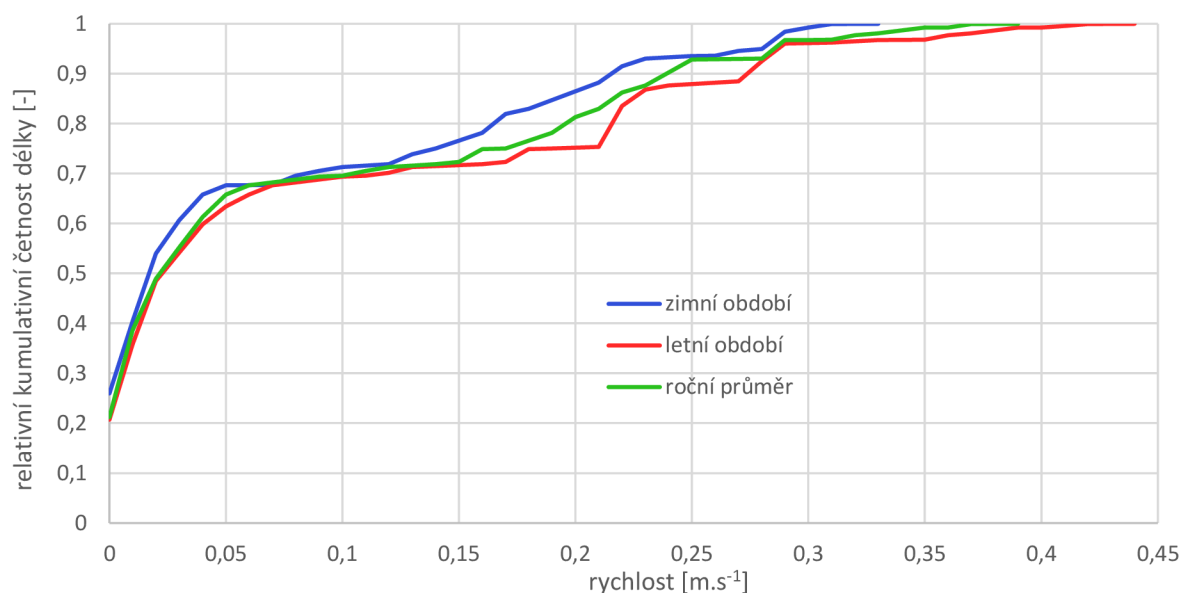
Stáří	[h]	0–24	24–48	48–72	72–120	120–336	Celkem
délka	[m]	1860	7670	8817	4936	508	23791
procento délky sítě	[%]	7,8	32,2	37,1	20,7	2,1	100,0
průměrná rychlost	[m.s ⁻¹]	0,25	0,14	0,03	0,03	0,00	0,08
průměrný průtok	[l.s ⁻¹]	3,59	1,48	0,22	0,07	0,00	0,85

Tab. 19 Průměrné hodnoty faktorů ovlivňující stáří vody – zimní období

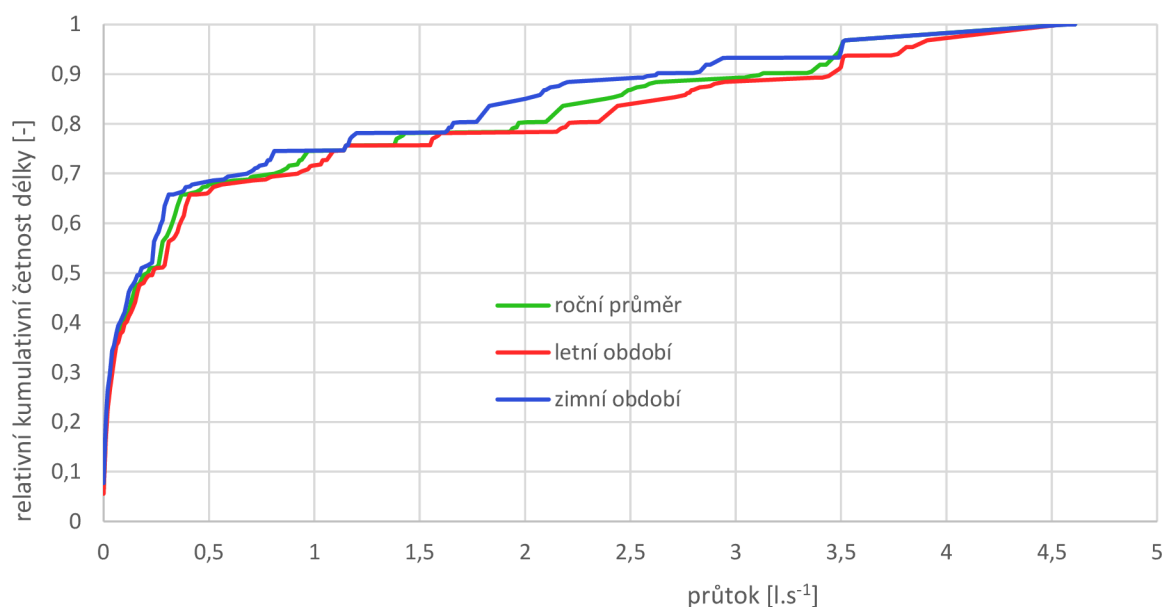
Stáří	[h]	0–24	24–48	48–72	72–120	120–336	Celkem
délka	[m]	1860	3276	9346	7611	1698	23791
procento délky sítě	[%]	7,8	13,8	39,3	32,0	7,1	100,0
průměrná rychlost	[m.s ⁻¹]	0,25	0,14	0,07	0,02	0,00	0,07
průměrný průtok	[l.s ⁻¹]	3,60	1,73	0,53	0,10	0,01	0,76

Z tabulek je patrné, že se zvyšujícím se stářím vody v síti se postupně snižuje průměrná rychlost proudění vody a průtok, a to v zimním období, v letním období i v celoročním průměru. Tabulka ukazuje, že například v letním období je průměrný průtok v délce sítě, která spadá do intervalu stáří 0–24 h, 3,59 l.s⁻¹. Pro lepší interpretaci dat v tabulce byly vytvořeny součtové křivky (grafy 15 a 16), které charakterizují, jak velké procento délky sítě má nižší průtok nebo rychlost při konkrétní hodnotě průtoku nebo rychlosti. Takže např. lze tvrdit, že přibližně 75 % délky sítě v letním období má rychlost proudění menší, než 0,2 m.s⁻¹.

Graf č. 15 Součtová křivka délky sítě podle aktuální rychlosti v čase simulace

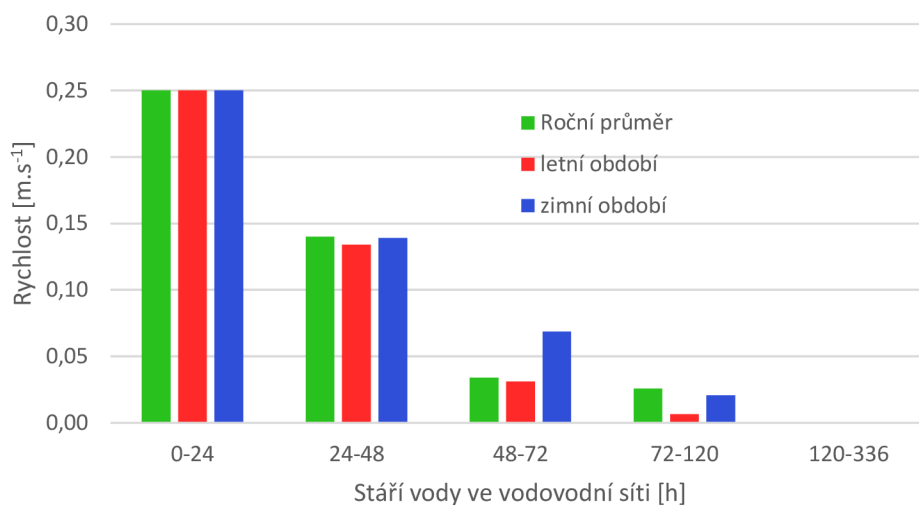


Graf č. 16 Součtová křivka délky sítě podle aktuálního průtoku v čase simulace

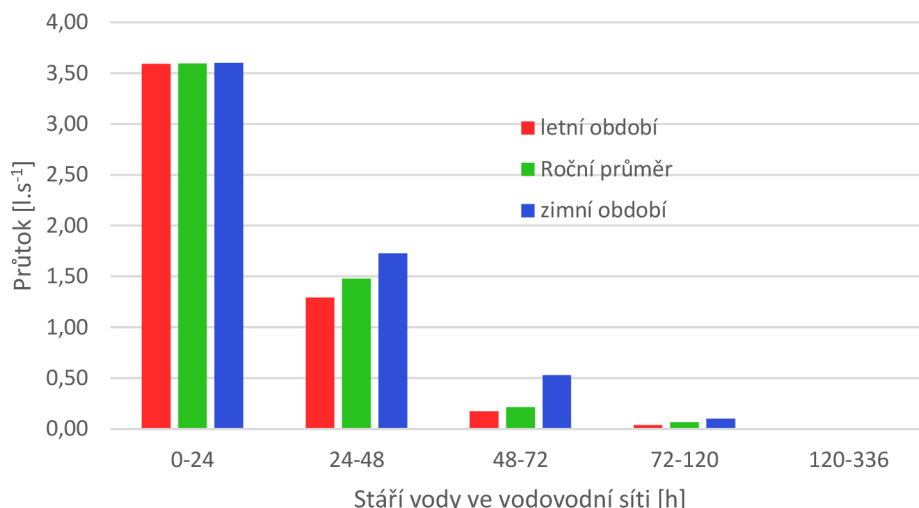


Průtok i rychlost mají tendenci na začátku křivky strmě růst. Znamená to, že velká část sítě má velmi malou rychlost proudění i průtok, což dokazují sloupcové grafy 17 a 18. Na těchto grafech je vyjádřena průměrná rychlost proudění a průtok v jednotlivých intervalech stáří pro každé období. Na sloupcových grafech lze pozorovat, že v intervalu 120–336 hodin jsou rychlost a průtok nulové. Tyto nulové hodnoty jsou hlavní příčinou stagnace vody v úsecích a zvyšují průměrné stáří vody v síti.

Graf č. 17 Průměrná rychlost proudění v intervalech stáří



Graf č. 18 Průměrný průtok v intervalech stáří



Doposud byla síť řešena v úsecích. Nyní bude pozornost směřována k vyšetření průběhu stáří a dalších veličin v uzlech. Stáří v uzlech koreluje se stářím v úsecích, lze ho ale uvést do odlišných souvislostí, např. s odběrem v uzlu nebo s velikostí tlaku v uzlu. V síti se nachází celkem 313 uzlů, z toho 132 uzlů (42,2 %) má nulový odběr v letním období, v ročním průměru 149 uzlů (47,6 %) nemá odběr a v zimním období nemá odběr 156 uzlů (49,8 %). Naopak neměnnou hodnotou zůstává počet uzlů se stářím rovným délce simulace (336 hodin), celkový počet těchto uzlů je 46. Jsou zde vždy nulové odběry. Tabulka 20 ukazuje, jaké je rozdělení počtu uzlů v intervalech stáří podle jednotlivých období.

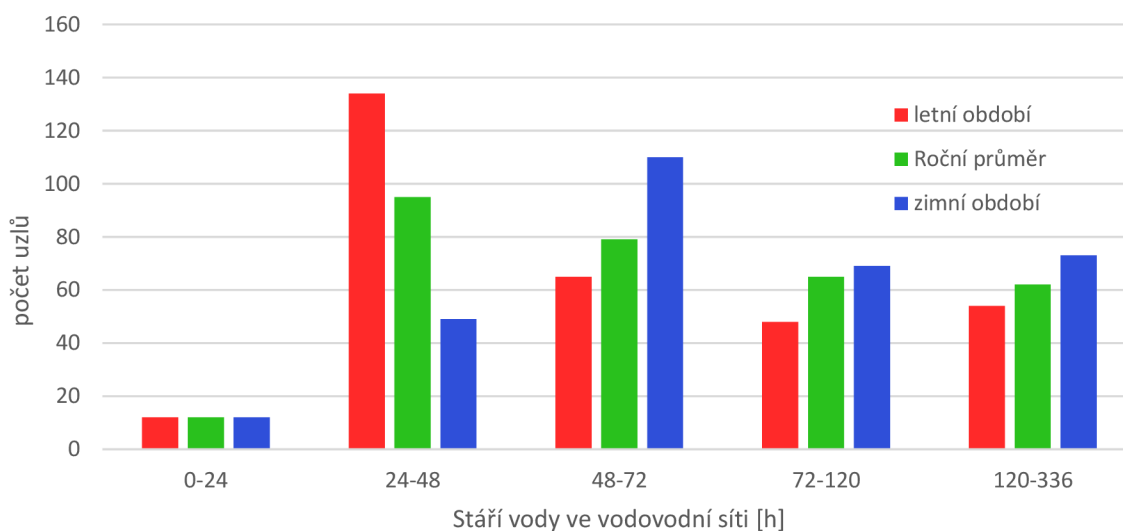
Z tabulky plyne, že v intervalu 0–24 zůstávají počty uzlů neměnné. V létě je největší počet uzlů v intervalu 24–48 h. To odpovídá i rozdělení úseků, kdy největší část sítě spadala do tohoto intervalu. V ročním průměru je největší část sítě v intervalu 24–48 h, v rámci rozdělení stáří podle úseků došlo ke zlepšení o jeden interval. V zimním období se největší část uzlů nachází

v intervalu 48–72 h, to odpovídá i rozdělení podle úseků. Z tabulky je dobře patrné, že čím menší je spotřeba (zimní období), tím více uzlů spadá do většího stáří a naopak. Pro lepší interpretaci dat z tabulky 20 byl vložen sloupcový graf č. 19, který znázorňuje závislost intervalů stáří na počtech uzlů.

Tab. 20 Rozdělení počtu uzlů dle intervalů stáří

období/stáří [h]		0–24	24–48	48–72	72–120	120–336	Celkem
Letní období	počet uzlů	12	134	65	48	54	313
	[%]	3,8	42,8	20,8	15,3	17,3	100,0
Roční průměr	počet uzlů	12	95	79	65	62	313
	[%]	3,8	30,4	25,2	20,8	19,8	100,0
Zimní období	počet uzlů	12	49	110	69	73	313
	[%]	3,8	15,7	35,1	22,0	23,3	100,0

Graf č. 19 Počty uzlů v intervalech stáří



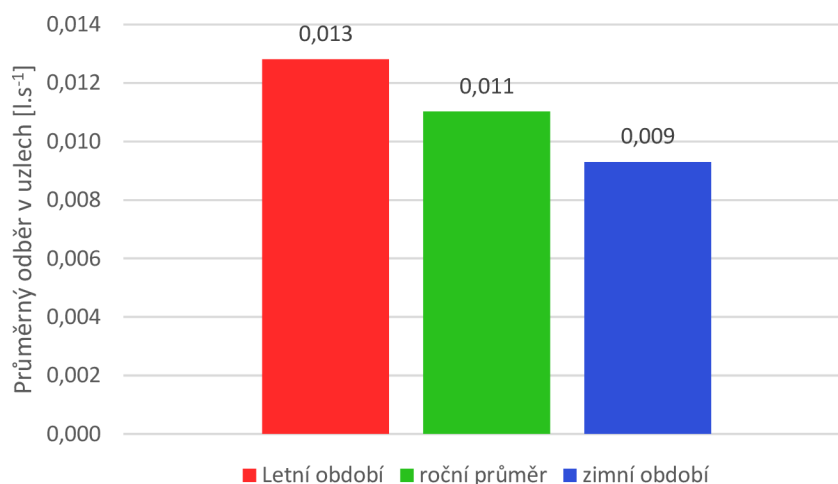
Tabulka 21 vyšetřuje průměrné hodnoty odběrů a tlaků v intervalech stáří. Kromě jasného růstu průměrného odběru v letním období a poklesu v zimním období (graf č. 20) nebyla nalezena žádná přímá závislost. Platí sice pravidlo, že čím větší je odběr, tím menší je stáří. Tohle tvrzení ale platí pro síť jako celek, nelze hledat závislost v konkrétním uzlu. Svou roli v tomto případě hrají i další podmínky sítě. Vysoký odběr v uzlu neznámá, že v tomto uzlu nutně musí být i nízké stáří vody.

Tab. 21 Průměrné hodnoty odběrů a tlaků v intervalech stáří v uzlech

období/stáří [h]		0–24	24–48	48–72	72–120	120–336	Celkem
Letní období	Průměrný odběr [$l \cdot s^{-1}$]	0,008	0,018	0,014	0,011	0,000	0,013
	Průměrný tlak [m v. s.]	15,3	46,2	49,0	40,9	41,9	44,1
Roční průměr	Průměrný odběr [$l \cdot s^{-1}$]	0,008	0,017	0,014	0,010	0,001	0,011
	Průměrný tlak [m v. s.]	15,3	47,4	47,0	43,4	41,6	44,1
Zimní období	Průměrný odběr [$l \cdot s^{-1}$]	0,006	0,011	0,015	0,009	0,001	0,009
	Průměrný tlak [m v. s.]	15,3	44,0	48,1	45,9	41,4	44,2

Mírný nárůst průměrného tlaku lze pozorovat v zimním období, tento nárůst má na jakost vody malý vliv. V kontextu ostatních faktorů lze vliv tlaku zanedbat.

Graf č. 20 Průměrný odběr z uzlů pro jednotlivá období



6 DOPORUČENÍ A ZÁVĚR

V bakalářské práci byla nejdříve podrobně provedena rešerše české a zahraniční literatury, ve které bylo analyzováno, které faktory nejvíce ovlivňují stáří vody, jaké jsou příčiny a důsledky zvyšujícího se stáří vody včetně vnímání jakosti vody odběratelem. Informace o tom, že ve vodovodech je voda, kterou lze charakterizovat jejím stářím, tu již máme poměrně dlouho. Svým způsobem však jde o poměrně novou tematiku, protože literatura zatím nedošla k jasným závěrům, jaký dopad má zvyšující se stáří vody na jakost vody. Novější literatura představuje výzkumy, které vyvracejí dřívější závěry. Je to dáno hlavně tím, že každá vodovodní síť se chová jinak a má specifické podmínky, proto se liší jednotlivé závěry. Je nezbytné každé distribuční síti věnovat individuální pozornost a vycházet z poznatků, které jsou doposud k dispozici.

V praktické části práce byla provedena analýza stáří vody pomocí simulačního prostředku EPANET 2.2. Simulační prostředky jsou nedílnou součástí vyhodnocování a bez jejich použití by byl proces stanovení stáří vody extrémně pracný a nepřesný. Bylo zjištěno, že průměrné roční stáří vody v síti je poměrně nízké – 50,5 h. Toto průměrné stáří vody zvyšují mrtvé konce sítě, jejichž délka je 189,8 m a zaujímá 0,8 % celkové délky sítě. Z celkového objemu vody v síti zaujímají mrtvé konce 0,35 %, tedy 0,7 m³. Je velmi pravděpodobné, že se v těchto mrtvých koncích hromadí sedimenty a dochází k růstu biofilmu. Na tyto úseky by měla být směřována část pozornosti provozovatele – častěji je čistit a proplachovat, aby se voda zhoršené jakosti nešířila do dalších částí sítě. Pro analýzu chování sítě byla zvolena dvě odlišná období – zimní a letní. Analýza ukázala, že nejrozšířenějším intervalem stáří vody vzhledem k délce sítě je interval stáří 40-60 h, to platí pro všechna období simulace. Byl učiněn závěr, který platí pro tento skupinový vodovod, že stáří vody v letním období bude vždy menší než v zimním období. V letním období je největší část sítě v intervalu stáří 1–2 dny, v zimním období je největší část sítě v intervalu stáří 2–3 dny. Bylo také zjištěno, že ve velké části sítě se bez ohledu na období simulace vyskytuje velmi nízká rychlost proudění a průtok. Značí to, že v těchto místech sítě se ve většině případů vyskytuje vysoké stáří vody a může to vést ke zhoršení jakosti vody. Zvolená období umožnila pozorovat změny, ke kterým dochází uvnitř sítě v závislosti na velikosti spotřeby. Například průměrné stáří vody se liší v letním a zimním období o 14,3 hodin. Přínosem práce je příloha č. 1 Hodnocení stáří vody ve vodovodní síti, která shrnuje podstatné výstupy analýzy vodovodní sítě.

Samotné vyhodnocení veličin ročního průměru sítě by neumožnilo pozorovat dynamické chování sítě. Pomocí statistického vyhodnocení dat, které poskytl EPANET 2.2, bylo možné prokázat teoretické znalosti o chování sítě. Pro nalezení konkrétních závislostí by bylo příhodné udělat stejnou nebo alespoň podobnou analýzu v síti o srovnatelných vlastnostech a velikosti, aby bylo možné výsledky porovnat a vyhodnotit. Důležitým faktorem, který ovlivňuje výsledky, je také volba vstupních údajů. Při vyhodnocení změny spotřeby vody bylo možné

vycházet z naměřených objemů odebraných ze zdrojových vrtů, nebo z objemu, který přiteká do vodojemu. V této práci byla zvolena první možnost. Otázkou je, v jaké míře by byly ovlivněny výsledky, kdyby byla analýza provedena druhým způsobem.

Provedená analýza nám podává pouze statistické vyhodnocení chování veličin vyskytujících se v síti, neříká ale nic o konkrétních kvalitativních poměrech v síti. Nelze jasně říct, jaké podmínky jakosti vody se vyskytují v daném vyšetřovaném místě. Jedná se pouze o zpracování surových dat a nelze z toho jasně usuzovat konkrétní podmínky v síti. Dalším postupem při vyšetřování tohoto skupinového vodovodu by mohlo být provedení měření ukazatelů jakosti vody v úsecích spadajících do vyhodnocovaných intervalů stáří. Takto naměřené údaje o jakosti vody by sloužily jako podklad pro další zpracování a vyhodnocení celkového stavu skupinového vodovodu. Dalo by se odpovědět na zásadní otázku, zda má zvyšující se stáří vody vliv na jakost vody v síti. Pokud by takováto kvalitativní měřná kampaň probíhala v letním i v zimním období, bylo by možné odpovědět na druhou zásadní otázku, zda má změna spotřeby vody během roku vliv na jakost vody. Na tyto otázky v současném stavu poznání nelze jednoznačně odpovědět. Zmíněný postup je časově a finančně náročný a poskytuje informace vědeckého rázu. Pro samotné zlepšení jakosti vody by mohl být zvolen postup, který je uplatnitelný v praxi, a to postupné zmenšování dimenzí potrubí v síti. Tímto postupem by se dalo snížit průměrné stáří vody v síti a zlepšit jakost dopravované vody. Možným postupem by také mohla být studie, která by prokázala nebo vyvrátila, zda zvyšující se stáří vody v síti vnímají odběratelé. Studie by mohla být cenným podkladem pro provozovatele sítě.

7 LITERATURA

- [1] RAJNOCHOVÁ, M., RUČKA, J., SUCHÁČEK, T., NOVÁKOVÁ, J. a KORABÍK, M. *Možnosti řešení nevyhovující jakosti pitné vody v úsecích vodovodní sítě ohrožených stagnací* [online]. In: PITNÁ VODA 2018. České Budějovice: W&ET Team, doc. Ing. Petr Dolejší, CSc., 2018, p. 261-264 [cit. 2021-02-27]. ISBN 978-80-905238-3-8.
- [2] INGEDULD, Petr. How to understand water age within your water distribution network. *DHI Reservoir* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://blog.dhigroup.com/2017/11/13/understand-water-age-within-water-distribution-network/>
- [3] KOŽÍŠEK, F. *Senzorika v oblasti pitné vody*. Státní zdravotní ústav, Praha, 2005. Dostupné také z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/senzorika/kozisek.pdf>
- [4] EVA TRNĚNÁ. *Analýza stížností odběratelů pitné vody*. Brno, 2018, 75 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.
- [5] ŠTĚPÁNEK, P.,. Cílený proplach zabezpečí čistší vodu v potrubí. In: *TV Brno 1* [online]. Brno [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://tvbrno1.cz/zpravy/jihomoravsky/brno/861/cileny-proplach-zabezpeci-cisti-vodu-v-potrubu>
- [6] RAJNOCHOVÁ, M. Význam a dlouhodobý účinek řízeného proplachu na vodovodní síť. In: *Vodovod.info: Vodárenský informační portál* [online]. [cit. 2021-02-25]. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/index.php/clanky-2/vodarenstvi/423-vyznam-a-dlouhodobou-ucinek-rizeneho-proplachu-na-vodovodni-sit#.YDdm5OhKhPY>
- [7] KOŽÍŠEK, F., KORTH, A., JELIGOVÁ, H., ŠAŠEK, J., PUMANN, P. a NITSCHKE, R. Distribuce pitné vody bez zbytkové chemické dezinfekce: zdůvodnění, strategie, a případová studie. *SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací* [online]. [cit. 2021-02-27]. Dostupné z: http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/voda/pdf/bez_dezinfekce/Kozisek_SOVA_K2014.pdf
- [8] KOOIJ, D. *Microbial Growth on Drinking - Water Supplies*. London: IWA Publishing, 2014. ISBN 9781780400402.

- [9] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Effects of Water Age on Distribution System Water Quality*. Washington DC, 2002. Dostupné také z: https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-09/documents/2007_05_18_disinfection_tcr_whitepaper_tcr_waterdistribution.pdf
- [10] ČSN 73 0873 *Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou*. Praha: Český normalizační institut, 2003.
- [11] JERRY K. SNYDER, ARUN K. DEB, FRANK M. GRABLUT a SANDRA B. MCCAMMON. *Impacts of Fire Flow on Distribution System Water Quality, Design, and Operation*. U.S.A.: Awwa Research Foundation and American Water Works Association, 2002. ISBN 1-58321-256-6.
- [12] KOURBASIS, N., PATELIS, M., TSITSIFLI, S. a KANAKOUSDIS, V. Optimizing Water Age and Pressure in Drinking Water Distribution Networks. *Environmental Sciences Proceedings*. Civil Engineering Department, University of Thessaly, 38221 Volos, Greece.
- [13] ČSN 75 5401 *Navrhování vodovodního potrubí*. Český normalizační institut, 2020.
- [14] *Water: Water Quality in Drinking Water Distribution Systems*. St. Alban-Anlage 66 4052 Basel, Switzerland: MDPI, 2020. ISSN 2073-4441.
- [15] AGUDELO-VERA, C., AVVEDIMENTO, S., BOXALL, J. et al. Drinking Water Temperature around the Globe: Understanding, Policies, Challenges and Opportunities. *Water: Water Quality in Drinking Water Distribution Systems* [online]. Alban-Anlage 66 4052 Basel, Switzerland: MDPI St., 2020, 2020 [cit. 2021-03-07]. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w12041049
- [16] MICHAEL, J.M. a BOXALL, J.B. Modelling and field work to investigate the relationship between the age and the quality of drinking water at customer's taps. *Journal of Water Resources Planning and Management*. 2014. ISSN 0733-9496. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000383](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000383)
- [17] WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Guidelines for Drinking-water Quality* [online]. 3rd ed. Geneva: World Health Organization, 2008 [cit. 2021-02-25]. ISBN 978 92 4 154760 4. Dostupné z: https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/204412/9789241547604_eng.pdf

- [18] DIGIANO, F.A., ZHANG, W. a TRAVAGLIA, A. Calculation of the mean residence time in distribution systems from tracer studies and models. *Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA*. IWA Publishing, **2005**.
- [19] MACHELL, J., MOUNCE, S.R. a BOXALL, J.B. Online modelling of water distribution systems: a UK case study. *Drinking Water Engineering and Science* [online]. Delft University of Technology, , 21-27 [cit. 2021-03-15]. Dostupné z: <https://d-nb.info/1142390888/34>
- [20] TUHOVČÁK, L., ADLER, P., KUČERA, T. a SVOBODA, M. *Vodárenství: Doprava vody*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, 2006.
- [21] KUČERA, Tomáš. Hydraulická analýza vodovodní sítě. *Vodovod.info - vodárenský informační portál* [online]. [cit. 2021-02-25]. ISSN 1804-7157. Dostupné z: <https://www.vodovod.info/index.php/extra/tema/251-hydraulicka-analyza-vodovodni-site#.YDd7WOhKhPY>
- [22] KUČERA, T. Možná rizika plynoucí z dezinfekce pitné vody. *TZB-info* [online]. [cit. 2021-03-18]. ISSN 1801-4399. Dostupné z: <https://voda.tzb-info.cz/vlastnosti-a-zdroje-vody/8568-mozna-rizika-plynouci-z-dezinfekce-pitne-vody>
- [23] DION-FORTIER, A., RODRIGUEZ, M.J., SÉRODES, J. a PROULX, F. Impact of water stagnation in residential cold and hot water plumbing on concentrations of trihalomethanes and haloacetic acids. *Water Research* [online]. , 3057-3066 [cit. 2021-03-18]. ISSN 0043-1354. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com.ezproxy.lib.vutbr.cz/science/article/pii/S0043135409002619>
- [24] BLOKKER, E.J.M., FURNASS, W.R., MACHELL, J., MOUNCE, S.R., SCHAAP, P.G a BOXALL, J.B. Relating Water Quality and Age in Drinking Water Distribution Systems Using Self-Organising Maps. *Environments* [online]. **2016** [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2076-3298/3/2/10#cite>
- [25] NATHANSON, J.A. Water supply system. In: *Encyclopedia Britannica* [online]. [cit. 2021-04-02]. ISBN 978-1-59339-292-5. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/water-supply-system>
- [26] Spotřeba vody. In: *Severočeské vodovody a kanalizace a.s.* [online]. Přitkovská 1689, 415 50 Teplice [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.scvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>

- [27] Vodovody a kanalizace na Vysočině v roce 2019. In: *Český statistický úřad* [online]. [cit. 2021-03-27]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/xj/vodovody-a-kanalizace-na-vysocine-v-roce-2019>
- [28] ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD (ČSÚ). Katalog produktů. In: *Česká statistický úřad* [online]. Praha [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/katalog-produktu>
- [29] Víte, kolik stojí voda v Evropě?. In: *Vše o vodě* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <http://www.vseovode.cz/clanek/vite-kolik-stoji-voda-v-evrope>
- [30] RUČKA, J., NÁPLAVOVÁ, E., RAJNOCHOVÁ, M. a SUCHÁČEK, T. *Skupinový vodovod obce: Přejít na zásobování pitnou vodou bez použití chemické desinfekce*. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí, Veveří 331/95, 602 00 Brno.
- [31] ČESKO. *Vyhláška 252/2004 Sb.: kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*.
- [32] ROSSMAN, A. L., WOO, H., TRYBY, M., SHANG, F., JANKE, R. a HAXTON, T. *EPANET 2.2 User Manual*. U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC, EPA/600/R-20/133, 2020.
- [33] ČSN EN 805 *Vodárenství – Požadavky na vnější sítě a jejich součásti*. Praha: Český normalizační institut, 2001, 56 s.
- [34] RUČKA, J., Ing. Ph.D. Vysoké učení technické. Fakulta stavební. Ústav vodního hospodářství obcí. *Písemné sdělení* [2021-05-16].
- [35] PATELIS, M., KANAKOUDIS, V. a KRAVVARI, A. Pressure Regulation vs. Water Aging in Water Distribution Networks. *Water* [online]. 2020, (12, 1323), 18 s [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/5/1323>
- [36] CHONDRONASIOS, A., GONELAS, K., KANAKOUDIS, V.; KORKANA, P., PATELIS, M. a KORKANA, P. Optimizing DMAs' formation in a water pipe network: The water aging and the operating pressure factors 890-89. *J. Hydroinformatics* [online]. 2017, , 890-899 s [cit. 2021-5-17]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.2166/hydro.2017.156](https://doi.org/10.2166/hydro.2017.156)
- [37] RUČKA, J.; KOVÁŘ, J. Řízené proplachy vodovodních sítí. In *Provoz vodovodů a kanalizací 2014*. SOVAK - sdružení oborů vodovodů a kanalizací. Libeznice, ČR: Medim, spol. s r.o., 2014. s. 105-109. ISBN: 978-8087140-36-9

- [38] GAUTHIER, V., GÉRARD, B., PORTAL, J.-M., BLOCK, J.C. and GATEL, D. (1999). "Organic matter as loose deposits in a drinking water distribution system." *Water Research* Vol: 33 (4): 1014-1026.
- [39] VREEBURG, J. *Discolouration in drinking water systems: a particular approach*. Nizozemsko: Gildeprint BV Enschede, 2007. ISBN 978-90-74741-91-0.
- [40] RUČKA, J.; RAJNOCHOVÁ, M.; SUCHÁČEK, T.; KORABÍK, M. Řízený proplach vodovodní sítě a jeho vliv na jakost dopravované vody: případová studie vodovodu města Vsetína. In *Voda Zlín 2019 - Sborník přednášek*. 2019. Olomouc: Moravská vodárenská, a.s., 2019. s. 61-65. ISBN: 978-80-905716-5-

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Spotřeba vody v domácnosti [26]	18
Tab. 2 Srovnání spotřeby vody, ceny vodného a stočného v krajích v roce 2019 [27]	19
Tab. 3 Srovnání spotřeby vody, ceny vodného a stočného v ČR 1969-2019 [28].....	20
Tab. 4 Vývoj specifické spotřeby vody a cen v evropských zemích 2018	22
Tab. 5 Přehled spotřeby vody v jednotlivých MO [30].....	27
Tab. 6 Koefficienty nerovnoměrnosti odběru vody pro jednotlivé MO [30]	28
Tab. 7 Hydraulická drsnost "k" podle materiálu a stáří potrubí [30]	28
Tab. 8 Délka potrubí dle DN a materiálu [30]	29
Tab. 9 Délka potrubí dle stáří [30]	29
Tab. 10 Měsíční odběry z vrtů HV302 a HV303 za rok 2018	30
Tab. 11 Stanovení demand multiplier pro jednotlivá období	30
Tab. 12 Nejvyšší dosažená hodnota stáří vody v úseku dle období bez uvažování mrtvých konců	34
Tab. 13 Nejvyšší dosažená hodnota stáří vody v uzlu dle období bez uvažování mrtvých konců	34
Tab. 14 Průměrné stáří vody v síti dle období	34
Tab. 15 Průměrné stáří vody bez uvažování mrtvých konců	35
Tab. 16 Zastoupení délky sítě a objemu vody v potrubí podle hodnotících intervalů stáří vody	41
Tab. 17 Průměrné hodnoty faktorů ovlivňující stáří vody – letní období	44
Tab. 18 Průměrné hodnoty faktorů ovlivňující stáří vody – roční průměr	44
Tab. 19 Průměrné hodnoty faktorů ovlivňující stáří vody – zimní období	44
Tab. 20 Rozdělení počtu uzlů dle intervalů stáří	47
Tab. 21 Průměrné hodnoty odběrů a tlaků v intervalech stáří v uzlech	48

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Rozložení stáří v síti (1) a (2).....	11
Obr. 2 Přehledná situace skupinového vodovodu	26
Obr. 3 Rozhraní programu EPANET 2.2. - demand multiplier	31
Obr. 4 MO 1 - schéma spotřeby vody v uzlech a průtoku v potrubí	32
Obr. 5 schéma spotřeby vody v uzlech a rychlosti v potrubí	33
Obr. 6 Přehledná situace – stáří vody v letním období	36
Obr. 7 Přehledná situace – průměrné roční stáří vody	37
Obr. 8 Přehledná situace – stáří vody v zimním období	38
Obr. 9 Výřez MO3 – stáří vody pro letní období (vlevo) a zimní období (vpravo).....	39
Obr. 10 Výřez MO2 – stáří vody pro letní období (vlevo) a zimní období (vpravo).....	40

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

ČR.....	Česká republika
IWA.....	International Water Association
PK.....	počty kolonií
TAČR.....	Technologická agentura České republiky
ZFn.....	formazínová jednotka
PiVo.....	Pitná Voda
WHO.....	World Health Organization
KTJ.....	kolonie tvořící jedinci
AWWA.....	American Water Works Association
MRT.....	mean residence time
GIS.....	geografický informační systém
DPH.....	daň z přidané hodnoty
ČSÚ.....	Český statistický úřad
Eurostat.....	Statistický úřad Evropské unie
PVC.....	polyvinylchlorid
DN.....	jmenovitý vnitřní průměr potrubí (Diamètre Nominal)
PE.....	polyethylen
TP.....	tlakové pásmo
VDJ.....	vodojem
RV.....	redukční ventil
MO.....	měrný okrsek
Q.....	objemové průtočné množství
HZS.....	hasičský záchranný sbor

SEZNAM PŘÍLOH

1. Hodnocení stáří vody ve vodovodní síti

SUMMARY

The bachelor thesis first focused on a detailed research of Czech and foreign literature, analysing the factors that most affect the age of water and looking into the causes and consequences of increasing water age, including the perception of water quality by the customers. The information that water in the supply systems can be characterised by its age has been available for quite a long time. However, in a way, this is still a relatively new topic, because the literature has not yet come to clear conclusions about the impact of increasing water age on water quality. Recent literature presents research that refutes earlier conclusions, which is mainly due to the fact that each water supply network behaves differently and has specific conditions, resulting in different conclusions. It is essential to pay individual attention to each distribution network and to build on the knowledge available so far.

The practical part of the thesis includes an analysis of water age using the simulation tool EPANET 2.2. Simulation tools are an integral part of the evaluation, and without their use, the process of determining the water age would be extremely laborious and inaccurate. The average annual age of the water in the network was found to be relatively low at 50,5 h. This average age is increased by the dead ends of the network, whose length of 189.8 m represents 0,8 % of the total length of the network. Of the total volume of water in the network, dead ends account for 0,35 %, i.e. 0,7 m³. It is very likely that sediments accumulate in these dead ends and biofilm growth occurs. A certain part of the operator's attention should be directed to these sections - they should be cleaned and flushed more frequently to prevent the water of poor quality from spreading to other parts of the network. Two different periods were selected for the analysis of the network behaviour - winter and summer. The analysis showed that the most common water age interval with respect to the length of the network is the 40–60 hrs age interval, which is valid for all simulation periods. The conclusion, which is valid for this shared water supply system, is that the water age in the summer period will always be lower than in the winter period. In summer, the largest part of the network lies in the interval of 1–2 days of age, in winter, the largest part of the network lies in the interval of 2–3 days of age. It was also established that a large part of the network, regardless of the simulation period, has very low velocity and flow rate. This indicates that in most cases high water age occurs in these parts of the network, and it may lead to water quality degradation. The periods chosen made it possible to observe the changes that occur within the network depending on the volume of consumption. For example, the average age of water in summer and winter differs by 14.3 hours. The contribution of the thesis is annex no. 1 Evaluation of water age in the water supply network, which summarizes the important outputs of the water supply network analysis. Evaluation of the annual average network variables alone would not make it possible to observe the dynamic behaviour of the network. Using the statistical evaluation of the data provided by

EPANET 2.2, it was possible to demonstrate the theoretical knowledge of the network behaviour. In order to find specific correlations, it would be worth conducting the same analysis, or at least a similar one in a network of comparable characteristics and size, so that the results could be compared and evaluated. The choice of input data is also an important factor that contributes to the results. The evaluation of the change in water consumption could be based on measured volumes extracted from the source wells or on the volume that flowed into the storage tank. In this thesis, the first option was selected. The question is to what extent the results would have been affected if the analysis had been carried out in the second way.

The analysis undertaken only provides us with a statistical evaluation of the behaviour of the variables occurring in the network but does not tell us anything about the specific qualitative conditions in the network. It cannot be clearly stated what water quality conditions are present at a given site under examination. It only represents a processing of raw data, which does not clearly indicate specific conditions in the network. Another approach to investigating this shared water supply could be to measure water quality parameters in the sections falling within the age intervals being assessed. The water quality data measured in this way would serve as a basis for further processing and evaluation of the overall condition of the shared water supply. The fundamental question of whether increasing water age has an effect on the quality of the water in the network could be answered. If such a water quality measurement campaign were carried out both in summer and winter, the second key question could be answered, i.e. whether the change in water consumption during the year has an impact on water quality. These questions cannot be answered unequivocally with the current state of knowledge. This procedure is time-consuming and costly and provides information of a scientific nature. In order to improve water quality itself, a practicable approach could be taken, namely gradually reducing the dimensions of the pipes in the network. This could reduce the average age of the water in the network and improve the quality of the water supplied. Another possible approach could be to conduct a study to demonstrate or refute the notion whether the increasing age of water in the network is perceived by customers. The study would provide a valuable basis for network operators.