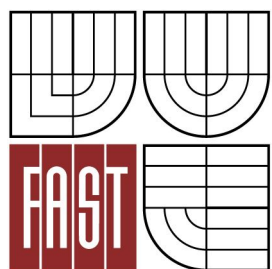




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ANALÝZA RIZIK VODOVODU OBCE HRÁDEK U SUŠICE

RISK ANALYSIS OF THE HRADEK WATER SUPPLY SYSTEM

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

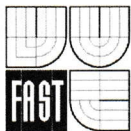
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. LENKA HOFMANNOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. JAN RUČKA, Ph.D.

BRNO 2016




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program N3607 Stavební inženýrství
Typ studijního programu Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
Studijní obor 3607T027 Vodní hospodářství a vodní stavby
Pracoviště Ústav vodního hospodářství obcí

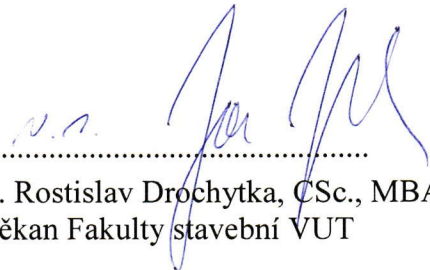
ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Diplomant Bc. Lenka Hofmannová
Název Analýza rizik vodovodu obce Hrádek u Sušice
Vedoucí diplomové práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.
Datum zadání diplomové práce 31. 3. 2015
Datum odevzdání diplomové práce 15. 1. 2016

V Brně dne 31. 3. 2015


.....
doc. Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.
Vedoucí ústavu




.....
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA
Děkan Fakulty stavební VUT

Podklady a literatura

- [1] ČSN IEC 300-3-9, Management spolehlivosti – Část 3: Návod k použití – Oddíl 9: Analýza rizika technologických systémů, Český normalizační institut, Praha, 1997
- [2] ČSN EN 60812, Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA), Český normalizační institut, Praha, 2007
- [3] TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J. Hazard identification and risk analysis of water supply systems, 2nd Leading Edge Conference on Strategic Asset Management - LESAM 2007, Lisbon, p. 104.
- [4] TUHOVČÁK, L.; RUČKA, J. a kolektiv. WaterRisk - Analýza rizik veřejných vodovodů, CERM Brno, 2010, 254 s. ISBN 978-80-7204-676-8.

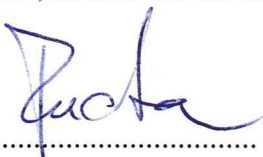
Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)

V rámci diplomové práce bude provedena analýza rizik malého veřejného vodovodu v obci Hrádek u Sušice. Analýza bude provedena s ohledem na množství a jakost distribuované vody. V úvodu prací bude proveden podrobný terénní průzkum spotřebiště a všech objektů vodovodu. Analýza rizik bude zpracována v souladu s dříve vyvinutou metodikou WaterRisk.

Struktura bakalářské/diplomové práce

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

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



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

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na analýzu rizik veřejného vodovodu menší obce. S využitím nástrojů identifikace, kvantifikace a řízení rizik veřejných systémů zásobování pitnou vodou byl řešen projekt WaterRisk, za pomoci kterého byla vyvinuta metodika a software pro analýzu rizik veřejných vodovodů. Tato metodika je v práci aplikována na vodovodu obce Hrádek u Sušice. Pro důkladné poznání vodovodu a jeho charakteristického chování byla provedena hydraulická analýza. Díky znalosti celého systému, jeho fungování a nejčastějších závad mohla být provedena analýza rizik. Vyhodnoceny a porovnány jsou výsledky analýzy pro vodovod, který je uvažován jako systém jednoduchý i komplexní. V rámci komplexní metodiky byla navržena nápravná opatření pro eliminaci počtu rizik a stanoveny byly optimální náklady, které těmto nápravným opatřením odpovídají.

KLÍČOVÁ SLOVA

Analýza rizik, nápravné opatření, následek, nežádoucí stav, pravděpodobnost, riziko, systém zásobování vodou, WaterRisk.

ABSTRACT

The diploma thesis is focused on risk analysis of water supply system in a small community. The WaterRisk project was solved by using tools of risk management including risk identification and quantification in the field of public water supply systems. Methodology and software for the risk management of water supply were evolved by using this project. In this thesis there is applied the methodology to the water supply system of Hradek village. The hydraulic analysis was performed for a thorough knowledge of water supply and its characteristic behavior. Risk analysis could be performed thanks to the knowledge of the entire system, its working and the most common faults. Analysis results are evaluated and compared for the water supply system which is consider like a system simple and complex. The corrective actions eliminate number of risks. These actions were proposed like a part of complex methodology. Further, there were determined optimal costs which corresponds with these corrective actions.

KEY WORDS

Consequence, corrective action, probability, risk, risk analysis, undesired event, WaterRisk, water supply system.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE VŠKP

Bc. Lenka Hofmannová. *Analýza rizik vodovodu obce Hrádek u Sušice*. Brno, 2016. 87 s., 18 s. příloh. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí. Vedoucí práce Ing. Jan Ručka, Ph.D.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracovala samostatně a že jsem uvedla všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

.....
podpis autora

Bc. Lenka Hofmannová

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych vyjádřila poděkování panu Ing. Janu Ručkovi, Ph.D., vedoucímu této diplomové práce, za rady a věcné připomínky týkající se řešené problematiky. Dále děkuji panu Ing. Josefu Kutilovi, který zastává funkci starosty obce Hrádek u Sušice a panu Čěňku Šebestovi, provoznímu technikovi obce, za vstřícnost a poskytnutí nezbytných informací a podkladů, bez kterých by tato diplomová práce nevznikla.

OBSAH

1	ÚVOD	9
1.1	Analýza rizik vodárenských systémů	9
1.1.1	Definice	9
1.1.2	Vývoj	10
1.1.3	Aplikované metodiky v analýze rizik	11
1.2	Projekt a metodika WaterRisk	13
1.2.1	Základní informace o projektu	13
1.2.2	Postup provádění analýzy rizik metodikou WaterRisk	14
1.3	Cíl práce	19
2	VODOVOD OBCE HRÁDEK U SUŠICE	20
2.1	Obec Hrádek u Sušice	20
2.2	Popis vodárenského systému obce	21
2.2.1	Zdroj vody a akumulace	21
2.2.2	Vodojem	22
2.2.3	Vodovodní řady	25
2.3	Hydraulická analýza vodovodní sítě	27
2.3.1	Dostupné podklady	27
2.3.2	Měrná kampaň	28
2.3.3	Hydraulický model vodovodní sítě	35
2.3.4	Výsledky hydraulické analýzy	36
2.3.5	Měření jakosti vody	36
2.3.6	Řízený proplach	38
2.3.7	Zásobování požární vodou	39
2.4	Závady a problémy vodovodu	39
2.4.1	Zdroje vody	39
2.4.2	Vodojem	39
2.4.3	Vodovodní řady	41
2.4.4	Preventivní opatření	44
3	ANALÝZA RIZIK VODOVODU OBCE HRÁDEK U SUŠICE	45
3.1	Softwarová aplikace	45
3.2	Jednotlivé kroky analýzy rizik	45
3.2.1	Dostupné podklady	45
3.2.2	Evidence majetku	46
3.2.3	Volba metodiky	48
3.2.4	Deskripce systému	48
3.2.5	Identifikace nebezpečí	50
3.2.6	Analýza rizik	52
3.3	Jednoduchá metodika analýzy rizik	52
3.3.1	Přehled hodnocení jednoduché metodiky	52

3.3.2	Nežádoucí stavy vodovodu (vodní zdroje).....	54
3.3.3	Nežádoucí stavy vodovodu (distribuční síť)	54
3.4	Kompexní metodika analýzy rizik	56
3.4.1	Přehled hodnocení komplexní metodiky	56
3.4.2	Nežádoucí stavy vodovodu (vodní zdroje).....	57
3.4.3	Nežádoucí stavy vodovodu (distribuční síť)	59
3.4.4	Nápravná opatření	63
3.5	Porovnání výsledků obou metodik.....	71
3.5.1	Postupy hodnocení metodik	71
3.5.2	Rozdílné výsledky hodnocení nežádoucích stavů	72
3.5.3	Výsledek porovnání obou metodik.....	75
4	ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ.....	76
5	POUŽITÁ LITERATURA	78
	SEZNAM TABULEK	80
	SEZNAM GRAFŮ	82
	SEZNAM OBRÁZKŮ	83
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	84
	SEZNAM PŘÍLOH.....	87

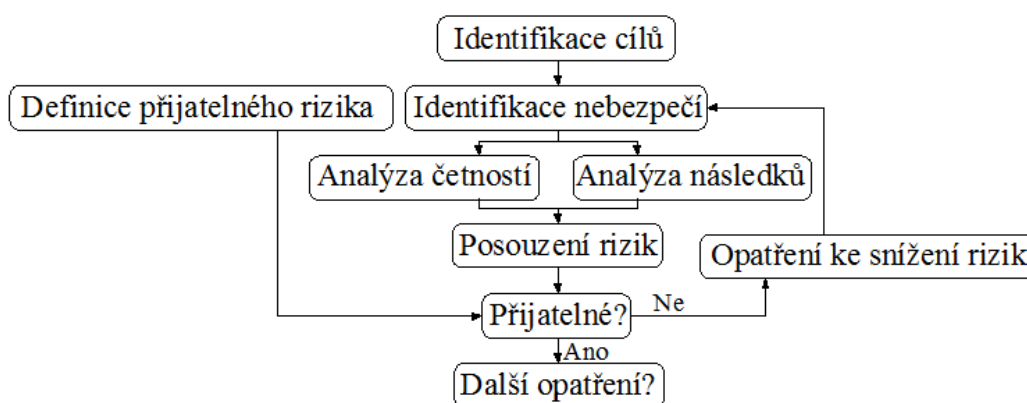
1 ÚVOD

Diplomová práce se zabývá rizikovou analýzou vybraného vodovodu obecního typu. Práce je rozdělena do tří částí. V úvodní části je shrnut současný stav problematiky analýzy rizik s ohledem na obecné využití metodik. Pozornost je dále věnována projektu WaterRisk, jehož metodika je aplikována na vodovodu obce Hrádek u Sušice. Další část je zaměřena na detailní popis systému zásobování vodou vybrané obce, popisuje provedení terénní průzkum a výsledky hydraulické analýzy vodovodní sítě. Konečně třetí část se zabývá popisem provedené analýzy rizik vodovodu, uvádí výstupy analýzy vodovodu jako jednoduchého a komplexního systému a porovnává vhodnost použití metodik pro daný typ vodovodu. Kapitola zahrnuje stanovení nápravných opatření a určení nákladů, které jsou s těmito opatřeními spojeny. Zároveň určuje míru optimálních nákladů, které by mohly být vynaloženy pro eliminaci optimálního počtu rizik v systému zásobování vodou obce.

1.1 ANALÝZA RIZIK VODÁRENSKÝCH SYSTÉMŮ

1.1.1 Definice

Pro sousloví analýza rizik neexistuje žádná kompletně uznávaná definice, její podstatu můžeme vyjádřit jako systematické využití dostupných informací k identifikaci možných nebezpečí a ke kvantifikaci rizik, která mohou z daných nežádoucích stavů vyplynout [1]. Sestává ze tří částí, kterými jsou identifikace nebezpečí, analýza četností a analýza následků. Zakončena je hodnocením rizik, které představuje porovnání výsledků analýzy a určení přijatelnosti, resp. nepřijatelnosti daného rizika.



Obr. 1.1 Proces analýzy a řízení rizik [2].

Je vhodné definovat vybrané pojmy, které jsou v rizikové analýze nejčastěji používány [1]:

Riziko definujeme jako kombinaci následků a pravděpodobností daných nežádoucích stavů. Lze ho vyjádřit následujícím vztahem [3]:

$$R = P \cdot C \quad (1.1)$$

kde: R ... míra rizika,

P ... pravděpodobnost výskytu nežádoucího stavu,

C ... následek daného nežádoucího stavu.

Pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu představuje bezrozměrnou veličinu vyjadřující míru spolehlivosti predikce tak, jak ji určují informace týkající se výskytu nejisté budoucí události.

Následek představuje škody způsobené vznikem nežádoucího stavu a tvoří jednu ze základních složek rizika. Stanoví se jako celková kombinace dílčích kategorií následků, kterými jsou zdravotní, ekonomické, sociálně ekonomické a environmentální následky.

K nežádoucímu stavu dojde v případě, kdy objekt či prvek systému ztratí svou schopnost plnit požadovanou funkci. Je definován vždy pro konkrétní prvek systému pomocí dílčích faktorů.

Přítomnost nebezpečí v systému je potenciálem pro vznik nežádoucího stavu, ze kterého dále plynou příslušné následky. Nebezpečí přírodní, společenská a technologická představují tři základní skupiny, do kterých všechna nebezpečí dělíme.

Identifikace nebezpečí je proces rozpoznání, že nebezpečí v systému existuje a dále definuje jeho charakteristiky. Zahrnuje systematické přezkoumání systému a rozpoznáváme jím všechna známá nebezpečí.

Kvantifikace rizika představuje poslední krok rizikové analýzy a udává míru rizika vyjádřenou číselně, graficky či slovně.

Hodnocení rizika vytváří úsudek o přijatelnosti rizika. Jde o rozhodnutí, zda je dané riziko přijatelné, či nikoli.

Nejistota představuje formu neurčitosti. Jde o vyjádření nedostatku úplné znalosti systému, popř. pochybnosti o výstupu. Nejistoty mohou být zahrnuty v chybách měření, pozorování, komplexní předpovědi, náhodnosti přírody, přesnosti modelu, chování lidí apod.

K nápravným opatřením se přistupuje v případě, kdy výsledky monitoringu vykazují odchylku od provozního či kritického limitu. Cílem je vrácení sledovaného ukazatele zpět na požadovanou hodnotu a zamezení tak vzniku příslušného nežádoucího stavu.

1.1.2 Vývoj

První myšlenka aplikace této analýzy na vodárenské systémy se objevila v roce 1994. Šlo o systém *Hazard Analysis and Critical Points (HACCP)*. *Hazard Analysis and Critical Control Points* neboli Analýza rizik a kritické kontrolní body je komplexní metodikou, která se využívá v potravinářském průmyslu. Identifikuje, kde v procesu může dojít ke kontaminaci

a brání tak vzniku potenciálního rizika [4]. Cílem metodiky je vyvarování se produkce jakostně nevyhovujícího výrobku. Děje se tak na základě předem vybraných ukazatelů, jejichž jakost je monitorována v tzv. kritických kontrolních bodech (CCP). Tato metoda je stále považována za nejefektivnější způsob řízení jakosti výroby a výrobci potravin ji musí na území Evropské unie, dle platné legislativy, využívat. [1].

Od roku 2000 se postupně rozšiřují případy uzákonění tohoto systému velkými vodárenskými společnostmi a v roce 2004 se stal oficiální strategií Světové zdravotnické organizace systém analýzy rizik pod názvem *Water Safety Plans* (WSP) čili Plány pro zajištění bezpečnosti vody [5]. Podstata WSP se zakládá na principu HACCP a jeho cílem je minimalizovat riziko výroby a distribuce vody nevyhovující kvality. Jde o formu plánu, který vyznačuje odůvodněná rizika v systému, určuje jejich prioritu a opatření, kterými se mohou eliminovat [1].

V roce 2009 byl Světovou zdravotnickou organizací ve spolupráci s Mezinárodní asociací pro vodu (*International Water Association – IWA*) vyvinut manuál pro aplikování WSP na jakýkoli systém. Manuál obsahuje, kromě kompletního popisu jednotlivých kroků metodiky, také tři případové studie (Austrálie, Latinská Amerika a Velká Británie), které se od sebe druhem systému zásobování vodou liší. Klasický postup je vždy zahájen deskripcí celého systému a všech jeho prvků, následuje identifikace nebezpečí a nežádoucích stavů s vyhodnocením rizika. Třetí krok je určení a ověření vhodných opatření pro prevenci rizik, následovaný definicí kontrolních opatření, která se budou dále sledovat. Na základě hodnot získaných kontrolou opatření se provádí ověření účinnosti WSP, tzv. validace, která stanovuje, zda jsou jednotlivá opatření skutečně efektivní. Celý proces je završen plánováním a prováděním pravidelných revizí systému s tím, že po každém incidentu je nutné vypracovaný WSP aktualizovat [6].

S uvedeným konceptem WSP plně koresponduje metodika vyvinutá v rámci projektu WaterRisk, která je blíže popsána v následujících podkapitolách.

1.1.3 Aplikované metodiky v analýze rizik

Řízení rizik představuje rozsáhlou problematiku, kterou lze užitím vybraných metodik aplikovat v nejrůznějších oborech lidské činnosti. Tato disciplína zahrnuje nespočet metod a technik prevence rizik, jejichž výčet následuje spolu s popisem vybraných metodik, které se uplatňují při rizikové analýze vodárenských systémů.

Metodiky rizikové analýzy se člení dle jednotlivých kroků samotné analýzy. V chronologickém výčtu se jedná o identifikaci nebezpečí, analýzu četností a analýzu následků [1].

Identifikace nebezpečí

Do identifikace nebezpečí zahrnujeme zkoumání daného systému zásobování vodou spolu s typem nebezpečí, které může v systému nastat. Dvě skupiny metod, které pro identifikaci nebezpečí můžeme využít, jsou *Hazard Identification* (HAZID) a *Hazard and Operability Study* (HAZOP) [1].

První skupina metod, *Hazard Identification*, představují základní metody s nízkými nároky na vstupní informace. Jde o identifikaci typu nebezpečí, které se v systému vyskytuje a je mu vlastní, spolu se způsoby, jakými by mohlo k nebezpečí dojít [2]. Jedním z takových strukturovaných popisů je tzv. *Checklist* (kontrolní seznam). Jde o velmi jednoduchou techniku využívající seznam položek a poznatků získaných z dřívějších analýz podobných systémů. Jednotlivé položky lze libovolně upravovat, doplňovat či rozšiřovat [7].

Další metodou, spadající do metod HAZID, je metoda *What – If* („Co se stane, když ...“). Tento postup je výhodný především pro tvorbu scénářů nebezpečí. Při tomto strukturovaném brainstormingu, kterého se účastí skupina zkušených lidí vedená moderátorem, se pokládá řada otázek, které mají za společný cíl určit možné dopady [8]. Vyšší systematickosti této analýzy je zaručena využitím dříve vytvořených kontrolních seznamů [1].

Druhá technika metod pro identifikaci nebezpečí, HAZOP neboli Studie nebezpečí a provozuschopnosti, systematicky vyhodnocuje každou část systému, aby se ukázalo, jak může dojít k odchylkám od záměru návrhu a zda mohou tyto odchylky způsobit problémy [2]. Výsledky techniky jsou formulovány v závěrečném doporučení, které směřuje ke zlepšení procesu či systému. Použití této techniky je vhodné zejména pro analýzu rizik procesu úpravy vody a distribuční část systému zásobování vodou [1].

Analýza četností a analýza následků

Sloučením analýzy četností a analýzy rizika se provádí odhadování rizika. První metodou spadající do této skupiny je *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* (FMECA), neboli Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch. Často jde o první použitou metodu při ohodnocení rizika, při které jsou prověřeny postupně všechny součásti systému s uvažováním druhů a způsobů jejich nežádoucích stavů, příčiny těchto nežádoucích stavů a následky. Pro každou položku je odhadnuta pravděpodobnost, následky a je vyhodnoceno riziko. To je kvantifikováno jako kombinace následků a pravděpodobností pomocí matice rizik [1]. Analýza FMECA je vlastním rozšířením *Failure Mode and Effects Analysis* (FMEA), neboli Analýzy způsobů a důsledků poruch, s uvažováním kritičnosti jednotlivých poruch.

Další technikou je *Fault Tree Analysis* (FTA) – Analýza stromu poruchových stavů. Jedná se o kombinaci identifikace nebezpečí a analýzy četností. Začíná nežádoucími událostmi a postupně určuje všechny způsoby, kterými mohlo k těmto nežádoucím událostem dojít. Jejím výsledkem je grafický výstup [2]. Toto znázornění zobrazuje tzv. vrcholovou událost,

tedy jakýkoli negativní jev, ke kterému může dojít, a vzájemné vztahy v systému s jejími možnými příčinami. Využívá se k tomu standardizovaný systém grafických značek, který se používá při konstrukci grafických stromů poruchových stavů [1].

Další metoda se využívá k identifikaci možných následků a jejich pravděpodobností, které jsou způsobené počáteční událostí. Jde o analýzu stromu událostí – *Event Tree Analysis* (ETA), která k tomuto postupu využívá způsob induktivního myšlení [2]. Stromový diagram začíná tzv. iniciující událostí a systematicky pokrývá navazující události směrem k definovaným následkům. Nejdříve je nutné odhadnout všechny iniciující události [1]. ETA je vhodná pro identifikaci událostí, které vyžadují další analýzu pomocí FTA.

Popsány byly nejzásadnější metodiky využívané při analýze rizik. Následující kapitola popisuje vyvinutou metodiku WaterRisk, která v sobě zahrnuje prvky z výše uvedených metodik.

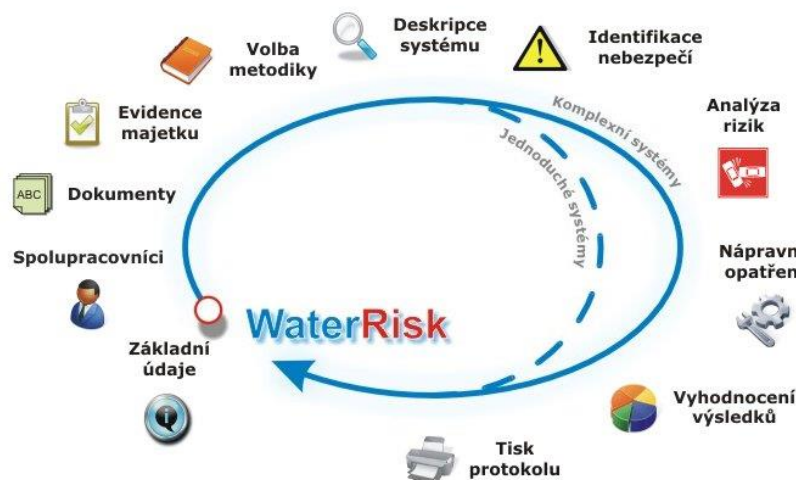
1.2 PROJEKT A METODIKA WATERRISK

1.2.1 Základní informace o projektu

V rámci společného projektu Evropské komise a Světové zdravotnické organizace, který byl zahájen v roce 2006 a jehož účelem bylo vyhodnotit dosavadní zkušenosti s aplikací rizikové analýzy a rizikového managementu (RA-RM) při výrobě pitné vody v Evropě, byl řešen výzkumný projekt s označením 2B06039 – Identifikace, kvantifikace a řízení rizik veřejných systémů zásobování pitnou vodou (WaterRisk). Koordinátorem projektu bylo Vysoké učení technické v Brně a spoluřešiteli Státní zdravotní ústav v Praze a Vodárenská akciová společnost, a. s., Brno. Řešení projektu bylo ukončeno 30. 6. 2010 [5].

Při řešení tohoto projektu byla vyvinuta metodika pro provádění analýzy rizik systémů zásobování pitnou vodou. Ta jednotně stanovuje úroveň dekompozice systému na jeho jednotlivé prvky, vybrané metody analýzy rizik, způsob kvantifikace rizika, výpočet nejistot a časovou platnost provedené analýzy [1].

Výsledný software, který byl vyvinut jako podpůrný prostředek pro aplikaci této metodiky, je určen zejména provozovatelům vodovodů, aby mohli sami posoudit provozovaný systém zásobování vodou, odhalili slabá místa a v rámci řešení navrhli nápravná opatření k redukci rizik [5].



Obr. 1.2 Aplikace WaterRisk - úvodní menu projektu.

1.2.2 Postup provádění analýzy rizik metodikou WaterRisk

Podle metodiky WaterRisk se skládá analýza rizik ze tří hlavních kroků. Jsou jimi popis systému, analýza nebezpečí a odhadování rizik. Odhadování rizik pak sestává z analýzy četností a analýzy následků. S ohledem na charakter systému zásobování vodou (dále jen SZV) rozlišujeme analýzu vodovodu pomocí metodiky jednoduché a komplexní [1].

Dekompozice a deskripce systému

Stěžejním krokem analýzy je důkladný popis celého systému zásobování vodou od jednotlivých zdrojů, přes úpravu a akumulaci vody až po distribuci pitné vody. Analyzovaný systém se definuje postupně od popisu základní struktury, následného rozdělení na subsystémy a prvky systému až po popis jednotlivých prvků [1]. Metodika je dále logicky členěna do tří technologických částí. Jde o vodní zdroje, úpravu vody a distribuční systém.

Pomoc při dekompozici systému poskytuje metodika ve formě Katalogu prvků SZV. Jde o detailní seznam všech prvků, které se v rámci jakéhokoli SZV mohou vyskytnout. V katalogu jsou rozlišovány jednotlivé typové části [1]:

- Vodní zdroje – podzemní, povrchové, smíšené,
- úpravna vody – procesy předúpravy, mechanického předčištění, úpravy a doúpravy vody, kalové a chemické hospodářství,
- distribuční systém – vodojemy, čerpací stanice, příváděcí a zásobní řady, vodovodní síť a objekty na síti.

Při samotném popisu takto rozděleného SZV pak využíváme následující informace [1]:

- Obecné informace o počtu obyvatel bydlících v oblasti a počtu obyvatel zásobovaných pomocí SZV, objem vody vyrobené k realizaci, stručný popis systému a jeho lokalizaci,
- druhy, počty a využitelné kapacity vodních zdrojů,
- počet úpraven vod, jejich využitelné kapacity a používané technologie,
- celkovou délku distribučního systému, jeho jednotlivých řadů, trubní materiály a profily, vodoměry, čerpací stanice, vodojemy, tlaková pásma.

Co naopak není zahrnuto do této analýzy, jsou vnitřní vodovody zásobovaných objektů. Tyto části jsou mimo správu a odpovědnost provozovatele vodovodu a z toho důvodu není provozovateli znám jeho stav či detailní informace o jeho využívání.

Jednoduchý a komplexní systém a volba metodiky

Vodárenské systémy lze rozdělit na jednoduché a komplexní dle pěti hlavních kritérií, která jsou uvedena v následující tabulce. U každého kritéria je stanovena hranice mezi oběma systémy.

Tab. 1.1 Kritéria rozdělení systémů na jednoduché a komplexní [1].

Kritérium	Hranice	Systém
Počet zásobovaných obyvatel	0 až 2 000	<i>jednoduchý</i>
	2 001 a více	<i>komplexní</i>
Počet vodovodních přípojek	0 až 500	<i>jednoduchý</i>
	501 a více	<i>komplexní</i>
Délka sítě [m]	0 až 10 000	<i>jednoduchý</i>
	10 001 a více	<i>komplexní</i>
Objem vody vyrobené k realizaci [m ³ ·rok ⁻¹]	0 až 75 000	<i>jednoduchý</i>
	75 001 a více	<i>komplexní</i>
Složitost použité technologie úpravy vody	-	<i>jednoduchý</i> Systém bez úpravy vody, pouze s dezinfekcí, odkyselováním nebo provzdušňováním.
	-	<i>komplexní</i> Jakákoli jiná technologie než u jednoduchého systému. Je-li evidována úprava vody, pak je systém automaticky považován za komplexní.

Vodovod lze označit za jednoduchý v tom případě, pokud alespoň ve třech kritériích z celkových pěti dosáhne ohodnocení jako jednoduchý a zároveň není v majetkové evidenci

vedena úpravna vody s technologií. Jako komplexní systém je pak vyhodnocen takový vodovod, který obě zmíněné podmínky nespĺňuje. Toto rozdělení lze brát pouze jako doporučující v případě, kdy je dán požadavek na velmi podrobnou analýzu a jednoduchý systém tak můžeme analyzovat komplexní metodikou. Opačný postup však možný není [1]. Uvedené rozdělení vodárenských systému se provádí z důvodu rozdílného postupu analýzy rizik, zatímco kvantifikace rizik probíhá u obou metodik shodně pomocí matice rizik.

Další rozdíl mezi oběma metodikami spočívá v časové platnosti analýzy. Z důvodu nekonstantních podmínek okolního prostředí, legislativy, personálu, použitých materiálů a technologických součástí systému, je nutné po určité době analýzu rizik aktualizovat a zahrnout tak nové změny do stávajícího vyhodnocení daného systému. Platí, že u analyzování komplexních systémů je doba platnosti právě tak dlouhá, jak dlouhá je její nejkratší doba platnosti jedné ze tří součástí SZV dle zahrnutých faktorů. Oproti tomu jednoduché systémy určení časové platnosti dle faktorů nezahrnují a časová platnost se stanovuje pouze paušálně pro celý systém. Toto období je shodné v rozmezí tři až pěti let, poté se doporučuje provést celou rizikovou analýzu dle dané metodiky znovu [1].

Analýza nebezpečí

V této části analýzy rizik se provede identifikace nebezpečí pro každý technologický celek systému zvlášť. Definujeme tím, které nebezpečí může být v dané části SZV přítomno, tedy každé známé nebezpečí. Zbylá nebezpečí jsou pak příčinou zbytkového rizika [1]. V metodice je pro tuto část připraven Katalog nebezpečí.

Dle zdroje, který může v systému dané nebezpečí vyvolat, rozeznáváme tři základní druhy. Jsou to nebezpečí přírodní (slunce, vítr, dešť, zemětřesení aj.), společenská (chování odběratelů vody, způsob provozování systému a údržba, činnost v dopravě, zemědělství aj.), technická a technologická nebezpečí (poruchy strojních zařízení, stáří materiálu, dodávky elektrické energie aj.) [1].

Analýza nebezpečí je vyhodnocena jak z pohledu vzniku vybraných nebezpečí, která mohou nastat a pro která se hodnotí riziko, tak z pohledu míry nebezpečí. Míra nebezpečí se stanovuje pro každou ze tří částí SZV samostatně.

Analýza rizik

Analýza rizik, sloužící pro odhadování rizik, se provádí pro ty nežádoucí stavy, které byly vygenerovány v předchozím kroku na základě stanovení možných nebezpečí. K dispozici je Katalog nežádoucích stavů, který definuje možné nežádoucí stavy pro každý prvek systému zvlášť. Analýza sestává z analýzy četností a analýzy následků nežádoucího stavu [1].

Analýza četností spočívá ve stanovení pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu. Výstupem je referenční stupnice pravděpodobnosti vzniku nežádoucího stavu:

- P0 – nulová pravděpodobnost,

- P1 – nepravděpodobné (tzn. méně než 1x za rok),
- P2 – pravděpodobné (tzn. 1x týdně až ročně),
- P3 – jisté (tzn. 1x týdně a častěji).

Analýza následků nežádoucího stavu rozděluje kategorie následků na čtyři rovnocenné skupiny. Jsou jimi následky povahy zdravotní, ekonomické, sociálně ekonomické a environmentální. Vyhodnocení se provádí v rámci pěti stanovených úrovní:

- C0 – žádné/nevýznamné následky,
- C1 – nízké následky,
- C2 – středně vysoké následky,
- C3 – vysoké následky,
- N' – nehodnoceno (např. v případě nedostatku vstupních informací a hodnocení se pak započítává do celkového ukazatele nejistoty).

Celkovým výstupem analýzy rizik, tedy sloučením analýzy četností a analýzy následků, je kvantifikace rizik v podobě matice rizik. Riziko je zde stanoveno jako kombinace pravděpodobnosti a následku. Matice uvádí pouze nenulové hodnoty pravděpodobností (P1, P2, P3) a následků (C1, C2, C3), jelikož riziko, kde je alespoň jeden z činitelů nulový, je také nulové. Riziko je stanoveno zvlášť pro každou z technologických částí SZV a slovně hodnotit ho lze dle následující matice.



Vyhodnocení výsledků

Hodnotící stupeň		Následky		
		C1	C2	C3
Pravděpodobnost	P1	0 / 0 / 0 K1 - zanedbatelné	0 / 0 / 0 K2 - nízké	0 / 0 / 0 K3 - střední
	P2	0 / 0 / 0 K2 - nízké	0 / 0 / 0 K3 - střední	0 / 0 / 0 K4 - vysoké
	P3	0 / 0 / 0 K3 - střední	0 / 0 / 0 K4 - vysoké	0 / 0 / 0 K5 - velmi vysoké

Obr. 1.3 Aplikace WaterRisk - matice rizik.

Analýza nejistot

Nejistota představuje formu neurčitosti. Vyjadřuje možnost mýlit se nebo pochybovat o výstupu. Můžeme říct, že nejistota je měřítkem kvality výstupu a ovlivňuje věrohodnost výsledků analýzy rizik. Při aplikaci metodiky WaterRisk je systém hodnocení nejistot zaveden pouze u hodnocení vodovodů jako komplexních systémů, u jednoduchých systémů uvažován není [1].

Hlavními zdroji nejistot, které jsou při analýze rizik rozlišovány, jsou:

- Nejistoty vstupních dat zahrnující nedostatek vstupních informací nebo nespolehlivá data,
- nejistota správnosti použité metody nebo postupu,
- nejistota detekce nežádoucích stavů, kdy není možné ověřit, zda nežádoucí stav skutečně nastal,
- nepřesnosti měření,
- nahodilost přírodních jevů,
- nepředvídatelné chování člověka.

Rozlišujeme nejistoty stanovené při identifikaci nebezpečí, při analýze četností a nejistotu vstupních dat. V rámci provedení analýzy rizik se stanoví vždy dle následujícího vztahu [1]:

$$N = \frac{m}{n} \cdot 100 \% \quad (1.2)$$

kde: m ... počet odpovědí „nevím“ (identifikace nebezpečí), „nehodnoceno“ (analýza četností) či počet nedostupných podkladů,

n ... celkový počet odpovědí,

N ... nejistota.

Dle dílčí váhy každé uvedené nejistoty se stanoví nejistota všech vygenerovaných nežádoucích stavů u dílčích částí SZV, tedy zdrojů vody, úpravy vody a distribuce. Souhrnný ukazatel nejistoty analýzy rizik celého systému zásobování vodou se pak rovná maximální hodnotě nejistoty, která se v celém systému vyskytuje [1]:

$$N_{SZV} = \max(N_{ZDROJ}, N_{ÚV}, N_{DISTR}) \quad (1.3)$$

kde: N_{SZV} ... souhrnný ukazatel nejistot systému zásobování vodou,

N_{ZDROJ} ... souhrnný ukazatel nejistot analýzy rizik části vodních zdrojů,

$N_{ÚV}$... souhrnný ukazatel nejistot analýzy rizik části úpravy vody,

N_{DISTR} ... souhrnný ukazatel nejistot analýzy rizik části distribuce.

Přijatelný limit pro hodnotu ukazatele nejistoty SZV není pro krátkost existence této aplikace stanoven. Za kvalitní výsledky analýzy rizik můžeme považovat výsledek ukazatele nejistoty $N_{SZV} < 20 \%$. Za nedostatečně věrohodný výstup pak považujeme analýzu rizik se

stanovenou nejistotou $N_{SZV} > 40 \%$. Nutno je dále brát v potaz i ostatní, tedy subjektivně stanovené nejistoty, kterými jsou např. nahodilost přírodních jevů, chování člověka ve stresové situaci apod.

1.3 CÍL PRÁCE

Cílem diplomové práce je provedení analýzy rizik malého veřejného vodovodu v obci Hrádek u Sušice. Analýza byla provedena s ohledem na množství a jakost distribuované vody metodikou jednoduchou a následně komplexní. Pro provedení analýzy rizik byl nejprve proveden podrobný terénní průzkum spotřebiště a všech objektů vodovodu. Analýza rizik byla zpracována v souladu s dříve vyvinutou metodikou WaterRisk.

2 VODOVOD OBCE HRÁDEK U SUŠICE

Druhá kapitola se zaměřuje na samotný popis obce Hrádek u Sušice s detailním popisem vodárenského systému, který v obci zajišťuje dodávku pitné vody místním obyvatelům. Zahrnutý jsou i nejčastější závady, které se na vodovodní síti vyskytují a potenciální problémy, které jimi mohou být způsobeny.

2.1 OBEC HRÁDEK U SUŠICE

Hrádek se nachází přibližně 4 km na severozápad od obce Sušice. Tato část Plzeňského kraje, okresu Klatovy, spadá do oblasti předhůří Šumavy a dosahuje nadmořské výšky od 500 m n. m. a více [9]. Protéká jí říčka Ostružná, okolo které se sledovaná obec rozkládá. Zmíněný vodní tok protéká Hrádeckým mlýnským rybníkem o nadmořské výšce cca 478 až 494 m n. m. [10]. Dále vymezují prostor obce potok Kalný a Pstružná. Území náleží do hydrologického povodí Kalného potoka (č. h. p. 1-08-01-076) a dílčího povodí Ostružné (č. h. p. 1-08-01-076) [11]. Celá oblast spadá do správy Povodí Vltavy, s. p., konkrétně do povodí Horní Vltavy [12]. Nejvyšším bodem v okolí je vrchol Svatobor (845 m n. m.) a spolu s Ostružnou tak určují charakter terénu v okolí Hrádku, který je svažité. Tyto svahy jsou ponejvíce pokryty lesy, v menší míře pak loukami. Obec spadá do katastrálního území Hrádek u Sušice o celkové výměře 726 ha. Jedná se o obec se zástavbou rodinných domků, přičemž zahrnuje 228 staveb s číslem popisným a 20 staveb s číslem evidenčním.



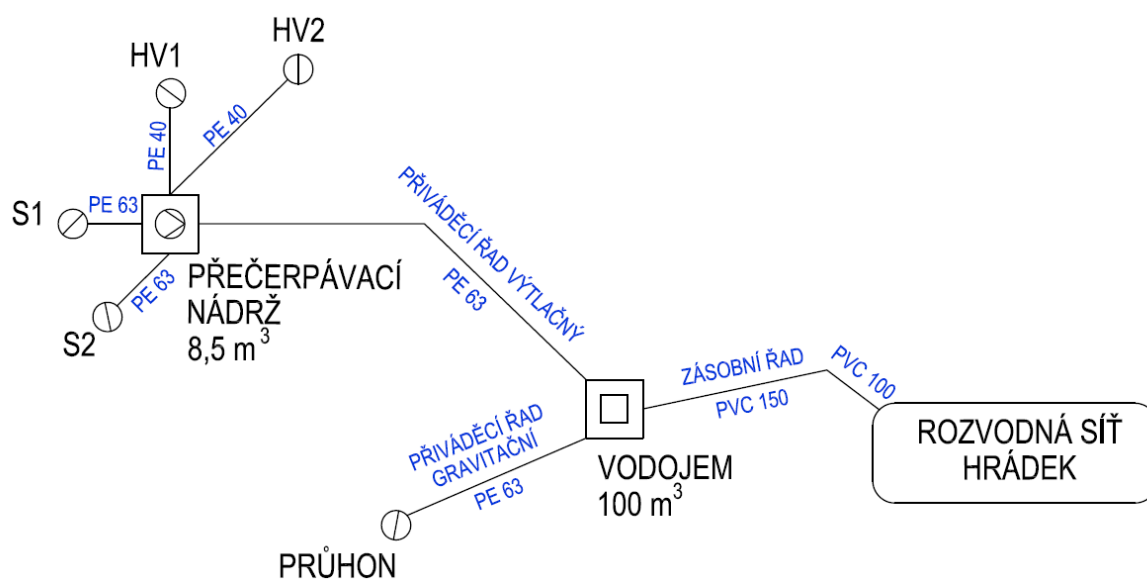
Obr. 2.1 Lokalizace obce Hrádek u Sušice s vyznačením Plzeňského kraje [27].

K 1. 1. 2014 žije v obci trvale 761 obyvatel, z toho je na vodovod napojeno 739 obyvatel (97 %). Občanskou vybavenost obce zajišťují následující zařízení, ke kterým je dle daných norem nutno zajišťovat dodávku pitné vody, jsou to obecní úřad, pošta, samoobsluha, základní a mateřská škola, muzejní galerie, restaurace a ubytování „Zámek“ a např. sportovní vyžití v podobě Adventure golfu. Obec disponuje dobrou dopravní dostupností zajišťovanou

autobusovými i vlakovými spoji, leží na silnici II. třídy č. 187 Klatovy-Sušice a probíhá jí železniční trať č. 185 Klatovy-Horažďovice [9].

2.2 POPIS VODÁRENSKÉHO SYSTÉMU OBCE

V současné době je obec zásobena pitnou vodou z vodovodu pro veřejnou potřebu. Vlastníkem tohoto vodovodu je obec Hrádek, zatímco provozovatelem jsou Šumavské vodovody a kanalizace, a. s. [11]. Následující schéma zobrazuje uspořádání vodovodního systému v obci spolu s rozdělením řadů.



Obr. 2.2 Schéma vodárenského systému obce Hrádek.

2.2.1 Zdroj vody a akumulace

Obec je zásobena pitnou vodou celkem ze tří oblastí. První z nich je prameniště Průhon, které bylo vybudováno roku 1973 a jehož celková vydatnost je $0,3 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Z tohoto prameniště je voda do vodojemu dopravována samospádem, jde o potrubí délky 457,0 m z PE 63 mm. Další je soustava kopaných studní S1 a S2, jejichž celková vydatnost činí $2,0 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Každá studna je tvořena pěti skružkami o průměru 1000 mm sahajícími do hloubky 4,5 m. Třetí oblastí sloužící k zásobování obce je soustava dvou hydrogeologických vrtů s označením HV1 a HV2. Vrtů čerpají vodu z hloubky 40 m s vydatností každého vrtu $2,5 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Vrtový profil zde činí 225 mm.

V blízkosti studny S1 je umístěna zásobní přečerpávací nádrž (dále jen PN), jejíž užitečný objem je $8,5 \text{ m}^3$. Vybudována byla v březnu 2005 a uvedena do provozu spolu s napojením na zdroje vody byla 12. 4. 2005. Do této přečerpávací nádrže je gravitačně dopravována voda ze zdrojů S1 a S2 potrubím délky 25,7 m a 54,7 m z PE 40 a dále z HV1 a HV2 pomocí potrubí

o délkách 128,2 m a 231,0 m, použitým materiálem je PE 63. Z přečerpávací nádrže potom vede výtlačné potrubí z PE 63 s celkovou délkou 1250 m zakončené ve vodojemu [11]. Přehledně je tento popis zobrazen v příloze č. 6. 2.

Tab. 2.1 Charakteristika zdrojů vody.

Zdroj vody	Vydatnost [$l \cdot s^{-1}$]	Potrubí do PN	Délka potrubí
Prameniště Průhon	0,3	PE 63 mm	457,0 m
Studna S1	1,0	PE 63 mm	25,7 m
Studna S2	1,0	PE 63 mm	54,7 m
Vrt HV1	2,5	PE 40 mm	128,2 m
Vrt HV2	2,5	PE 40 mm	231,0 m
Celkem [$l \cdot s^{-1}$]	7,3	Celkem [m]	896,6 m



Obr. 2.3 Rozvaděč a zabezpečení u přečerpávací nádrže.

Z přečerpávací nádrže jsou přes rozvaděč automaticky spínána čerpadla v pomocných zdrojích S1, S2, HV1 a HV2, dle výše hladiny v nádrži. Tato čerpadla jsou časovým spínačem zapnuta minimálně 1x denně z důvodu obměny vody v daných zdrojích. Průměrný odběr podzemní vody, souhrnně ze všech zdrojů, a současně hodnota maximálního povoleného odběru činí $2,0 l \cdot s^{-1}$ [11].

2.2.2 Vodojem

Z přečerpávací nádrže je voda dopravována výtlačným příváděcím řadem do jednokomorového vodojemu. Jedná se o železobetonový vodojem z roku 1972 o celkovém objemu $100 m^3$ s přidruženou armaturní komorou. Vodojem je umístěn před spotřebištem a polovina jeho zásobního objemu je využívána pro zásobení obce pitnou vodou, zbývajících $50 m^3$ tvoří požární zabezpečení. Výstroj vodojemu tvoří přívodní řad (potrubí PE 63 mm),

odběrné potrubí (PE 160 mm), přelivné potrubí (GG 100 mm), odpad z armaturní komory (kamenina 150 mm), který je vyústěn do otevřené strouhy [11]. Ve vodojemu je dále instalováno automatické zařízení pro snímání hladiny vody. Horní provozní hladina je ve výšce 537,10 m n. m. Dojde-li v akumulární nádrži vodojemu ke snížení hladiny, zařízení sepne čerpadlo v přečerpávací nádrži. Při dalším poklesu až na dvě třetiny z původního objemu vodojemu (100 m³) je pokles hladiny hlášen na mobilní telefon.



Obr. 2.4 Vstup do armaturní komory zemního vodojemu Hrádek.

V přidružené armaturní komoře je zajištěna manipulace s uzávěry na potrubí pouze ručně, a to na odběrném a vypouštěcím potrubí. Odečítání množství vody je množné díky osazeným vodoměrům na přítoku a na odtoku z vodojemu. Také zde dochází k dávkování dezinfekčního činidla z důvodu hygienického zabezpečení nezávadnosti pitné vody. Osazeno je zde pro tyto účely dávkovací zařízení DANED – VM 11 [11]. Do akumulární nádrže je dávkován střídavě roztok komerčně dodávaného 15% chlornanu sodného (NaClO) nebo výrobek SAVO Originál s obsahem 4,7 % NaClO. Dávkování přípravků probíhá dle následující tabulky. Od 2. 1. 2015 je provedena změna dávkování ze SAVA na chlornan sodný (15 %).

Tab. 2.2 Dávkování dezinfekčních činidel.

	Chlornan sodný (výrobek)	SAVO Originál
Koncentrace NaClO	15 %	4,7 %
Obsah aktivního chlóru Cl ₂	150 g·l ⁻¹	47 g·l ⁻¹
Dávkování na 1000 l (1 m ³) vody ve studni	7 ml	20 ml
Dávkování na plný vodojem (100 m ³)	700 ml (0,7 l)	2000 ml (2,0 l)



Obr. 2.5 Dávkování dezinfekce a odvětrání akumulční komory.



Obr. 2.6 Pohled na výstroj armaturní komory vodojemu.

2.2.3 Vodovodní řady

Díky charakteru zástavby a umístění obce v terénu splňují hydranty osazené na rozvodných řadech podmínky maximálních a minimálních tlaků dané normou, tedy maximálně 0,6 MPa v nejnižších místech zástavby a minimálně 0,25 MPa při dvou a více nadzemních podlažích (resp. 0,15 MPa u zástavby do dvou nadzemních podlaží) v místě napojení přípojky na rozvodnou síť. Není tedy nutné dělit vodovodní síť do více tlakových pásem a všechny vodovodní řady se tak řadí do shodného tlakového pásma [11].

Tab. 2.3 Délky řadů vodovodní sítě.

Řad	Délka [m]	Celková délka [m]
Přiváděcí	2146,6	8251,5
Zásobní	585,8	
Rozvodný	5519,1	

Celková délka vodovodní sítě pro zásobování obce Hrádek pitnou vodou je 8251,5 m. Přičemž délka zásobního a rozvodných řadů v obci činí 6104,9 m a délka přiváděcího řadu je 2146,6 m. Zastoupeným materiálem jsou ponejvíc plasty (PE, PVC), v menší míře šedá litina (GG) a ocel (OC), a to v různých dimenzích, jak popisuje pro rozvodný řad (Tab. 2.4), pro přiváděcí řad (Tab. 2.5) a pro zásobní řad (Tab. 2.6).

Tab. 2.4 Zastoupení materiálů potrubí dle dimenzí na rozvodném řadu.

Materiál	DN	Délka [m]		
PVC	80	214,0	2353,5	5519,1
	90	782,9		
	100	1001,1		
	110	355,5		
PE	63	329,3	1181,5	
	80	97,3		
	90	671,8		
	100	63,3		
	110	19,8		
GG	65	374,7	1716,6	
	80	174,7		
	90	166,4		
	100	1000,8		
OC	50	49,5	267,5	
	80	218,0		

Tab. 2.5 Zastoupení materiálu potrubí dle dimenzí na přiváděcím řadu.

Materiál	DN	Délka [m]	
PE	40	359,2	2146,6
	63	1787,4	

Tab. 2.6 Zastoupení materiálu potrubí dle dimenzí na zásobním řadu.

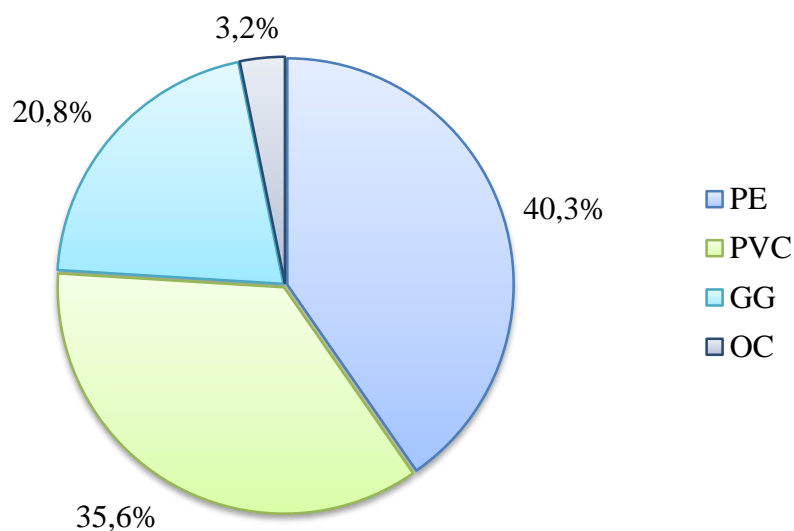
Materiál	DN	Délka [m]	
PVC	100	260,0	585,8
	150	325,8	

Následující tabulka a graf zahrnují veškeré vodovodní řady sloužící pro zásobování obyvatel obce Hrádek pitnou vodou přímo od zdroje až po místo napojení vodovodních přípojek. Nejčteněji využitým materiálem jsou postupně polyetylen, polyvinylchlorid, šedá litina a ocel.

Tab. 2.7 Celkové zastoupení materiálů potrubí.

Materiál	Délka [m]	
PE	3328,1	8251,5
PVC	2939,3	
GG	1716,6	
OC	267,5	

Graf 2.1 Procentuální zastoupení materiálů.



Objekty a armatury na síti

Umístění a počet jednotlivých objektů na vodovodní síti a jejich počty byly zjištěny provedeným podrobným terénním průzkumem. Na vodovodní síti se nachází celkem dvě armaturní šachty, ve kterých probíhá měření odečtem z osazených vodoměrů. Jedná se o šachty „Ajska“ a „U nádraží“. V obou šachtách jsou zároveň osazeny uzávěry pro uzavření daných větví vodovodu [11]. Poloha těchto šachet je znázorněna v příloze č. 6. 2.

Armaturními, které jsou na síti osazeny, jsou uzávěry a podzemní hydranty. Celkový počet hydrantů je 23, z čehož je 22 funkčních (96 %). Uzávěrů je osazeno celkem 61, ze kterých je funkčních 47 ks, tedy 77 % z celkového počtu.



Obr. 2.7 Vystrojení armaturní šachty „U nádraží“.

2.3 HYDRAULICKÁ ANALÝZA VODOVODNÍ SÍTĚ

Pro určení tlakových poměrů na síti byl sestaven hydraulický simulační model vodovodní sítě. Na základě dostupných podkladů byla provedena v říjnu roku 2014 měrná kampaň, které předcházela terénní průzkum. Tyto kroky sloužily k ověření platnosti dostupných podkladů a ke zjištění skutečného technického stavu prvků vodovodní sítě. Data získaná měřením byla použita ke kalibraci sestaveného modelu. Do modelu vodovodu nebyly zahrnuty domovní přípojky a vnitřní vodovody.

2.3.1 Dostupné podklady

Před provedenou měrnou kampaní a sestavením simulačního hydraulického modelu byly shrnuty všechny dostupné informace na základě těchto podkladů:

- Digitální polohopis obce Hrádek získaný v digitální podobě z projektové dokumentace pro realizaci kanalizace a ČOV (r. 2011) v obci; zdroj: obec Hrádek u Sušice.
- Orientační trasa vodovodní sítě v digitální podobě (r. 2014); zdroj: geografický informační portál obce.
- Záznamy o provedených opravách, fotodokumentace, poznámky (r. 2014) v papírové podobě; zdroj: záznamy provozního technika p. Šebesty.
- Provozní řád vodovodu zpracovaný provozovatelem; zdroj: Šumavské vodovody a kanalizace, a. s. (r. 2005).
- Evidence poruch na vodovodní síti v letech 2006 až 2014 v digitální podobě; zdroj: záznamy provozního technika p. Šebesty.
- Výkazy objemů vody vyrobené a fakturované, počty připojených obyvatel (r. 2010 – 2014) v digitální podobě; zdroj: záznamy provozního technika p. Šebesty.
- Terénní průzkum zahrnující lokalizaci vodovodní sítě na základě povrchových znaků spolu; dále posouzení technického stavu armatur na vodovodní síti, kdy byla provedena kontrola stavu všech hydrantů, uzávěrů, armaturních šachet; ty byly následně zaneseny do situace vodovodní sítě na základě určení přesné polohy zaměřením laserovým dálkoměrem.
- Měření na vodovodní síti, jehož cílem bylo získat hodnot tlaků, průtoků a jakosti vody ve vodovodu.

2.3.2 Měrná kampaň

Provedená měrná kampaň byla zaměřena na určení hodnot tlaků, průtoků a jakosti dopravované vody ve vodovodu. Tlaky a průtoky jsou zpracovány v následujícím textu, data týkající se jakosti dopravované vody jsou blíže popsána v kapitole 2.3.5.

Vyhodnocení dat z měření tlaků

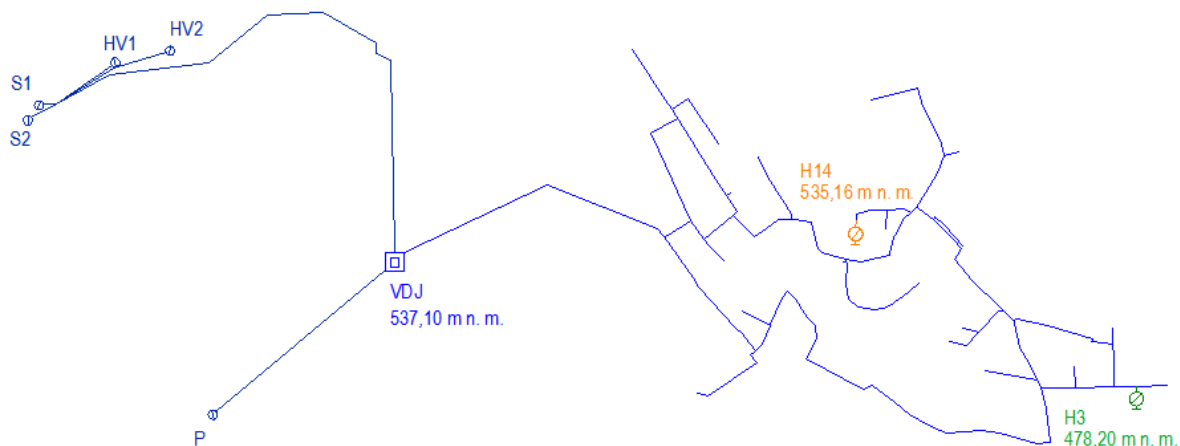
Ve dnech 23. až 27. října 2014 probíhalo měření tlaků na dvou vybraných podzemních hydrantech. Výběr se řídil technickým stavem daného hydrantu a jeho polohou v rámci vodovodní sítě. Technický stav se týká zabezpečení vodotěsného spojení osazeného tlakového čidla a hydrantu tak, aby nedošlo k jeho narušení vlivem výrazných poklesů nebo nárůstů hydrodynamického tlaku. Vybrány byly hydranty s označením H3 a H14. Jejich poloha je znázorněna na (Obr. 2.8). Použita byla tlaková čidla Meinecke COSMOS CDL 2U (rozsah 0 - 10 bar) vybavená automatickým záznamovým zařízením se záznamem hodnot tlaků každých 15 vteřin, a to s přesností $\pm 0,0025$ MPa.

Data získána měřením byla vyhodnocena a porovnána s výsledky sestaveného modelu. Následující údaje o tlacích byly čidly naměřeny v barech, tlaky stanovené modelem jsou

v jednotkách metrů vodního sloupce. Pro převod mezi těmito jednotkami byl použit následující vztah:

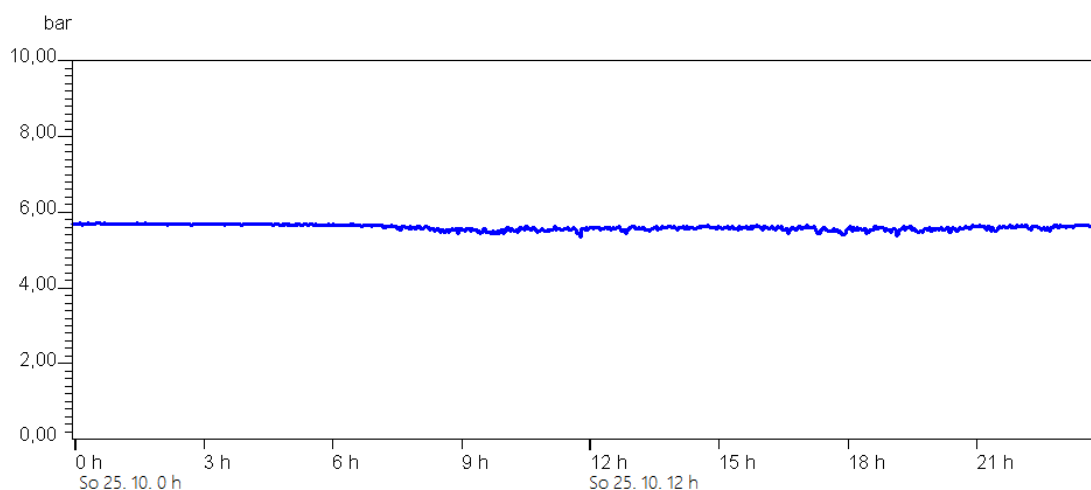
$$\text{Tlak [Pa]} = \text{hustota vody } 1000 [\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}] \cdot \text{tíhové zrychlení } 9,81 [\text{m}\cdot\text{s}^{-2}] \cdot \text{výška vodního sloupce [m]}$$

$$\text{Např.: } 1 \text{ bar} = 0,1 \text{ MPa} = 10,19 \text{ m v. sl.}$$



Obr. 2.8 Umístění osazených hydrantů na vodovodní síti.

Graf 2.2 Časový průběh tlaku během nepracovního dne (hydrant H3).



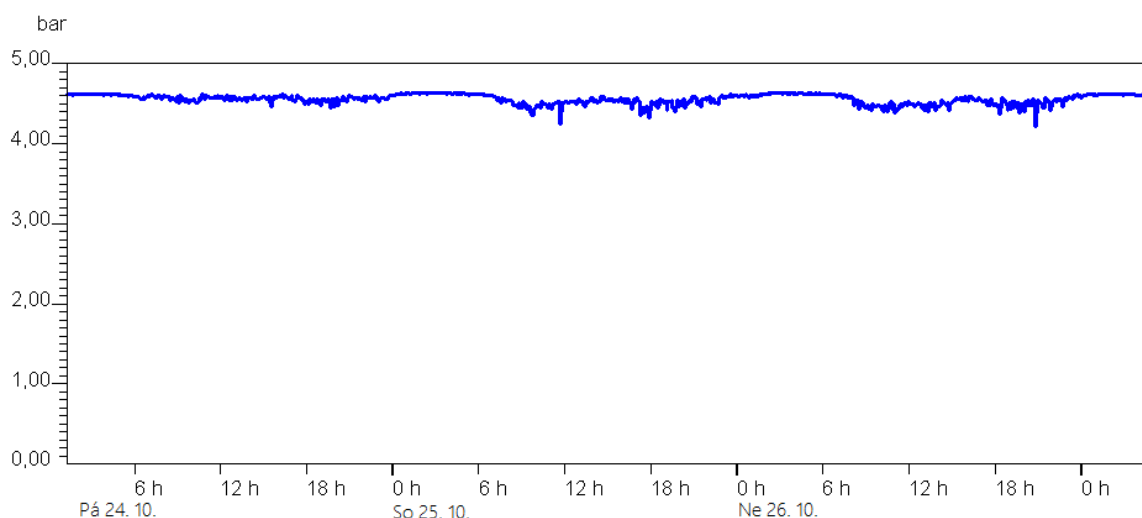
Osazený hydrant H3 se nachází v nadmořské výšce 478,20 m n. m. a je nejnižším situovaným hydrantem na celé vodovodní síti. Materiál vodovodního potrubí je GG s dimenzí 100 mm. Hodnoty tlaků získané vyhodnocením jsou uvedeny v (Tab. 2.8).

Tab. 2.8 Naměřené hodnoty hydrodynamického tlaku na hydrantech H3 a H14.

Hydrant	Tlak	[bar]	[MPa]	Datum a čas měření
H3	Maximální	5,79	0,579	25. 10. 2015 v 0:30
	Průměrný	5,63	0,563	-
	Minimální	5,39	0,539	26. 10. 2015 ve 20:45
H14	Maximální	4,68	0,468	25. 10. 2015 v 0:30
	Průměrný	4,56	0,456	-
	Minimální	4,23	0,423	26. 10. 2015 ve 20:45

Druhý osazený hydrant s označením H14 se nachází na nejvzdáleněji situovaném nejvyšším místě od vodojemu v nadmořské výšce 535,16 m n. m. Materiálem potrubí je ocel o dimenzi 50 mm. Naměřené tlaky zde vzhledem ke své poloze dosahují logicky nižších hodnot než tlaky u přechozího hydrantu.

Graf 2.3 Časový průběh tlaku během pátku - neděle (hydrant H14).



Vyhodnocení dat o průtocích

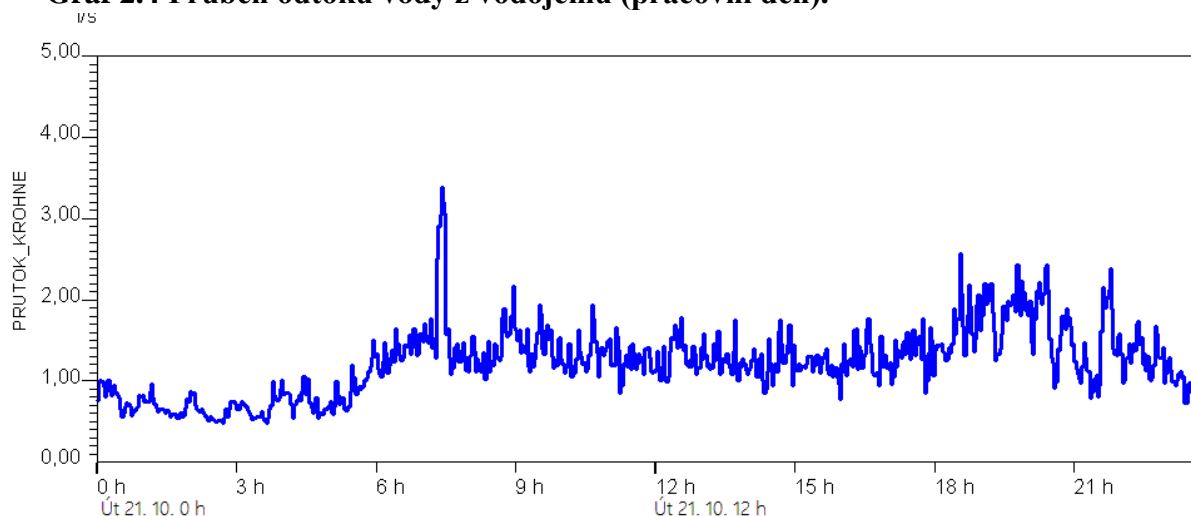
Měření průtoků na vodovodní síti probíhalo v termínu od 16. 10. 2014 do 10. 12. 2014, přičemž zaznamenávání odtoku z vodojemu do sítě je kontinuální. Od 15. 10. 2014 je ve vodojemu osazen magneticko-indukční průtokoměr KROHNE DN100 s automatickým odečtem průtoků a jejich přenosem do připojeného záznamového zařízení. Hodnota pulsu průtokoměru je 100 litrů. Záznamy průtoků byly zpracovány do podoby odběrových křivek s rozdělením na dny pracovní, dny pracovního klidu a souhrnně pro všech 56 dní. Získány byly hodnoty průměrných hodinových průtoků z doby měření celých dnů, tj. od 0:00 16. 10. 2014 do 23:59 10. 12. 2014. Toto období čítá celkem 38 pracovních dnů a 18 dnů pracovního klidu.



Obr. 2.9 Osazení průtokoměru ve vodojemu a záznamník naměřených hodnot.

Z (Graf 2.4), který prezentuje průběh odtoku vody z vodojemu během pracovního dne, je dobře patrný nejvyšší odběr ve spotřebišti mezi 7. a 8. hodinou ranní, což odpovídá charakteru typické spotřeby vody během dne.

Graf 2.4 Průběh odtoku vody z vodojemu (pracovní den).



Spolu s odběrovými křivkami, které jsou uvedeny níže, byly statistickým zpracováním určeny i hodnoty koeficientu hodinové nerovnoměrnosti k_h a koeficientu denní nerovnoměrnosti odběru vody k_d . Tito ukazatelé doplňují informace o charakteru studovaného spotřebišť. Koeficient k_d se obecně pohybuje v rozmezí hodnot 1,1 – 1,6 v závislosti na velikosti a charakteru spotřebišť. Koeficient k_h je určen charakterem zástavby spotřebišť a nabývá hodnot 1,8 až 2,1 (vyšší hodnoty značí spotřebišť sídlištního charakteru). Koeficienty lze určit z následujících vztahů [13]:

$$k_d = \frac{Q_d}{Q_p} \quad (2.1)$$

$$k_h = \frac{Q_h}{Q_d} \quad (2.2)$$

kde: k_d ... koeficient denní nerovnoměrnosti [-],

k_h ... koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-],

Q_d ... maximální denní průtok [$l \cdot s^{-1}$],

Q_p ... průměrný denní průtok [$l \cdot s^{-1}$],

Q_h ... maximální hodinový průtok [$l \cdot s^{-1}$].

Tab. 2.9 Hodnoty koeficientů hodinové a denní nerovnoměrnosti.

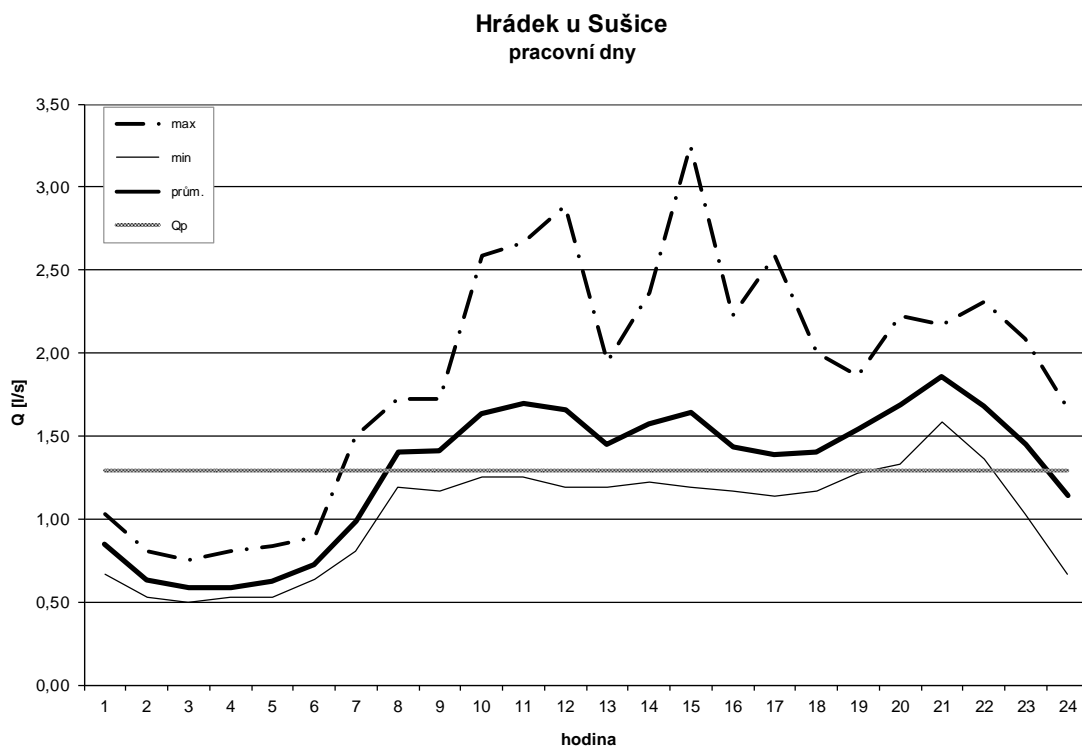
Koeficient	Jednotky	Pracovní dny	Dny pracovního klidu	Všechny dny
k_d	[-]	1,16	1,14	1,22
k_h	[-]	2,17	1,75	2,00

Tab. 2.10 Hodnoty průtoků stanovené analýzou spotřeby vody.

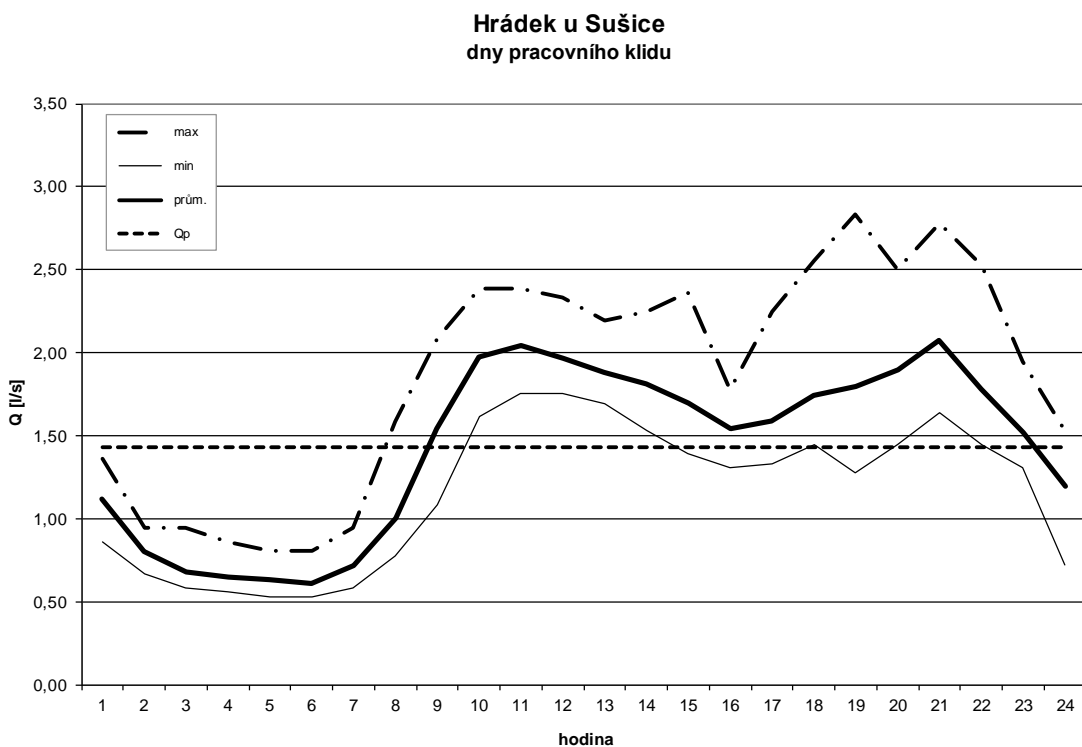
Průtok	Jednotky	Charakteristika průtoků		
		Pracovní dny	Dny pracovního klidu	Všechny dny
Q_p	[$l \cdot s^{-1}$]	1,29	1,43	1,34
	[$m^3 \cdot den^{-1}$]	111,70	123,30	115,40
Q_d	[$l \cdot s^{-1}$]	1,50	1,62	1,62
	[$m^3 \cdot den^{-1}$]	129,50	140,30	140,30
Q_h	[$l \cdot s^{-1}$]	3,25	2,83	3,25
Q_{min}	[$l \cdot s^{-1}$]	0,50	0,53	0,50
	[$m^3 \cdot den^{-1}$]	43,20	43,20	43,20

Následující grafy vyjadřují časový průběh odběru vody ze sítě s rozdělením na pracovní dny a dny pracovního klidu. Křivky spotřeby vody na následujících grafech odpovídají typickému průběhu spotřeby pro spotřebiště, kde odběratele tvoří převážně obyvatelé obce.

Graf 2.5 Průběh spotřeby vody v pracovní dny.



Graf 2.6 Průběh spotřeby vody v nepracovní dny.



Tab. 2.11 Charakteristické průtoky.

Průtok	Datum a čas naměření	Hodnota	
		[l·s ⁻¹]	[m ³ ·den ⁻¹]
Nejvyšší zaznamenaný	24. 11. 2014 ve 14:00	3,25	-
Minimální noční	pravidelně ve 3:00 až 4:00	0,50	43,20
Dlouhodobý průměrný	-	1,34	115,40

Z údajů získaných měření lze stanovit specifickou spotřebu vody na jednoho obyvatele. Průměrná denní spotřeba vody byla určena jako 115,40 m³·den⁻¹ pro celkový počet zásobených obyvatel, který činí 739. Z těchto dvou údajů lze určit specifickou spotřebu na jednoho obyvatele $q_{\text{spec}} = 156,16 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$.

Dle podkladů poskytnutých obcí „Výkazy objemů vody vyrobené a fakturované“ je za rok 2014 množství fakturované vody 86,2 m³·den⁻¹ [14]. Přepočtem dle počtu obyvatelstva obdržíme hodnotu specifické spotřeby vody dle výpočtu $q_{\text{spec}}' = 116,64 \text{ l} \cdot \text{os}^{-1} \cdot \text{den}^{-1}$. Rozdíl stanovených specifických spotřeb q_{spec} a q_{spec}' je 29,2 m³·den⁻¹, tj. 39,52 l·os⁻¹·den⁻¹, tedy 25,3 %. Tato procentuální hodnota představuje, s uvažovanou chybou měření, přibližně hodnotu ztrát vody tak, jak je určena v záznamech obce (25,7 %, tj. 11 469 m³·rok⁻¹). Tyto přepočty ověřují shodu hodnot získaných měření a přepočtem z údajů poskytnutých obcí. Procentuální rozdělení zmíněných složek vody je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 2.12 Standart bilančního vykazování ztrát vody dle IWA [15] s hodnotami pro obec Hrádek za rok 2014.

Voda vyrobená k realizaci (44 534 m ³ ·rok ⁻¹) 100,0 %	Spotřeba vody	Autorizované odběry placené	Voda měřená	Voda fakturovaná (31 465 m ³ ·rok ⁻¹) 70,1 %
			Voda neměřená	
	Ztráty vody (11 469 m ³ ·rok ⁻¹) 25,7 %	Autorizované odběry neplacené (1600 m ³ ·rok ⁻¹) 3,6 %	Měřené neplacené odběry	Voda nefakturovaná (13 069 m ³ ·rok ⁻¹) 29,3 %
			Neměřené neplacené odběry	
		Zdánlivé ztráty	Neautorizované odběry	
			Chyba měření	
Skutečné ztráty	Ztráty vody v distribuční síti			
	Ztráty vody ve vodojemech			
	Ztráty vody na přípojkách			

2.3.3 Hydraulický model vodovodní sítě

Stavba modelu

Na základě výše jmenovaných podkladů bylo možno sestavit hydraulický simulační model vodovodní sítě obce Hrádek počínaje vodojemem a z něj vedoucím zásobním řadem, který se dále větví na rozvodnou síť spotřebiště.

Prvním krokem bylo připravení topologie sítě. Jednotlivé výpočetní úseky jsou ohraničeny výpočtovými uzly, které představují podzemní hydranty nebo místo napojení potrubí. Maximální nebo minimální délkou úseků, které nejsou děleny těmito prvky ani změnou materiálu či drsnosti, nebylo potřeba se omezovat, jak je zřejmé ze samotné topologie sítě. Takto připravenou topologii je možno importovat do výpočetního programu.

Po importu topologie následuje přiřazení vlastností uzlům a úsekům. Uzly vyžadují zadání nadmořské výšky, ty byly zadány jako hodnoty odpovídající nadmořské výšce terénu v daném místě vodovodu. V případě dvou podzemních hydrantů, kde byl měřen tlak, byla do výpočtových uzlů zadána přímo nadmořská výška osazeného tlakového čidla pod terénem, která byla geodeticky zaměřena. U výpočtových úseků jde o zadání vnitřního průměru potrubí, materiálu a hydraulické drsnosti. Hydraulická drsnost k byla stanovena na základě znalosti materiálu a stáří potrubí a zahrnuje i rezervu pro místní ztráty. Výpočet hydraulických ztrát třením po délce, které jsou v souvislosti s hydraulickou drsností, jsou v modelu počítány dle vztahu Darcy-Weisbach.

Dále následuje rozdělení celkové spotřeby vody do jednotlivých uzlů. Toto rozdělení bylo provedeno metodou redukovaných délek s užitím součinitele c_l , který představuje počet obyvatel, jež je po délce daného úseku vodovodního potrubí připojen.

Takto sestavený hydraulický simulační model je připraven ke kvazidynamické hydraulické analýze vodovodní sítě. Sledovanými veličinami jsou rychlost proudění v potrubí a hydrodynamické tlaky ve výpočtových uzlech. Tyto sledované veličiny jsou důležité z důvodu provedení následné kalibrace.

Kalibrace modelu pro běžné provozní tlaky

Cílem tohoto procesu je úprava parametrů hydraulického modelu do té fáze, kdy se simulace různých průběhů shodují s hydraulickými hodnotami naměřenými přímo na síti, těmi jsou tlak a průtok [16]. Prvním charakteristickým provozním stavem, na který byl simulační model kalibrován, je maximální večerní špička s průtokem $Q_1 = 3,25 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$. Druhým zatěžovacím stavem je naopak minimální průtok, který dosahuje již zmíněných $Q_2 = 0,50 \text{ l}\cdot\text{s}^{-1}$.

Tab. 2.13 Výsledky kalibrace.

Odběr	Hydrant	Tlak	Naměřený	Vypočtený	Rozdíl
3,25 l·s ⁻¹	H3	[MPa]	0,539	0,558	0,02
	H14		0,423	0,472	0,05
0,50 l·s ⁻¹	H3		0,579	0,577	0,01
	H14		0,468	0,490	0,02

Rozdíl hodnot tlaků naměřených a vypočtených se pohybuje průměrně kolem 0,02 MPa. Vzhledem ke shodným hodnotám difference můžeme předpokládat, že je tato nepřesnost dána pravděpodobně již na počátku distribuční sítě, a to při určení nadmořské výšky hladiny ve vodojemu. Aby byly výsledky kalibrace považovány za vyhovující, bylo dále uvažováno s hladinou vodojemu v nadmořské výšce 535,10 m n. m.

2.3.4 Výsledky hydraulické analýzy

Provedenou simulací na kalibrovaném hydraulickém modelu vodovodní sítě obce lze s jistotou říci, že za běžných provozních stavů, kdy se odběry v síti pohybují v rozmezí hodnot užitých pro zatěžovací stavy (0,50 až 3,25 l·s⁻¹) [17], vyhovují nejvyšší i nejnižší dosažené hodnoty hydrodynamických tlaků požadavkům stanoveným vyhláškou č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích. Tyto hodnoty jsou pro nejnižší hydrodynamický tlak 0,15 MPa (u zástavby nad dvě nadzemní podlaží 0,25 MPa) v místě napojení vodovodní přípojky na hlavní řad a 0,60 MPa pro maximální tlak. Obě tyto podmínky jsou i s uvažovanou odchylkou zjištěnou verifikací splněny [18].

2.3.5 Měření jakosti vody

Spolu s měřením tlaků a průtoků na vodovodní síti proběhlo dne 23. 10. 2014 také měření jakosti vody. Jakost byla měřena na odtoku z vodojemu a na vodovodní přípojce OÚ Hrádek, č. p. 78. Vzorky byly odebrány jednorázově pro stanovení okamžité hodnoty zákalu a volného chloru. Jako měřicí technika byl použit kapesní kalorimetr na chlór II, pro měření zákalu bylo využito přenosného turbidimetru. Výsledky měření jsou zaznamenány v (Tab. 2.14).

Tab. 2.14 Měření zákalu a volného chlóru ve vodovodní síti.

Místo odběru	Zákal [ZF _n]	Volný chlór Cl ₂ [mg·l ⁻¹]	Vyhodnocení
VDJ Hrádek (odtok do sítě)	1,63	0,01	Vyhovuje dle 252/2004 Sb.
Hrádek č. p. 78 (vodovodní přípojka OÚ)	3,26	0,02	Vyhovuje dle 252/2004 Sb.
Limitní hodnoty dle vyhlášky 252/2004 Sb.	5,00	0,30	-

Uvedená vyhláška č. 252/2004 Sb., kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody, stanovuje mezní hodnotu pro zákal v pitné vodě 5,00 ZF_n, příp. 1,00 ZF_n jedná-li se o upravovanou povrchovou vodu. Nejvyšší povolená koncentrace volného chlóru ve vodovodní síti je 0,30 mg·l⁻¹ [19]. Z naměřených hodnot vyplývá, že voda distribuovaná vodovodem v obci vyhovuje kvalitativním požadavkům na jakost. Právě s nárazovým zvýšením zákalu se provozovatelé sítě pravidelně potýkají. Proto i o možném vzniku tzv. „zákalové události“ pojednává kapitola 2.4.

Z dostupných rozborů vody provedených laboratoří Šumavských vodovodů a kanalizací, a. s., pro které byly vzorky odebrány dne 9. 2. 2015 a 10. 8. 2015 provozovatelem vodovodní sítě v obci na přípojce OÚ Hrádek (č. p. 78), lze soudit, že ukazatelé jakosti vody jsou dlouhodobě konstantní kvality, pouze nárazově dochází k výkyvům. Dokládají to např. hodnoty volného chlóru a zákalu, které byly měřeny také během měrné kampaně.

Tab. 2.15 Obsah volného chlóru a zákalu dle rozborů vody vyhovujícím mezním hodnotám (MH) dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Ukazatel	Jednotky	Rozbor 2/2015	Rozbor 8/2014	MH
Volný chlór Cl ₂	[mg·l ⁻¹]	< 0,05	< 0,05	0,30
Zákal	[ZF _n]	0,41	0,55	5,00

Dále jsou uvedeny koncentrace železa, které ve vyšších koncentracích působí jednak degenerativně na potrubí, ale také zhoršuje organoleptické vlastnosti vody, a které je ve vodě doprovázeno společně se vyskytujícím manganem se stejným dopadem.

Tab. 2.16 Obsah železa a manganu dle rozborů vody vyhovující mezním hodnotám (MH) vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Ukazatel	Jednotky	Rozbor 2/2015	Rozbor 8/2014	MH
Železo Fe ³⁺	[mg·l ⁻¹]	0,04	0,04	0,20
Mangan Mn ^{2+,3+,4+}	[mg·l ⁻¹]	< 0,01	< 0,01	0,05

Nedostatečných hodnot dosahují z dlouhodobého hlediska, dle provedených rozborů vody, tři ukazatelé: vápník [mg·l⁻¹], hořčík [mg·l⁻¹] a suma vápníku a hořčíku [mmol·l⁻¹], která vyjadřuje tzv. celkovou tvrdost vody. Tito ukazatelé jsou důležité zejména jako jeden

z nejdůležitějších zdrojů těchto minerálů pro lidský organismus. Dle vyhlášky Ministerstva zdravotnictví č. 252/2004 Sb. je doporučena hodnota obsahu vápníku v pitné vodě $40 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, hořčíku $20 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$, což odpovídá doporučenému poměru zastoupení těchto dvou látek v pitné vodě 2:1, jak doporučuje také Světová zdravotnická organizace [19]. Oproti tomu hodnoty, které byly rozbořem pro tyto ukazatele stanoveny, dosahují hodnot nižších, jak prezentuje (Tab. 2.17).

Tab. 2.17 Ukazatelé nesplňující doporučené hodnoty (DH) dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.

Ukazatel	Jednotky	Rozbor 2/2015	Rozbor 8/2014	DH
Vápník Ca^{2+}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	32,5	35,7	40,0
Hořčík Mg^{2+}	$[\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}]$	6,6	8,0	20,0
Suma vápník, hořčík	$[\text{mmol}\cdot\text{l}^{-1}]$	1,08	1,22	2,0

Jedinou látkou, která vykázala překročení stanovených hodnot, byla celková objemová aktivita radonu. Jednalo se o překročení směrných hodnot celkové objemové aktivity alfa a celkové objemové aktivity beta u vzorku vody odebraného v únoru 2015. Vyhláška Státního úřadu pro jadernou bezpečnost č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně stanovuje směrné hodnoty pro tyto ukazatele na $0,20 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ pro celkovou objemovou aktivitu alfa a $0,50 \text{ Bq}\cdot\text{l}^{-1}$ u celkové objemové aktivity beta [20].

Tab. 2.18 Ukazatelé překračující směrné hodnoty (SH) dle vyhlášky č. 307/2002 Sb.

Ukazatel	Jednotky	Rozbor 2/2015	DH
Celková objemová aktivita alfa	$[\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	< 0,05	0,20
Celková objemová aktivita beta	$[\text{Bq}\cdot\text{l}^{-1}]$	0,13	0,50

2.3.6 Řízený proplach

Řízený proplach byl na rozvodné síti realizován pracovníky obce v dubnu 2015 z důvodu zvýšení jakosti pitné vody v síti a také v rámci preventivních opatření pro celkové zvýšení stability jakosti vody v potrubí. Podstatou řízeného proplachu sítě je jeho realizace na základě předem připraveného „proplachovacího plánu“. Díky němu se stanoví místa, resp. podzemní hydranty, prostřednictvím kterých bude proplach proveden s ohledem na oblasti, kterých se proplachování v danou chvíli týká. Zamezit je při tom nutno vzniku rozsáhlé zákalové události, což znamená dokonalé vypláchnutí sedimentu z potrubí ven tak, aby nedocházelo k pouhému přesouvání sedimentu z jednoho řadu do jiného nebo do slepého konce řadu.

Cílem proplachu sítě je tedy odstranění sedimentu neboli vrstvy jemného nesoudržného materiálu z vnitřních stěn potrubí tak, aby byly, pokud možno, respektovány následující aspekty. V první řadě jde o minimalizaci časové a finanční náročnosti proplachu sítě; z hlediska zajištění dodávky vody spotřebitelům je nutné minimalizovat objem vody potřebné

pro proplach na takové množství, aby nedošlo k následnému omezení zásobování obyvatele z důvodu nedostatečné kapacity zdrojů; žádoucí je minimalizovat i riziko nedodání vody během provádění proplachu z důvodu nedostatečného tlaku v některém místě rozvodné sítě nebo kvůli vzniku poruchy potrubí během proplachu. Naopak maximalizovat bychom tímto opatřením měli dlouhodobý pozitivní vliv proplachu na jakost vody dodávané vodovodní sítí.

Během realizace tohoto řízeného proplachu v obci byly na daných místech sítě zaznamenávány v reálném čase hodnoty tlaků a průtoků. Další realizace popsaného řízeného proplachu je plánováno opakovat každoročně v dubnu, kdy se provozovatel potýká se zvýšeným zákalem vody v potrubí.

2.3.7 Zásobování požární vodou

Zásobování požární vodou se v České republice řídí platnou normou ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb – Zásobování požární vodou. Objem vodojemu, který obci slouží pro zásobování pitnou vodou, je využíván z poloviny právě z důvodu nutnosti zabezpečení vody v případě požáru. Potřebný objem je dle Tabulky 2 „Hodnoty nejmenší dimenze potrubí, odběru vody a obsahu nádrže“ zmíněné normy stanoven na 45 m³ (nevýrobní objekty o ploše $S > 2\,000\text{ m}^2$) [21]. Dané nevýrobní objekty jsou představovány areálem hotelu Zámek. S určenou hodnotou objemu požární nádrže je dále uvažováno pro posouzení kapacity vodojemu Hrádek.

2.4 ZÁVADY A PROBLÉMY VODOVODU

Následující kapitola popisuje nejčastější závady a problémy spojené s provozem vodovodu, které byly zaznamenány provozovatelem vodovodu a provozním technikem obce.

2.4.1 Zdroje vody

Jde-li o poruchy u zdrojů vody, jedná se nejčastěji o problémy spojené s čerpadly a jejich elektrickým ovládním u studen a vrtů. K těmto poruchám dochází buď v důsledku zásahu bouře v této oblasti, nebo samovolně selháním zařízení. Jednalo se nejčastěji o spálení čerpadel, a to konkrétně v letech 2001, 2004, 2012, 2014, dvakrát v roce 2007 i v roce 2010. Z důvodu poruchy tohoto druhu došlo v roce 2010 k neplánovanému vyprázdnění celého vodojemu, čemuž předcházela samovolná porucha na rozvaděči u vrtů.

2.4.2 Vodojem

Tento stěžejní prvek celého zásobování vodou je spojen s řadou problémů. Jde v první řadě o jeho nedostatečnou kapacitu, jak dokládá příloha č. 6. 5 Výpočet objemu vodojemu – stávající stav (100 m³), od které se odvíjí další závady. Např. nelehké čištění a údržba vodojemu za plného provozu, odkalení vodojemu při kontaminaci vodou snížené jakosti, zásobování požární vodou. Dále je možné jmenovat nevyhovující technický stav přidružené armaturní komory a jejího vstrojení.

K již zmiňovanému vypuštění vodojemu v důsledku poruchy u zdrojů vody došlo několikrát také úmyslně. Stalo se tak právě v důsledku kontaminace zakalenou vodou z prameniště Průhon. Tato oblast zdroje pitné vody je každoročně poznamenána jarním táním sněhu a pravidelně dochází ke snížení jakosti vody, většinou v březnu/dubnu. Z tohoto důvodu je prameniště buď rovnou odstaveno a voda je vypouštěna přímo do odpadního kanálu, nebo je v horším případě přivedena do vodojemu, ten musí být následně vypuštěn, příp. i dezinfikován. Celý vodojem byl vypuštěn a čištěn tlakově a roztoky ředěného SAVA v letech 2002, 2004, 2007, 2009 a naposledy v r. 2010.

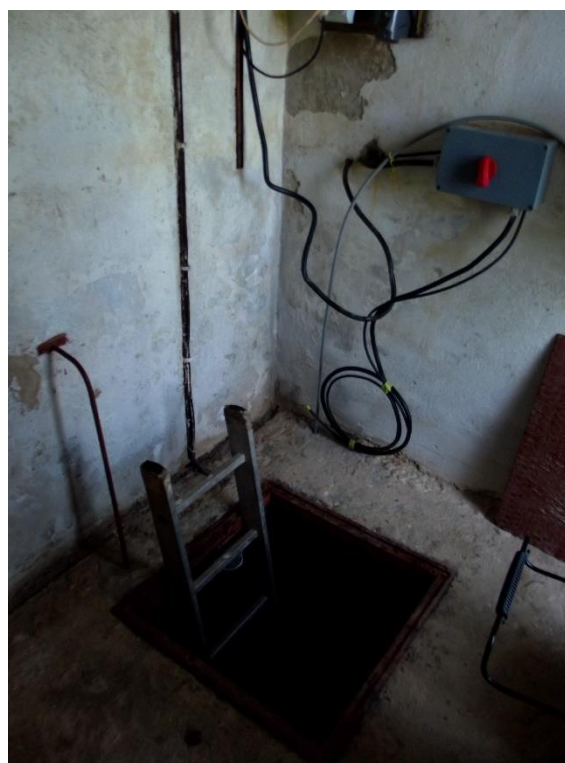
Hlavním problémem, který s vodojemem souvisí, je jeho nedostatečná kapacita (celkový objem 100 m³), viz příloha č. 6. 5. Vzhledem k objemu vody z celkové kapacity vodojemu, který slouží pro požární zabezpečení, zbývá na pokrytí potřeb obyvatel pouze 55 m³ z jeho jediné akumulární nádrže. Toto dispoziční řešení není výhodné ani pro pravidelné čištění vodojemu, kdy musí být zajišťováno náhradní zásobování obyvatel pomocí cisteren, nejčastěji z vodojemu obce Čermné vzdálené od Hrádku 5 km. Na nedostatečnou kapacitu vodojemu může poukazovat i fakt, že k vypuštění celého objemu 100 m³ jsou, dle zkušeností provozovatelů, dostačující pouze 3 hodiny.

Na základě obdržených hodnot vody vyrobené k realizaci, VVR = 44534 m³ za rok 2014, bylo možné určit výpočtem součtové čáry přítoků a odběrů z vodojemu, zda je stávající kapacita dostačující, či nikoliv. Výpočet uvedený v příloze č. 6. 5 dokazuje, že momentální objem 100 m³ je nedostačující a zvládne zajistit pouze 58 % maximální denní potřeby vody. Toto pokrytí není dle ČSN 73 6650 Vodojemy vyhovující, jelikož nedosahuje ani minimálně požadovaných 60 % maximální denní potřeby vody [22], navíc stávající vodojem s jednou akumulární nádrží nezaručuje ani spolehlivý provoz. Dále bylo do výpočtu zahrnuto nezbytné množství požární vody, viz kapitola 2. 3. 7. Zmiňovaný zákal, který se ve vodovodní síti pravidelně vyskytuje, lze v případě kontaminace odstranit řízeným proplachem vodovodní sítě. Jak výpočet doložil, ani na tuto akci není kapacita vodojemu postačující vzhledem k nutnosti nepřerušování dodávky pitné vody obyvatelům.

Dalším stavem, který není ideální, je stav přidružené armaturní komory vodojemu. Celých 43 let provozu vodojemu je znát jak na stavební konstrukci stropu, stěn i podlah, tak na stavu armatur, které jsou umístěny pod vstupním otvorem v podlaze komory (Obr. 2.11). Zmiňované armatury jsou navíc značně poznamenány korozí, jak je patrné z (Obr. 2.5) a (Obr. 2.10). Problémy může do budoucna způsobit i viditelné prosakování povrchové vody do komory i nádrže vodojemu, jelikož hydroizolace stropu a stěn již nejsou spolehlivé.



Obr. 2.10 Nevyhovující technický stav armatur ve vodojemu.



Obr. 2.11 Vstupní otvor k armaturám.

2.4.3 Vodovodní řady

Na základě dostupných evidenčních podkladů o poruchách vodovodu, které byly poskytnuty provozním technikem obce, bylo možno charakterizovat nejčastější závady na vodovodní síti a problémy, se kterými se při provozu vodovodu v obci potýkají. Důležitou informací bylo, že do roku 2004 byl vodovod provozován pouze obcí. Následně k 1. 1. 2004 se stal provozovatelem subjekt Šumavské vodovody a kanalizace, a. s. Informace bylo možno čerpat z „Provozního deníku vodovodu Hrádek“, který sahá svým popisem až do roku 2001 a k dispozici byly údaje o evidenci poruch od roku 2006 do první poloviny roku 2015.

Stáří a technický stav trubního materiálu

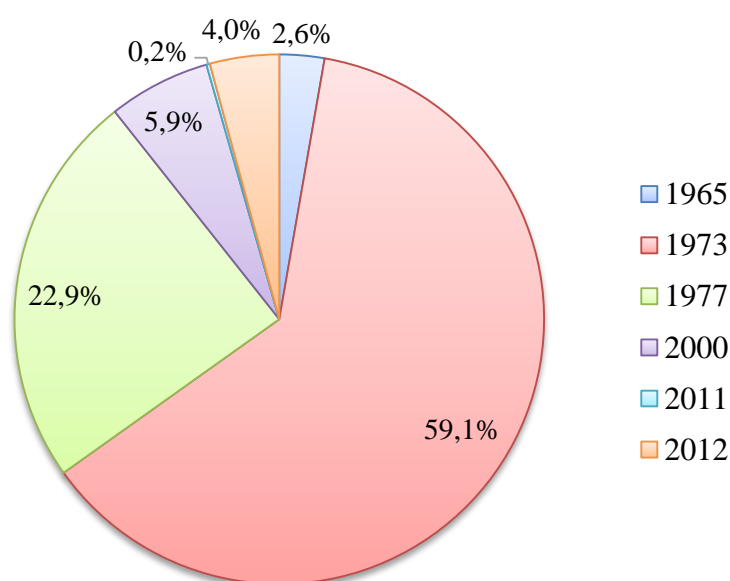
Nejčastější závadou, ke které na vodovodní síti obce Hrádek dochází, je porucha přímo na vodovodním řadu. Vzhledem k použitým materiálům v určitých oblastech a k jejich stáří není překvapením, že se provozovatelé často potýkají s vyhledáváním prasklého potrubí a následnou opravou. V posledních šesti letech (r. 2010 – 2015) byla porucha tohoto typu řešena dokonce dvakrát ročně. Nejstarší části sítě byly vybudovány roku 1965 z šedé litiny, nedochází na nich ale k nejčastějším poruchám. Ty se vyskytují ponejvíc na zásobním řadu vedoucím skrz pole k armaturní šachtě „U nádraží“, v tomto úseku se nachází potrubí z materiálu PVC 100 mm z roku 1973. Další výstavba vodovodu v obci tedy pokračovala

v roce 1973 a 1977. V letech 2000, 2011 a 2012 byly na síti provedeny plánované opravy vybraných úseků. Následující tabulka a graf vyjadřují stáří sítě v jednotkách délky a procentuálně. Popis jednotlivých úseků rokem výstavby, použitým materiálem a dimenzí je patrný z přílohy č. 6. 2.

Tab. 2.19 Stáří vodovodní sítě vyjádřeno v jednotkách délky.

Rok	1965	1973	1977	2000	2011	2012	Neznámý	Celková délka [m]
Délka [m]	214,2	4880,6	1891,0	486,3	19,8	432,4	327,2	8251,5

Graf 2.7 Stáří vodovodní sítě vyjádřeno v procentech.



Poruchovost vodovodu

Veškeré poruchy jsou zaznamenávány provozovatelem do podkladů, které byly pro vypracování analýzy rizik poskytnuty. Počet poruch, ke kterým v posledních pěti letech v obci došlo, je uveden v (Tab. 2.20), následně byla aritmetickým průměrem určena poruchovost sítě v jednotlivých letech a průměrná poruchovost za dosavadní zaznamenané období let 2010 až 2014 vztahovaná k celkové délce 8251,5 m potrubí.

Tab. 2.20 Počet poruch vodovodu v letech 2010 – 2014.

Rok	2010	2011	2012	2013	2014	Průměr
Počet poruch	[počet poruch · rok ⁻¹]					
	6	10	14	3	2	7
Skutečná poruchovost	[počet poruch · km ⁻¹ · rok ⁻¹]					
	0,73	1,21	1,70	0,36	0,24	0,85

Získanou hodnotu poruchovosti z podkladů provozovatele, tedy $0,85 \text{ poruch} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$, lze porovnat s poruchovostí stanovenou dle *United Kingdom Water Industry Research* (UKWIR). UKWIR využívá Národní databázi poruchovosti pro stanovení průměrné poruchovosti jednotlivých materiálů potrubí. Údaje pro stanovení těchto hodnot čerpá od zapojených členských států, které do této databáze také přispívají a vyhodnocuje pak tato data jako souhrnný vzorek. Databáze poruchovosti pak může být využita pro identifikaci klíčových faktorů, které k vyšší poruchovosti přispívají a zapojené vodárenské společnosti tak mohou podobným stavům jednodušeji předcházet. Databáze zahrnuje např. údaje týkající se půdních vzorků zemin, do kterých jsou jednotlivé materiály potrubí ukládány, o využitých způsobech oprav vodovodních řadů, technik spojení potrubí dle materiálu apod. [15].

Hodnota teoretické poruchovosti dle UKWIR je stanovena v (Tab. 2.21) a vychází z přepočtu průměrné poruchovosti jednotlivých materiálů potrubí. Jde o hodnoty, které jsou uváděny v řádech počtu poruch na sto kilometrů vodovodní sítě za jeden rok. Tato průměrná poruchovost materiálu dle UKWIR (sloupec 4 Tab. 2. 21) byla přepočtem dle délky zastoupení jednotlivých materiálů (sloupec 3), které jsou na vodovodu obce Hrádek použity, převedena na „průměrnou poruchovost materiálu“ (sloupec 5). Výsledná hodnota teoretické poruchovosti vodovodu obce Hrádek dle UKWIR je $0,61 \text{ poruch} \cdot \text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$.

Tab. 2.21 Stanovení poruchovosti vodovodu dle Národní databáze poruchovosti.

Materiál	Zastoupení na vodovodní síti	Délka	Průměrná poruchovost materiálu (UKWIR)	Průměrná poruchovost materiálu	Teoretická poruchovost vodovodu (UKWIR)
-	[%]	[km]	[počet poruch · 100 $\text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]	[počet poruch · $\text{km}^{-1} \cdot \text{rok}^{-1}$]	
PE	40,3	3,3	4,00	0,13	0,61
PVC	35,6	2,9	9,00	0,26	
GG	20,8	1,7	7,50	0,13	
OC	3,2	0,3	29,00	0,09	

Nižší teoretická poruchovost vodovodní sítě je dána především faktem, že se jedná o souhrnný vzorek různých členských států, do kterého jsou zapojena i velká města s rozsáhlým systémem zásobování pitnou vodou. Ta využívají modernější technologie, než jaké jsou k dispozici na vodovodu v obci Hrádek. Vyšší hodnota skutečné poruchovosti vypovídá také o současném stavu vodovodu a jeho objektů, který je v ne zcela vyhovujícím stavu.

2.4.4 Preventivní opatření

K preventivním opatřením proti závadám na síti patří pravidelná měsíční kontrola stavu zdrojů (prameniště, studny, vrty) a jejich zabezpečení. Konkrétně stav oplocení, zámeků a poklopů. Dále je kontrolováno dávkování dezinfekčního činidla ve vodojemu, funkčnost čerpadla pro dávkování a správný poměr ředění. Jednou ročně je realizován proplach vodovodní sítě. V etapách dochází k protáčení uzávěrů pravidelně jedenkrát ročně, odkalování sítě prostřednictvím podzemních hydrantů, plánovaným výměnám hydrantů a uzávěrů na vodovodních řadech a plánovaných výměnám vytipovaných úseků potrubí.



Obr. 2.12 Výřez potrubí GG 100 mm z roku 1965 se silnou inkrustací (foto duben 2015).

3 ANALÝZA RIZIK VODOVODU OBCE HRÁDEK U SUŠICE

Pomocí softwarové aplikace WaterRisk byla provedena riziková analýza vodovodu obce Hrádek u Sušice. Zvolena byla metodika jednoduchá i komplexní z důvodu porovnání a výsledného ohodnocení maticí rizik obou postupů. V kapitole jsou uvedeny některé z výstupů při zpracování údajů aplikací a blíže popsány vybrané nežádoucí stavy.

3.1 SOFTWAREVÁ APLIKACE

Díky dostupné softwarové aplikaci WaterRisk je umožněno, aby prováděl rizikovou analýzu vodárenských systémů automatizovaně kterýkoli provozovatel. Podmínkou je pouze dostatek vstupních informací o vodovodu a provedení registrace. Software funguje díky centralizovanému provozu přes jediný server, který je ve správě Ústavu vodního hospodářství obcí Fakulty stavební Vysokého učení technického v Brně.

Aplikace obsahuje matematický, grafický a slovní popis rizik systému zásobování vodou. Jde o interaktivní databázový software, který prostřednictvím internetového prohlížeče umožňuje uživatelům provedení analýzy rizik. Při zpracovávání projektu pracuje uživatel s daty ve formě textů, tabulek a piktogramů. Vkládat lze i fotodokumentaci jednotlivých prvků SZV, tabulkových či grafických příloh. Software umožňuje ukládání projektů, editaci, kopírování a dále generování, prohlížení a tisk dosažených výsledků analýz. Vítanou možností je i exportování výsledků, které jsou kompatibilní s Geografickým informačním systémem.

3.2 JEDNOTLIVÉ KROKY ANALÝZY RIZIK

Před samotným zahájením analýzy je nutné nashromáždit co nejvíce podkladů a vstupních informací, na základě kterých projde projekt celým procesem až po vygenerování matice rizik. V následujících podkapitolách jsou jednotlivé kroky provedení analýzy blíže popsány.

3.2.1 Dostupné podklady

Podklady, které byly pro analýzu využity, byly získány v první řadě díky výše popsanému terénnímu průzkumu, který byl fotograficky zdokumentován. Jednalo se o prohlídku všech pěti podzemních zdrojů a jejich blízkého okolí, přečerpávací nádrže a vodojemu zabezpečující akumulaci vody a kde také dochází k hygienickému zabezpečení vody. Dále byly během terénního průzkumu celého spotřebiště zjištěny stav a funkčnost všech podzemních hydrantů a uzávěrů a odebrány byly dva vzorky pro zjištění kvality distribuované pitné vody.

Krom podkladů z terénního průzkumu byla dále k dispozici následující data:

- Provozní řád vodovodu,
- evidence poruch na vodovodní síti v letech 2006 až 2014,
- záznamy o provedených údržbách na vodovodu,
- výkazy objemů vody vyrobené a fakturované (r. 2010 – 2014),
- souhrnné údaje o zásobovaných obyvatelích (r. 2010 – 2014),
- územní plán obce (březen 2015) [23],
- vodohospodářská mapa oblasti [24],
- provedené rozborů vody z laboratoře ŠVK, a. s.(r. 2015),
- fotodokumentace,
- informace o používaných chemikáliích pro dezinfekci,
- topologie sítě a údaje o objektech,
- matematický model distribuční částí SZV,
- četné poznatky a zkušenosti provozního technika obce.

Následující podkapitoly obsahují údaje společné pro provedení metodiky jednoduché i komplexní na vodovodu obce Hrádek.

3.2.2 Evidence majetku

Po vyplnění základních údajů o projektu, které zahrnují název vodovodu, počet obyvatel bydlících v oblasti, počet obyvatel zásobovaných vodou a objem vody vyrobené k realizaci, se přistoupí k vyplnění údajů o evidenci majetku. Údaje se vyplňují zvlášť pro vodní zdroje, úpravu vody a distribuci.



Evidence majetku

Vodní zdroje Úprava vody Distribuce vody

Vodní zdroje

Vodní zdroje – vlastní

Podzemní zdroje	5	počet
Povrchové zdroje	0	počet
Směšené zdroje podzemní a povrchové vody	0	počet

Převzatá voda

Podzemní zdroje	0	počet
Povrchové zdroje	0	počet
Směšené zdroje podzemní vody a povrchové vody	0	počet

Využitelná kapacita zdrojů

	7.3	l/s
z toho podzemní zdroje	7.3	l/s

Obr. 3.1 WaterRisk - evidence majetku (vodní zdroje).



Evidence majetku

Vodní zdroje **Úprava vody** Distribuce vody


Úprava vody

Počet úpraven vody	<input type="text" value="0"/>	počet
Využitelná kapacita úpraven vody	<input type="text" value="0"/>	l/s

Použité technologie úpravy vody

Dezinfekce	<input checked="" type="checkbox"/>
Odkyselování filtrací	<input type="checkbox"/>
Provzdušňování	<input type="checkbox"/>

Obr. 3.2 WaterRisk - evidence majetku (úprava vody).



Evidence majetku

Vodní zdroje **Úprava vody** Distribuce vody

Distribuce vody

Vodovodní řady

Celková délka 8251.5 m

Profil

do DN100	<input type="text" value="7550.4"/>	m
od DN101 do DN300	<input type="text" value="701.1"/>	m
od DN301 do DN500	<input type="text" value="0"/>	m
větší než DN500	<input type="text" value="0"/>	m

Trubní materiál 8251.5 m

kovové	<input type="text" value="6267.4"/>	m
plastové	<input type="text" value="1984.1"/>	m
jiné	<input type="text" value="0"/>	m
Vodovodní přípojky	<input type="text" value="203"/>	počet
Vodoměry	<input type="text" value="219"/>	počet
Čerpací stanice	<input type="text" value="1"/>	počet
Samostatná tlaková pásma	<input type="text" value="1"/>	počet
Vodojemy	<input type="text" value="1"/>	počet
Celkový objem vodojemů	<input type="text" value="100"/>	m ³

Obr. 3.3 WaterRisk - evidence majetku (distribuce vody).

3.2.3 Volba metodiky

Dle zadaných údajů v předchozích krocích vyhodnotí aplikace u každého z posuzovaných kritérií, zda zvolit pro provedení analýzy rizik metodiku jednoduchou nebo komplexní. Konečná volba pak zůstává na uživateli. Dle následujícího obrázku je doporučené vodovod obce posuzovat jako jednoduchý systém ve všech směrech. Z důvodu posouzení obou postupů byly zpracovány obě metodiky.

Projekt: **Hradek_2 - Hradek_2**

Založil: Lenka Hofmannová



Volba metodiky

Kritérium	Tento SZV	Hranice	
Počet zásobovaných obyvatel	739	0 až 2 000 2 001 a více	Jednoduchý Komplexní
Počet přípojek	203	0 až 500 501 a více	Jednoduchý Komplexní
Délka sítě [m]	825 1.5	0 až 10 000 10 001 a více	Jednoduchý Komplexní
Objem vody vyrobené k realizaci [m ³ /rok]	44 534	0 až 75 000 75 001 a více	Jednoduchý Komplexní
Složitost použité technologie úpravy vody			Jednoduchý Komplexní

Vyhodnocením kritérií by měl být systém dále analyzován jako

Jednoduchý

Zvolte metodiku, kterou chcete analyzovat rizika tohoto systému

Obr. 3.4 WaterRisk - volba metodiky.

3.2.4 Deskripce systému

Deskripce spočívá v definici tlakových pásem, která se ve spotřebišti nachází. V Hrádku je to pouze jedno tlakové pásmo, které pokrývá celou obec. Následuje popis všech prvků, které se v SZV nachází, opět s dělením dle technologických částí vodovodu. Systém vyžaduje charakteristiku všech pěti podzemních zdrojů, které jediné tlakové pásmo zásobují. Položka týkající se úpravy vody zůstává v popisu systému prázdná z důvodu absence úpravní vody. Distribuce vody je rozdělena dle druhu řadů, prostřednictvím kterých je spotřebišť zásobeno. Jde o dva příváděcí řady, zásobní řad a vodovodní síť, dále o vodojem a přečerpávací nádrž. Vybrané popisy znázorňují následující obrázky.

Vodní zdroje

- + Hlubkový vrt HV1 (03)
- Hlubkový vrt HV2 (04)
- Kopaná studna S1 (01)
- Kopaná studna S2 (02)
- Průhon (05)

Prvek	Chybí
Vodní zdroje celkem:	0
<i>Podzemní:</i>	0
<i>Povrchový:</i>	0
Úpravny vody:	0
Distribuce:	
<i>Vodojemy:</i>	0
<i>Čerpací stanice:</i>	0
Samostatná tlaková pásma:	0

Editace prvku

Název	Kopaná studna S1 (Podzemní vodní zdroj)
Označení/Kód	01
IČME	
Popis	Kopaná studna S1 s celkovou vydatností 1,0 l·s ⁻¹ odvádí prostřednictvím potrubí PE 63 mm (25,7 m) podzemní vodu do zásobní přečerpávací nádrže. Studna sahá do hloubky 4,5 m a je vystrojena pěti skružemi o průměru 1000 mm.
Rok výstavby	1973
Umístění/Adresa	
Poznámka	
Tlakové pásmo	TP Hrádek (TP)

Obr. 3.5 WaterRisk - deskripce systému (vodní zdroje).

Distribuce vody

- + VD J Hrádek (VDJ)
- Přečerpávací nádrž (00)
- Přívaděcí řad P1 (P1)
- Přívaděcí řad P2 (P2)
- Zásobní řad Z1 (Z1)
- Vodovodní síť V1 (V1)

Prvek	Chybí
Vodní zdroje celkem:	0
<i>Podzemní:</i>	0
<i>Povrchový:</i>	0
Úpravny vody:	0
Distribuce:	
<i>Vodojemy:</i>	0
<i>Čerpací stanice:</i>	0

Editace prvku

Název	VD J Hrádek (Vodojem)
Označení/Kód	VDJ
IČME	
Popis	Jednokomorový vodojem o celkovém objemu akumulací nádrže 100 m ³ s přidruženou armaturní komorou. Horní provozní hladina se nachází ve výšce 535,10 m n. m. V armaturní komoře probíhá dávkování dezinfekčního činidla pro hygienické zabezpečení nezávadnosti pitné vody. Osazeno je zde dávkovací zařízení DANED-VM 11, které do akumulací nádrže dávkuje střídavě 15% roztok NaCl a výrobek SAVO Originál (o koncentraci 4,7 % NaCl).
Rok výstavby	1972
Umístění/Adresa	Hrádek
Poznámka	

Obr. 3.6 WaterRisk - deskripce systému (vodojem).

Projekt: Hradek_2 - Hradek_2

Založil: Lenka Hofmannová



Deskripce systému

Přehled | **Vodní zdroje** | **Úprava vody** | **Distribuce vody** | **Tlaková pásma**

Změna údajů

Název	TP Hrádek
Kód	TP
Popis	Jediné tlakové pásmo rozvodné sítě v obci Hrádek zásobováno z vodojemu Hrádek s nadmořskou výškou horní provozní hladiny 535,10 m n. m. Nejníže umístěný bod tohoto tlakového pásma leží v nadmořské výšce 478,20 m n. m. Nejvyšším místem je vodojem s nadmořskou výškou 531,10 m n. m.
Napájecí uzel	VDJ Hrádek (535,10 m n. m.)

Obr. 3.7 WaterRisk - deskripce systému (popis tlakového pásma).

3.2.5 Identifikace nebezpečí

Identifikace nebezpečí je dalším společným krokem při analyzování jednoduchých i komplexních systémů. Jde o výběr všech možných nebezpečí, která mohou v dané technologické části vodovodu nastat. Stanovují se druhy přírodních, společenských a technických a technologických nebezpečí.

Tab. 3.1 Přehled počtu stanovených nebezpečí u daných částí SZV.

Část SZV	Nebezpečí	Přírodní	Společenská	Technická a technologická
Vodní zdroje		6	2	5
Úprava vody		2	1	2
Distribuce vody		3	2	7

Vodní zdroje

Na počátku celého systému zásobování vodou jsou možná následující nebezpečí:

- Námraza, sníh, led – v několika posledních letech došlo k zamrznutí potrubí odvádějících surovou vodu z podzemních zdrojů do přečerpávací nádrže.
- Zásah blesku již několikrát způsobil poruchu na čerpadlech u podzemních zdrojů a znemožnil tak dodávku vody.
- Sucho způsobující snížení využitelné kapacity podzemních zdrojů.
- Povodeň naopak zvýší dotaci podzemních zdrojů, ovšem na úkor jakosti surové vody.
- Stará ekologická zátěž – v bývalém lomu nedaleko hydrogeologických vrtů a kopaných studní došlo v minulosti (přibližně před 25 až 30 lety) k navedení odpadu a vytvoření provizorní, nelegální skládky. Z tohoto místa byla kontaminována podzemní voda ve čtyřech podzemních zdrojích vody. Bližší složení odpadu a jím uvolňovaných kontaminantů bohužel nebylo možné od provozovatele ani z historických záznamů zjistit.
- Radon - v posledních provedených laboratorních rozborech byla překročena směrná hodnota objemové aktivity radonu.
- Zemědělské znečištění, které má původ v obhospodařování několika polí sousedících s vodními zdroji.
- Porucha zařízení, resp. čerpacího agregátu, která brání provozu a zásobování pitnou vodou.
- Koroze trubního materiálu, jeho stárnutí a změna vlastností.

Úprava vody

Vzhledem k rozsahu úpravy pitné vody, která probíhá pouze dávkováním chlornanu sodného čerpadlem přímo do akumulární nádrže ve vodojemu, je pro tento článek systému

vyčleněno nejméně možných nebezpečí. Jde o možný zásah bleskem nebo jiný druh přívodu elektrické energie, což by znemožnilo fungování dávkovacího zařízení, dále vysoká teplota vzduchu vlivem čehož by došlo ke zhoršení jakosti vody k úpravě. Další úlohu zde hraje obsluha a její reakční doba na případné změny v potřebách dávkování dezinfekce či doplňování činidla.

Distribuce vody

Dle samotného počtu pravděpodobných nebezpečí, která byla v rámci identifikace nebezpečí stanovena, je distribuční část systému zásobování vodou v nejkritičtějších stavu.

Mezi přírodní nebezpečí zde patří:

- Problematické horninové prostředí, které působí korozivně na potrubí a armatury.
- Vzdušná kontaminace, ke které může dojít především díky otevřenému, nekrytému přístupu do akumulací nádrže přímo z armaturní komory, bez jakéhokoli zabezpečení.
- Radon - v posledních provedených laboratorních rozborech byla překročena směrná hodnota objemové aktivity radonu.

Společenským nebezpečím je:

- Údržba zahrnující tvorbu inkrustů v potrubí, poruchu armatur nedostatečnou údržbou nebo poruchy čerpacích agregátů, ke kterým dle evidence poruch dochází.
- Odběratelé, kteří mohou např. neohlášeně či nečekaně napouštět bazény, nenahlásit poruchu přípojek apod. V tomto bodě se jedná především o zámecký komplex, jehož potřeby převyšují potřeby běžných odběratelů.

Mezi hrozící technická a technologická nebezpečí patří:

- Porucha dodávky elektrické energie související s přerušením dodávky vody, nedostatečným hygienickým zabezpečením.
- Porucha zařízení zahrnující selhání čerpacího agregátu a přerušení dodávky vody.
- Neprůchodnost potrubí zapříčiněná např. inkrustací.
- Nevyhovující hydraulická kapacita, v důsledku které dochází k sedimentaci jemných částic v potrubí (zákalová událost).
- Koroze potrubí a armatur a s tím související zvýšení koncentrace železa v dopravované vodě.
- Stárnutí materiálu, které u litinového potrubí, které je na síti použito a je starší více než 20 let, hraje významnou roli při ovlivnění jakosti dopravované vody a zhoršení hydraulické kapacity zvýšením drsnosti potrubí.
- Špatný technický stav objektu, potrubí a armatur – především vodojemu a jeho vstrojení. Technický stav je krajně nevyhovující jak v případě akumulací nádrže a jejího zabezpečení, tak v případě vstrojení a stavební konstrukce přidružené armaturní komory.

Provedená identifikace nebezpečí slouží k vygenerování nežádoucích stavů v rámci dalšího kroku analýzy rizik.

3.2.6 Analýza rizik

Poslední krok analýzy se u jednoduchého a komplexního systému liší.

Jednoduché systémy jsou při analýze četností oproštěny od detailního technického popisu jednotlivých faktorů, které dané nežádoucí stavy charakterizují a frekvence jejich výskytu se zde pouze odhaduje v řádu týdnů, roků, atp. Komplexní systémy naopak každý faktor popíší blíže a vyhodnotí pravděpodobností P0 až P3, případně „nevím“.

Při analýze následků jde u komplexních systémů o odhad rozsahu následků pro každou skupinu (zdravotní, ekonomické, sociálně ekonomické a environmentální) a hodnotí se na stupnici C0 až C3, případně „nehodnoceno“. Jednoduchá metodika hodnotí na stejné stupnici pouze následky zdravotní a sociálně ekonomické.

Kvantifikace rizika se pak nutně určí stejným postupem uvedeným v kap. 1. 2. 2 Postup provádění analýzy rizik metodikou WaterRisk.

Další kapitoly uvádí výsledky aplikace metodiky jednoduché a komplexní na vodovodu obce Hrádek u Sušice.

3.3 JEDNODUCHÁ METODIKA ANALÝZY RIZIK

3.3.1 Přehled hodnocení jednoduché metodiky

Provedením analýzy rizik systému zásobování vodou obce jako jednoduchého systému byl celý systém vyhodnocen nejvyšším možným rizikem, tedy K5 – velmi vysoké riziko, v části distribuční sítě.

Hodnotící stupeň		Následky		
		C1	C2	C3
Pravděpodobnost	P1	<u>6 / 0 / 11</u> K1 - zanedbatelné	<u>8 / 0 / 0</u> K2 - nízké	<u>0 / 0 / 1</u> K3 - střední
	P2	<u>6 / 0 / 2</u> K2 - nízké	<u>0 / 0 / 2</u> K3 - střední	<u>0 / 0 / 3</u> K4 - vysoké
	P3	<u>0 / 0 / 1</u> K3 - střední	<u>5 / 0 / 0</u> K4 - vysoké	<u>0 / 0 / 2</u> K5 - velmi vysoké

Obr. 3.8 WaterRisk - matice rizik pro jednoduchý systém.

Vodní zdroje

Kód	Název prvku	NS_KÓD	Riziko	P	C
05	Průhon	NS_105	K4	P3	C2
01	Kopaná studna S1	NS_105	K4	P3	C2
02	Kopaná studna S2	NS_105	K4	P3	C2
03	Hloubkový vrt HV1	NS_105	K4	P3	C2
04	Hloubkový vrt HV2	NS_105	K4	P3	C2

Úprava vody

Kód	Název prvku	NS_KÓD	Riziko	P	C
-----	-------------	--------	--------	---	---

Distribuce vody

Kód	Název prvku	NS_KÓD	Riziko	P	C
VDJ	VDJ Hrádek	DNS_307	K5	P3	C3
00	Přečerpávací nádrž	NS_309	K1	P1	C1
PŘ1	Příváděcí řad PŘ1	NS_317	K1	P1	C1
PŘ2	Příváděcí řad PŘ2	NS_317	K1	P1	C1
Z1	Zásobní řad Z1	NS_317	K2	P2	C1
V1	Vodovodní síť V1	DNS_339	K4	P2	C3

Obr. 3.9 WaterRisk - tabulkový přehled analýzy pro jednoduchý systém.

Uvedený tabulkový přehled souhrnně znázorňuje jednotlivé části SZV. U každé této části je uveden výčet prvků a ke každému z nich kód toho nežádoucího stavu, který byl vyhodnocen analýzou rizik jako nejkritičtější. Pro tento nežádoucí stav je pak uvedena dosažená míra rizika K1 až K5, stanovená pravděpodobnost vzniku nežádoucího stavu P1 až P3 a nejvyšší dosažené ohodnocení následku C1 až C3.

Další podkapitoly uvádí výčet jednotlivých nežádoucích stavů vodních zdrojů a distribuční sítě s popisem těch nejkritičtějších a s hodnocením jednotlivých analýz, které je následující:

Tab. 3.2 Hodnocení analýzy četnosti.

Označení	Popis	Pravděpodobnost vzniku NS
P0	Nulová	Nulová
P1	Nízká	Méně než 1x ročně
P2	Střední	1x za týden až rok
P3	Vysoká	1x týdně a častěji

Tab. 3.3 Hodnocení analýzy následků (zdravotní a sociálně ekonomické následky).

Označení následku	Popis
N'	Nehodnoceno
C0	Žádné či nevýznamné
C1	Nízké
C2	Středně vysoké
C3	Vysoké

3.3.2 Nežádoucí stavy vodovodu (vodní zdroje)

U všech pěti podzemních zdrojů bylo vygenerováno týchž pět nežádoucích stavů:

- NS_101 Zhoršování kvality surové vody,
- NS_103 Kontaminace surové vody chemickým znečištěním,
- NS_104 Kontaminace surové vody mikrobiologickým znečištěním,
- NS_105 Nedostatečná kapacita, přetížení zdroje,
- VNS_1 Porucha čerpacího agregátu.

Hodnocení proběhlo shodně u čtyř vodních zdrojů, a to u obou hydrogeologických vrtů a obou kopaných studní, prameniště Průhon bylo hodnoceno odlišně u NS_101, NS_103 a NS_104. Určení míry rizika nežádoucích stavů u jednotlivých vodních zdrojů je uvedeno v následující tabulce.

Tab. 3.4 Hodnocení NS vodních zdrojů jednoduchou metodikou.

Riziko	NS_101	NS_103	NS_104	NS_105	VNS_1
Průhon	K2	K1	K1	K4	K2
HV1	K1	K2	K2	K4	K2
HV2	K1	K2	K2	K4	K2
S1	K1	K2	K2	K4	K2
S2	K1	K2	K2	K4	K2

Nejkritičtější je hodnocen nežádoucí stav týkající se kapacity zdrojů. Hodnocen byl pravděpodobností P3, sociálně ekonomickým následkem C2. Všechny podzemní zdroje jsou nepřetržitě využívány s maximálním možným odběrem každého z nich, děje se tak z důvodu snížení hladiny podzemní vody. Žádný podzemní zdroj vody tedy momentálně neslouží jako rezervní, např. v případě výpadku čerpacího agregátu na jiném vodním zdroji, při kontaminaci vody nebo při dočasné snížené kapacitě některého ze zdrojů.

3.3.3 Nežádoucí stavy vodovodu (distribuční síť)

Nežádoucími stavy vygenerovanými pro distribuční síť jsou u jednotlivých částí SZV:

Vodojem Hrádek

- DNS_307 Porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory vodojemu,
- NS_301 Porušení/destrukce stavební konstrukce akumulární nádrže vodojemu,
- NS_302 Zhoršení kvality pitné vody v akumulární nádrži vodojemu,
- NS_303 Akumulace sedimentů na dně akumulární nádrže,
- NS_305 Porucha dávkování dezinfekce,
- NS_306 Kontaminace pitné vody v akumulární nádrži vodojemu.

Tab. 3.5 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (vodojem Hrádek).

Riziko	DNS_307	NS_301	NS_302	NS_303	NS_305	NS_306
Vodojem Hrádek	K5	K5	K3	K3	K1	K4

Nejvyšší mírou rizika (K5 – velmi vysoké riziko) jsou ohodnoceny nežádoucí stavy týkající se stavu manipulační komory a akumulární nádrže. Nevyhovující stav obou těchto částí vodojemu je zapříčiněn nadměrnou vlhkostí objektu, viditelným opadáváním omítek, zatékáním do konstrukce. Hodnoceny byly tyto dva NS vysokou mírou pravděpodobnosti P3, sociálně ekonomickým následkem C3. Vysokou mírou rizika (K4) byl ohodnocen nežádoucí stav kontaminace pitné vody v akumulární nádrži vodojemu, a to z důvodu nevhodného provedení konstrukce objektu. Větracím otvorem, který není nijak chráněn a je vyústěn přímo do manipulační komory, může kdykoli dojít ke kontaminaci vody v akumulární nádrži buď ze vzduchu, nebo nechtěným zásahem s přičiněním obsluhy. NS byl ohodnocen střední pravděpodobností P2, následkem sociálně ekonomickým C3.

Přečerpávací nádrž

- NS_309 Zhoršení kvality pitné vody v akumulární nádrži ČS,
- NS_310 Kontaminace pitné vody v akumulární nádrži ČS,
- NS_311 Akumulace sedimentů na dně akumulární nádrže ČS.

Tab. 3.6 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (přečerpávací nádrž).

Riziko	NS_309	NS_310	NS_311
Přečerpávací nádrž	K1	K1	K1

Přečerpávací nádrž byla vyhodnocena jako objekt systému zásobování pitnou vodou, který ve svém momentálním stavu nevykazuje znatelné známky poruch ani zhoršenou kvalitu svého stavebně-technického stavu. Hodnocena byla ve všech třech případech nízkou pravděpodobností a nízkou úrovní následků.

Příváděcí řady PŘ1, PŘ2 a zásobní řad

- NS_317 Porucha řady s přerušením dodávky vody – individuální analýza,
- NS_318 Nedostatečná hydraulická kapacita.

Tab. 3.7 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (zásobní a příváděcí řady).

Riziko	NS_317	NS_318
Příváděcí řad PŘ1	K1	K1
Příváděcí řad PŘ2	K1	K1
Zásobní řad	K2	K1

Vzhledem k frekvenci poruch na přiváděcím řadu PŘ1 (přečerpávací nádrž – vodojem), přiváděcím řadu PŘ2 (prameniště Průhon – vodojem) a zásobním řadu (vodojem – vodovodní síť) bylo u všech vygenerovaných nežádoucích stavů těchto prvků vodovodu určeno riziko jako zanedbatelné. K poruše zde, dle záznamů provozovatele, dochází průměrně méně než jedenkrát za rok (P1), určeno spolu s nízkým sociálně ekonomickým následkem.

Vodovodní síť

- DNS_338 Tvorba biofilmů,
- DNS_339 Tvorba inkrustů – plošné vyhodnocení,
- DNS_340 Koroze kovových potrubí,
- NS_328 Porucha řadu s přerušením dodávky vody – plošné vyhodnocení,
- NS_332 Zhoršení chuti, pachu nebo teploty dopravované vody,
- NS_336 Nedostatečná hydraulická kapacita sítě,
- NS_344 Porucha uzavírací armatury – šoupě – plošné vyhodnocení.

Tab. 3.8 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (vodovodní síť).

Riziko	DNS_338	DNS_339	DNS_340	NS_328	NS_332	NS_336	NS_344
Vodovodní síť	K3	K4	K4	K2	K1	K3	K1

Jako vysoké riziko (K4) jsou hodnoceny nežádoucí stavy týkající se kovových potrubí – možné koroze a inkrustace. Tato míra rizika byla vyhodnocena z důvodu určení střední pravděpodobnosti a vysokým zdravotním následkem pro prokazatelné zhoršení organoleptických vlastností vody u obou typů nežádoucích stavů.

3.4 KOMPLEXNÍ METODIKA ANALÝZY RIZIK

3.4.1 Přehled hodnocení komplexní metodiky

Výsledky analýzy rizik komplexní metodikou je zobrazeno v matici rizik a v tabulkovém přehledu výsledků daných technologických částí systému zásobování vodou s určením nejkritičtěji hodnoceného NS, jeho pravděpodobnosti vzniku, určením míry následků a nejistotou, se kterou byl nežádoucí stav vyhodnocen.

Zmíněná míra nejistoty „N“ je hodnocena zvlášť u každého vygenerovaného nežádoucího stavu komplexní metodiky. Celková nejistota analýzy rizik provedená komplexní metodikou je pak stanovena na 15 %. Tento výsledek lze z hlediska míry nejistoty hodnotit jako kvalitní a přijatelný, jelikož míry jednotlivých nejistot nepřesahují doporučenou hranici 20 %. Dostupné podklady, ze kterých bylo čerpáno, jsou uvedeny níže u každého popsání nežádoucího stavu.

Hodnotící stupeň		Následky		
		C1	C2	C3
Pravděpodobnost	P1	6 / 0 / 10 K1 - zanedbatelné	4 / 0 / 0 K2 - nízké	0 / 0 / 0 K3 - střední
	P2	6 / 0 / 2 K2 - nízké	4 / 0 / 2 K3 - střední	0 / 0 / 4 K4 - vysoké
	P3	0 / 0 / 2 K3 - střední	5 / 0 / 0 K4 - vysoké	0 / 0 / 2 K5 - velmi vysoké

Obr. 3.10 WaterRisk - matice rizik pro komplexní systém.

Vodní zdroje

Kód	Název prvku	NS_KÓD	Riziko	Certifikát	P	C	N	Časová platnost
05	Průhon	NS_105	K4	✓	P3	C2	13 %	01/2018
01	Kopaná studna S1	NS_105	K4	✓	P3	C2	13 %	01/2018
02	Kopaná studna S2	NS_105	K4	✓	P3	C2	13 %	01/2018
03	Hloubkový vrt HV1	NS_105	K4	✓	P3	C2	13 %	01/2018
04	Hloubkový vrt HV2	NS_105	K4	✓	P3	C2	13 %	01/2018

Úprava vody

Kód	Název prvku	NS_KÓD	Riziko	Certifikát	P	C	N	Časová platnost
-----	-------------	--------	--------	------------	---	---	---	-----------------

Distribuce vody

Kód	Název prvku	NS_KÓD	Riziko	Certifikát	P	C	N	Časová platnost
VDJ	VDJ Hrádek	DNS_307	K5	✓	P3	C3	6 %	12/2017
00	Přečerpávací nádrž	NS_309	K1	✓	P1	C1	10 %	01/2017
PŘ1	Příváděcí řad PŘ1	NS_317	K1	✓	P1	C1	7 %	12/2017
PŘ2	Příváděcí řad PŘ2	NS_317	K1	✓	P1	C1	7 %	12/2017
Z1	Zásobní řad Z1	NS_317	K2	✓	P2	C1	7 %	01/2018
V1	Vodovodní síť V1	DNS_339	K4	✓	P2	C3	9 %	01/2018

Obr. 3.11 WaterRisk - tabulkový přehled pro komplexní systém.

Dále je při hodnocení vodovodu jako komplexního systému hodnocen každý konkrétní faktor daného nežádoucího stavu danou pravděpodobností zvlášť. Uvedena jsou hodnocení jednotlivých nežádoucích stavů, tříděno dle částí SZV, spolu s uvedením hodnocením těch faktorů, které byly ohodnoceny nejvyšší mírou pravděpodobnosti v rámci daného nežádoucího stavu.

3.4.2 Nežádoucí stavy vodovodu (vodní zdroje)

U všech pěti podzemních zdrojů, stejně jako u hodnocení jednoduchou metodikou, bylo vygenerováno těchto pět nežádoucích stavů:

- NS_101 Zhoršování kvality surové vody,
- NS_103 Kontaminace surové vody chemickým znečištěním,
- NS_104 Kontaminace surové vody mikrobiologickým znečištěním,
- NS_105 Nedostatečná kapacita, přetížení zdroje,
- NS_315 Porucha čerpacího agregátu.

Tab. 3.9 Hodnocení NS vodních zdrojů komplexní metodikou.

Riziko	NS_101	NS_103	NS_104	NS_105	NS_315
Průhon	K2	K1	K1	K4	K2
HV1	K1	K3	K2	K4	K2
HV2	K1	K3	K2	K4	K2
S1	K1	K3	K2	K4	K2
S2	K1	K3	K2	K4	K2

Odlišná míra rizika byla stanovena u jednoho z pěti podzemních zdrojů, a to u prameniště Průhon, z důvodu jeho odlišného umístění vzhledem k poloze ostatních čtyř zdrojů. Jedná se o nežádoucí stav NS_101, kdy je prameniště hodnoceno střední pravděpodobností P2, oproti ostatním vodním zdrojům, z důvodu zhoršení kvality surové vody v tomto zdroji pravidelně při jarním tání sněhu. Dále jde o NS_103 Kontaminace surové vody chemickým znečištěním související s výskytem staré ekologické zátěže (skládky) v povodí obou kopaných studen a hydrogeologických vrtů. Provizorní skládka se nachází v bývalém lomu šumavského dioritu, který se nachází přibližně 1 km od studní a vrtů. Již v minulosti došlo ke kontaminaci těchto zdrojů podzemní vody a právě z tohoto důvodu byl nežádoucí stav hodnocen vysokou pravděpodobností P3 se středně vysokými zdravotními následky C2. Nejkritičtěji hodnocen byl u všech pěti vodních zdrojů nežádoucí stav týkající se nedostatečné kapacity u všech zdrojů.

NS_105 Nedostatečná kapacita, přetížení zdroje:

F1 Stárnutí zdroje (vysoká pravděpodobnost P3)

Vysokou pravděpodobností byl faktor hodnocen z důvodu stáří všech pěti podzemních zdrojů surové vody, které jsou již 42 let v provozu a také vzhledem k nízkému obsahu sumy vápníku a hořčíku $Ca + Mg$ méně než $1,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, dle posledního úplného rozboru vody přesně $1,08 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$. Doporučená hodnota je přitom dle vyhlášky č. 252/2004 Sb. $2,0 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, optimální obsah sumy vápníku a hořčíku je $2,0 - 3,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, zdejší voda tedy sice není pro lidský organismus závadná, ale není ani zcela prospěšná.

Nejkritičtěji hodnocen sociálně ekonomický následek jako středně vysoký (C2).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 13 %. Využitými podklady jsou provozní řád, fyzická prohlídka objektů a okolí, konzultace s provozním technikem, územní plán oblasti, záznamy o jímacích zařízeních.

3.4.3 Nežádoucí stavy vodovodu (distribuční síť)

Pro nejkritičtější vyhodnocenou část SZV, distribuční síť, byly vygenerovány uvedené nežádoucí stavy. Následně je u každého kriticky hodnoceného nežádoucího stavu vysokým a velmi vysokým rizikem (K4, K5) uveden výčet nejzávažněji hodnocených faktorů daného nežádoucího stavu a jejich odůvodnění.

Vodojem Hrádek

- DNS_307 Porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory vodojemu,
- NS_301 Porušení/destrukce stavební konstrukce akumulární nádrže vodojemu,
- NS_302 Zhoršení kvality pitné vody v akumulární nádrži vodojemu,
- NS_303 Akumulace sedimentů na dně akumulární nádrže vodojemu,
- NS_305 Porucha dávkování dezinfekce,
- NS_306 Kontaminace pitné vody v akumulární nádrži vodojemu.

Tab. 3.10 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (vodojem Hrádek).

Riziko	DNS_307	NS_301	NS_302	NS_303	NS_305	NS_306
Vodojem Hrádek	K5	K5	K4	K3	K1	K4

Vodojem byl komplexní metodikou vyhodnocen jako nejkritičtější část celého systému zásobování vodou. Dva nežádoucí stavy byly hodnoceny velmi vysokým rizikem (K5), dva pak vysokým rizikem (K4). Níže je uvedeno odůvodnění hodnocení vybraných faktorů.

DNS_307 Porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory vodojemu:

F3 Chyby projektu (vysoká pravděpodobnost P3)

Hodnoceno kvůli nevhodnému návrhu manipulační komory z hlediska umístění armatur pod úroveň podlahy manipulační komory s komplikovaným přístupem prostřednictvím otvoru v podlaze. To zapříčiňuje zhoršené ovládání těchto armatur a jejich manipulaci při případné výměně.

F4 Stavební a výrobní vady díla (vysoká pravděpodobnost P3)

Objekt byl postaven svépomocí v rámci akce „Z“ v roce 1972.

F5 Vnitřní vlhkost (vysoká pravděpodobnost P3)

Viditelná vlhkost objektu, zatékání do konstrukce, trvale vlhké plochy stěn komory, odvětrání akumulární nádrže ústící přímo do manipulační komory, koroze ocelových součástí armatur v manipulační komoře. To jsou důvody stanovení vysoké pravděpodobnosti tohoto faktoru.

Nejkritičtější hodnocen sociálně ekonomický následek jako vysoký (C3).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 6 %. Využitými podklady jsou provozní řád, fyzická prohlídka objektu a okolí, konzultace s provozním technikem, údaje o provozovateli SZV, záznamy o provedených opravách a údržbě.

NS_301 Porušení/destrukce stavební konstrukce akumulční nádrže vodojemu:

F3 Chyby projektu (vysoká pravděpodobnost P3)

Rozhodující zde je nevyhovující návrh pouze jedné akumulční nádrže, který způsobuje komplikace při provozování. Týkají se například znemožnění zásobování obyvatel pitnou vodou v případě kontaminace surové vody nebo při potřebě čištění stěn nádrže.

F4 Stavební a výrobní vady díla (vysoká pravděpodobnost P3)

Objekt byl postaven svépomocí v rámci akce „Z“ v roce 1972.

Nejkritičtěji hodnocen ekonomický následek jako vysoký (C3).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 8 %. Využitými podklady jsou provozní řád, fyzická prohlídka objektu a okolí, konzultace s provozním technikem, záznamy o provedených opravách a údržbě, údaje o spotřebišti a provozovateli SZV, měření tlaku v potrubí.

NS_302 Zhoršení kvality pitné vody v akumulční nádrži vodojemu:

F1 Nedostatečná údržba vodojemu (vysoká pravděpodobnost P3)

Čištění akumulční nádrže je prováděno s nedostatečnou frekvencí.

F5 Biofilm, oživení vody, vzdušná kontaminace (vysoká pravděpodobnost P3)

Větrací systém není osazen zařízením pro filtraci vzduchu, vzduch nasávaný do akumulční nádrže není nijak filtrován. Větrací otvor ústí přímo do manipulační komory a není nijak chráněn.

Nejkritičtěji hodnocen sociálně ekonomický následek (C3).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 12 %. Využitými podklady jsou provozní řád, fyzická prohlídka objektu a okolí, konzultace s provozním technikem, záznamy o provedených opravách a údržbě, údaje o spotřebišti a provozovateli SZV, analýza spotřeby vody za posledních 5 let, používané chemikálie, čisticí a dezinfekční prostředky.

NS_306 Kontaminace pitné vody v akumulční nádrži vodojemu:

F2 Únik provozních kapalin nebo chemikálií (střední pravděpodobnost P2)

V manipulační komoře nad akumulční nádrží je uskladněná chemikálie, která je dávkována pro hygienické zabezpečení. Nad otvorem do akumulční nádrže umístěným v podestě se volně pohybuje obsluha a může tak dojít k vnosu nečistot zvenku, nechtěnému vylití nádob s chemikálií při čištění apod.

Nejkritičtěji hodnocen je zdravotní následek jako vysoký (C3).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 5 %. Využitými podklady jsou provozní řád, fyzická prohlídka objektu a okolí, konzultace s provozním technikem, provozní deník, záznamy o provedených opravách a údržbě, používané chemikálie, čisticí a dezinfekční prostředky, vodohospodářská mapa povodí.

Přečerpávací nádrž

- NS_309 Zhoršení kvality pitné vody v akumulární nádrži ČS,
- NS_310 Kontaminace pitné vody v akumulární nádrži ČS,
- NS_311 Akumulace sedimentů na dně akumulární nádrži ČS.

Tab. 3.11 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (přečerpávací nádrž).

Riziko	NS_309	NS_310	NS_311
Přečerpávací nádrž	K1	K1	K1

Přečerpávací nádrž nepředstavuje dle vyhodnocení rizikový prvek systému. Všechny nežádoucí stavy jsou hodnoceny jako zanedbatelné riziko.

Příváděcí řady PŘ1, PŘ2 a zásobní řad

- NS_317 Porucha řady s přerušením dodávky vody – individuální analýza,
- NS_318 Nedostatečná hydraulická kapacita.

Tab. 3.12 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (příváděcí a zásobní řady).

Riziko	NS_317	NS_318
Příváděcí řad PŘ1	K1	K1
Příváděcí řad PŘ2	K1	K1
Zásobní řad	K2	K1

I přes výkaz evidence poruch vodovodu od provozního technika, který obsahuje záznamy až do r. 2014, kdy byly provedeny opravy, nepředstavuje vyšší počet poruch zásobního řadu a dále ani řady příváděcí kritickou hrozbu v omezení funkčnosti systému a zajištění dodávky pitné vody spotřebitelům.

Vodovodní síť

- DNS_338 Tvorba biofilmů,
- DNS_339 Tvorba inkrustů – plošné vyhodnocení,
- DNS_340 Koroze kovových potrubí,
- NS_328 Porucha řady s přerušením dodávky pitné vody – plošné vyhodnocení,
- NS_332 Zhoršení chuti, pachu nebo teploty dopravované vody,
- NS_336 Nedostatečná hydraulická kapacita sítě,

- NS_344 Porucha uzavírací armatury – šoupě – plošné vyhodnocení.

Tab. 3.13 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (vodovodní síť)

Riziko	DNS_338	DNS_339	DNS_340	NS_328	NS_332	NS_336	NS_344
Vodovodní síť	K3	K4	K4	K2	K1	K3	K3

Vysokou mírou rizika byly hodnoceny dva z celkem sedmi nežádoucích stavů. Oba NS byly hodnoceny maximálně střední pravděpodobností P2 a ohodnoceny vysokým zdravotním následkem C3. Zbývající nežádoucí stavy nepředstavují v této chvíli důvod přerušení nebo kvalitativní nedostatečnosti v zásobování obyvatel obce pitnou vodou.

DNS_338 Tvorba biofilmu – plošné vyhodnocení:

F3 Dezinfekce vody (vysoká pravděpodobnost P3)

Dávkování chlornanu sodného se provádí přímo do akumulární nádrže vodojemu větracím otvorem z manipulační komory. Chemikálie pro hygienické zabezpečení není tedy dávkována do potrubí na odtoku z vodojemu a není tak zajištěn stoprocentní kontakt dezinfekčního činidla se surovou vodou.

F4 Průměrná rychlost proudění (vysoká pravděpodobnost P3)

Dle provedené hydraulické analýzy je rychlost proudění vody v potrubí velmi nízká, v průměru se pohybuje do $0,1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$.

Nejkritičtěji hodnocen zdravotní následek jako středně vysoký (C2).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 7 %. Využitými podklady jsou matematický model distribuční sítě, provozní řád, záznamy o provedených opravách a údržbě, používané chemikálie, čisticí a dezinfekční prostředky, topologie SZV.

DNS_339 Tvorba inkrustů – plošné vyhodnocení:

F3 Materiál a stáří potrubí (střední pravděpodobnost P2)

Na části vodovodní sítě je jako materiál potrubí použita litina nebo ocel bez vnitřní izolace, která je starší 15 let s místním výskytem inkrustace.

Nejkritičtěji hodnocen zdravotní následek jako vysoký (C3).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 9 %. Využitými podklady jsou plán údržby, provozní řád, konzultace s provozním technikem, údaje o použitých stavebních materiálech.

DNS_340 Koroze kovových potrubí:

F2 Vlastnosti dopravované vody (vysoká pravděpodobnost P3)

Hodnoceno z důvodu nízkého obsahu sumy vápníku a hořčíku v dopravované vodě méně než $1,5 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$, přesně $1,08 \text{ mmol}\cdot\text{l}^{-1}$.

F5 Údržba (střední pravděpodobnost P2)

Pravidelné kontroly správné činnosti a průsaku armatur je prováděna s frekvencí nižší než jedenkrát ročně. Údržba potrubí je prováděna proplachem, který do roku 2015 nebyl řízený, pouze nahodilým výběrem podzemních hydrantů, a to s frekvencí cca 1x za 2 roky.

Nejkritičtěji hodnocen sociálně ekonomický následek jako vysoký (C3).

Nežádoucí stav byl hodnocen s nejistotou 11 %. Využitými podklady jsou záznamy o provedených opravách a údržbě, provozní řád, topologie SZV.

3.4.4 Nápravná opatření

Zadání nápravných opatření

V metodice pro komplexní systémy je navíc přidanou hodnotou možnost zadat nápravná opatření. U prováděné analýzy rizik je v dohledné budoucnosti uvažováno se dvěma konkrétními nápravnými opatřeními, realizovat by se ovšem měli z hlediska bezpečnosti distribuce pitné vody spotřebitelům ještě další dvě opatření [17].

Zadání nápravných opatření je umožněno opět pomocí vyplnění formulářů. Zadání opatření lze ve dvou skupinách – realizovaná či plánovaná. Umožněno je zadat typ opatření pro danou část systému zásobování vodou, výši investic, plánovaný rok realizace a roční provozní náklady. Určení výše investic ke každému opatření je stanoveno na základě Metodického pokynu pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací (aktualizované) ceny objektů, Čj. 401/2010-15000 Ministerstva zemědělství, viz následující podkapitola „Určení investičních nákladů“.

Nezbytné je při plánování nápravných opatření eliminovat vzniklá rizika systému zásobování vodou dle jejich závažnosti, tedy sestupně od velmi vysokého rizika (K5). Takové míry rizika bylo dosaženo při hodnocení analýzy rizik komplexní metodikou dvakrát, v obou případech u nežádoucích stavů hodnocených v distribuční části – pro vodojem Hrádek. Prvním nezbytným opatřením je tedy odstranění DNS_307 Porušení/destrukce stavební konstrukce manipulační komory vodojemu a NS_301 Porušení/destrukce stavební konstrukce akumulární nádrže vodojemu. Vzhledem k celkovému stavu je provozovatelem plánována přímo výstavba nového vodojemu, a to minimálně se dvěma akumulárními komorami. V prvé řadě jde o zvýšení celkové akumulace vodojemu, která je momentálně nedostačující. Zadání do aplikace WaterRisk znázorňuje (Obr. 3.12).

Nápravná opatření

Prvek	VDJ Hrádek	
Název	Stavba nového vodojemu	
Popis	<p>V srpnu 2015 rozhodlo zastupitelstvo obce o stavbě zcela nového vodojemu. Celková kapacita nového vodojemu bude činit 200 m³ a řešen bude jako typový vodojem s uspořádáním 4x50 m³, příp. 2x100 m³. Realizací tohoto nápravného ošetření dojde k odstranění dvou velmi vysokých rizik a dále k odstranění dalších vygenerovaných nežádoucích stavů (DNS_307, NS_301, NS_302, NS_303, NS_305, NS_306). K realizaci bude dle možností obce a vyhotovení projektu přistoupeno v roce 2016.</p>	
Investice	2822	tis. Kč
Rok investice	2016	RRRR

Obr. 3.12 Nápravné opatření I. – Stavba vodojemu.

Dalším opatřením, které je v plánu realizovat v blízké době, pravděpodobně v roce 2016, je zřízení nového podzemního zdroje, konkrétně nového hydrogeologického vrtu. Opatření je plánováno z důvodu stávající nedostatečné kapacity vodních zdrojů (NS_105 Nedostatečná kapacita, přetížení zdroje – hodnoceno jako vysoké riziko K4).

Nápravná opatření

Prvek	Hloubkový vrt HV1	
Název	Vybudování nového vrtu	
Popis	<p>Zřízení nového hydrogeologického vrtu z důvodu nedostatečné kapacity stávajících podzemních zdrojů vody. Uvažováno orientačně s hydrogeologickým vrtem obdobné hloubky jako stávající vrty HV1 a HV2. Dle kategorizace metodiky čj. 410/2010-15000 jde o nízkoprofilový vrt s hloubkou nad 20 m.</p>	
Investice	299	tis. Kč
Rok investice	2016	RRRR

Obr. 3.13 Nápravné opatření II. – vybudování nového vrtu.

Opatřením, které eliminuje další ohodnocení vysokou mírou rizika (K4), je rekonstrukce problematických částí rozvodné sítě. Jde o ty úseky, které jsou vysoce hodnoceny z hlediska nežádoucích stavů DNS_Tvorba inkrustů – plošné vyhodnocení a DNS_340 Koroze kovových potrubí. Jde o potrubí na rozvodné síti, pro které je jako materiál použita šedá litina a ocel. Tato potrubí jsou z let 1965, 1973 a 1977 a tvoří celkem 23,7 % celkové délky vodovodní sítě systému zásobování vodou (1984,1 m).

Nápravná opatření

Prvek	Vodovodní síť V1	
Název	Rekonstrukce vodovodních řadů	
Popis	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Select Font Size B <i>I</i> <u>U</u> ×₂ ×² </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> T [Icons] HTML </div>	
	Rekonstrukce zahrnuje problematické části potrubí z hlediska tvorby biofilmů, inkrustace a koroze potrubí. Uvažováno je potrubí z šedé litiny a oceli. Jde celkem o 23,7 % z celkové délky vodovodní sítě SZV. Použito bude potrubí PE 50, 80 a 100 mm.	
Investice	5595	tis. Kč
Rok investice	2020	RRRR

Obr. 3.14 Nápravné opatření III. - rekonstrukce vodovodních řadů.

Poslední opatření, které by odstranilo v pořadí třetí nejvyšší riziko (K3 – střední), představuje výměna stávajících nefunkčních podzemních hydrantů a uzávěrů. Provedením podrobného terénního průzkumu bylo zjištěno celkem 14 nefunkčních uzávěrů a 1 nefunkční podzemní hydrant.

Nápravná opatření

Prvek	Vodovodní síť V1	
Název	Výměna armatur	
Popis	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> Select Font Size B <i>I</i> <u>U</u> ×₂ ×² </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> T [Icons] HTML </div>	
	Výměna armatur zahrnuje nefunkční podzemní hydranty a uzávěry na vodovodní síti. Konkrétně jde o podzemní hydrant - 1 ks, uzávěr - 14 ks.	
Investice	80	tis. Kč
Rok investice	2020	RRRR

Obr. 3.15 Nápravné opatření IV. - výměna armatur.

Realizací těchto čtyř uvedených nápravných opatření dojde k eliminaci zásadních rizik, ke kterým může v systému zásobování vodou obce Hrádek u Sušice dojít. Rozdíl v počtu možných rizik před jejich realizací a po nich je znázorněn níže. Přehledně je realizace opatření na jednotlivých částech systému zásobování vodou znázorněno v příloze č. 6. 6.

Následující text uvádí postup při stanovení odhadu výše investičních nákladů na realizaci stanovených nápravných opatření.

Určení investičních nákladů

Pro vyplnění formulářů nápravných opatření bylo nutné znát odhadovanou výši investičních nákladů. Využit k tomu byl zmíněný metodický pokyn Ministerstva zemědělství čj. 410/2010-15000. Tento pokyn zahrnuje pořizovací ceny objektů pro orientační výpočet investičních nákladů na odběrné objekty z povrchových vod, podzemní zdroje (vrty a studny), úpravny vody, vodojemy, čerpací stanice, potrubí a tlakové štolky [25], nezahrnuje naopak ceny hydrantů a uzávěrů pro vodovodní síť. Tyto ceny byly tedy stanoveny orientačním odhadem dle platného ceníku firmy HAWLE ARMATURY spol. s r. o. [26]. Výpočty pořizovacích cen se stanoví jako součin tří, resp. dvou složek výsledné sumy [25]:

$$C_{TO} = k' \cdot C_u, \quad (3.1)$$

$$C_{TO} = k' \cdot t_p \cdot C_{mu}, \quad (3.2)$$

kde: C_{TO} ... cena objektu [Kč],

k' ... polohový koeficient velikosti obce (pro obec Hrádek u Sušice $k' = 0,85$),

C_u ... cenový ukazatel [Kč],

t_p ... technický parametr objektu (m, bm, m³ apod.),

C_{mu} ... měrný cenový ukazatel [Kč].

Následující tabulky uvádí přehled všech položek pro stanovení investic nutných k realizaci jednotlivých nápravných opatření. Všechny položky konečné ceny objektu C_{TO} jsou výsledkem součinu předchozích položek a polohového koeficientu velikosti obce $k' = 0,85$.

Tab. 3.14 Stanovení investičních nákladů pro I. nápravné opatření.

Objekt	C_u [tis. Kč]	C_{TO} [tis. Kč]
Stavba vodojemu	3 320,0	2 822,0

Tab. 3.15 Stanovení investičních nákladů pro II. nápravné opatření.

Objekt	C_{mu} [tis. Kč/bm]	t_p [m]	C_{TO} [tis. Kč]
Vybudování nového vrtu	8,8	40,0	299,2

Tab. 3.16 Stanovení investičních nákladů pro III. nápravné opatření.

PE DN [mm]	C_{mu}^* [Kč/bm]	t_p [m]	C_{TO} [tis. Kč]
50	2630,0	424,2	948,3
80	3190,0	392,7	1 064,8
100	3610,0	1167,2	3 581,6
Celkem	-	1984,1	5 594,7

* Pozn.: Měrný cenový ukazatel C_{mu} je uvažován pro uložení ve zpevněných plochách.

Tab. 3.17 Stanovení investičních nákladů pro IV. nápravné opatření.

Objekt	Jednotková cena* [Kč]	Počet [ks]	Cena [Kč]
Podzemní hydrant	10 000	1	10 000
Uzávěr	5 000	14	70 000
Celková cena [Kč]:			80 000

* Pozn.: Jednotková cena objektů je odhadnuta dle platného ceníku firmy Hawle Armatury spol. s r. o.

Tab. 3.18 Celkové investiční náklady nápravných opatření.

Nápravné opatření	Cena [Kč]
I. Stavba vodojemu	2 822 000
II. Vybudování nového vrtu	299 200
III. Rekonstrukce vodovodních řadů	5 594 700
IV. Výměna armatur	80 000
Celková cena [Kč]:	8 795 900

Celková cena za všechna plánovaná nápravná opatření činí necelých 9 miliónů Kč. Tato částka představuje náklady, jejichž vynaložení eliminuje veškeré vysoce rizikové nežádoucí stavy, ke kterým může momentálně s danou pravděpodobností vzniku v systému zásobování vodou dojít. Jednorázové vynaložení stanovených nákladů není v možnostech obce a ani by nebylo v praxi proveditelné, proto je v následujícím textu znázorněno postupné snižování rizik s ohledem na postupné zvyšování investovaných nákladů.

Snížení rizik realizací nápravných opatření

Postupné investice do popsaných nápravných opatření budou snižovat rizika vzniku nežádoucích stavů v SZV obce. Pořadí opatření je zachováno dle nutnosti eliminace nejvyšších mír rizika, tedy sestupně od K5. Následující tabulka (Tab. 3.19) rekapituluje četnost rizik a jejich přepočty dle váhy před realizací jakéhokoli nápravného opatření.

Tab. 3.19 Počet rizik v SZV před realizací nápravných opatření

Riziko	Četnost	Váha	Přepočet
K5	2	5	10
K4	9	4	36
K3	8	3	24
K2	12	2	24
K1	16	1	16
Celkem	47	-	110

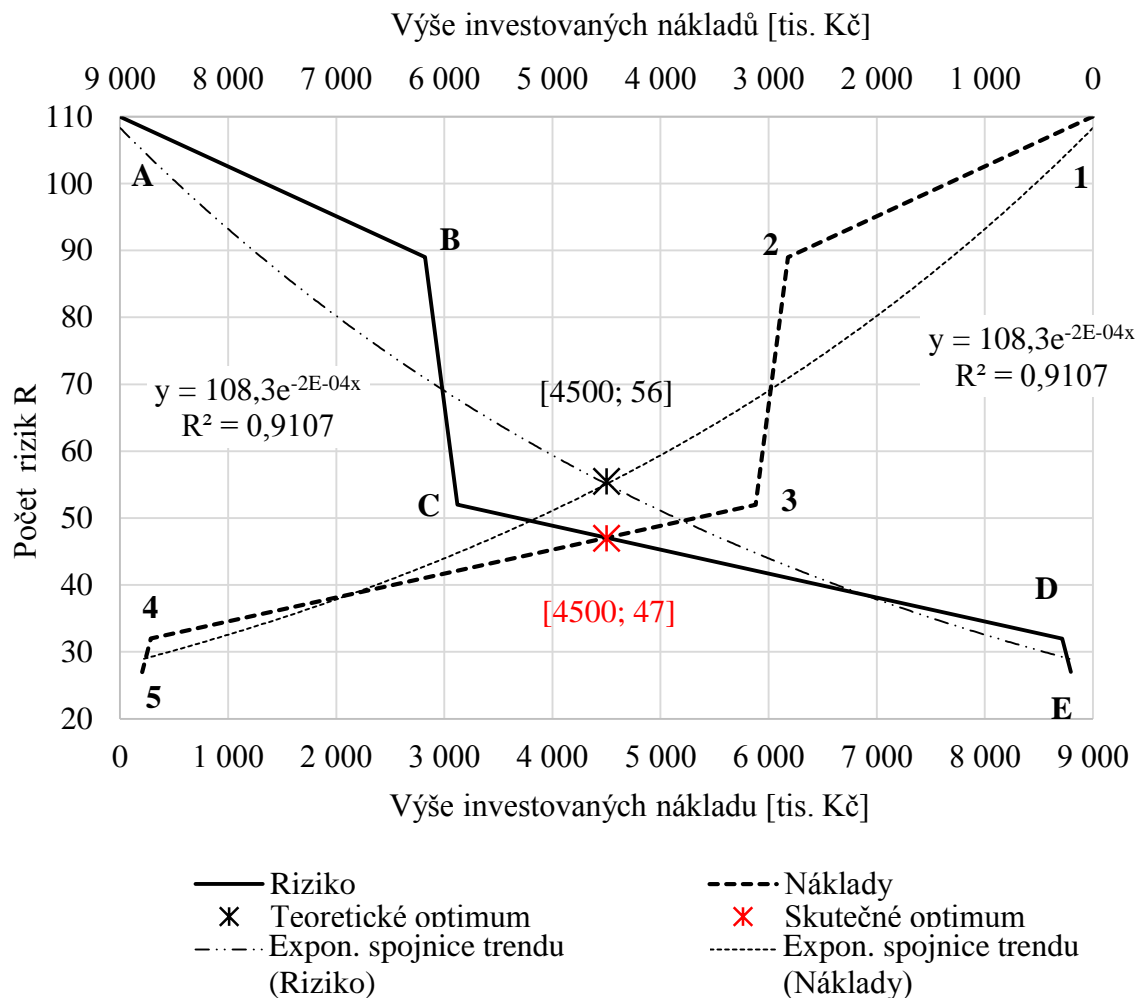
Tab. 3.20 zaznamenává toto postupné snižování počtu rizik jak podle jejich četnosti výskytu v systému, tak dle přiřazení váhy (přepočet označen jako v Tab. 3.20 „P“).

Tab. 3.20 Snižování rizik vlivem realizace nápravných opatření a jejich náklady

I. 2 822 tis. Kč			II. 299,2 tis. Kč			III. 5 594,7 tis. Kč			IV. 80 tis. Kč		
R	Četnost	P	R	Četnost	P	R	Četnost	P	R	Četnost	P
K5	0	0	K5	0	0	K5	0	0	K5	0	0
K4	7	28	K4	2	8	K4	0	0	K4	0	0
K3	7	21	K3	3	9	K3	1	3	K3	0	0
K2	12	24	K2	8	16	K2	5	10	K2	4	8
K1	16	16	K1	19	19	K1	19	19	K1	19	19
Σ	42	89	Σ	32	52	Σ	25	32	Σ	23	27

Následující (Graf 3.1) zobrazuje závislost počtu rizik na výši investovaných nákladů. Datová řada rizika (zobrazena plnou čarou) znázorňuje, jak se bude v SZV postupně snižovat počet rizik R dle výše investovaných nákladů. Body A, B, C, D, E popořadě představují počet rizik po realizaci I. až IV. nápravného opatření. Bodům odpovídá vynaložení nákladů v daných výších. Pro názornost lze uvést např. realizaci I. nápravného opatření, kterým je výstavba nového vodojemu. Opatření vyžaduje jednorázovou investici 2 822 tis. Kč a zaručuje snížení počtu rizik z bodu A (110) do bodu B (89). Druhá datová řada, řada nákladů (zobrazena čárkovanou čarou; body 1 až 5), představuje tutéž závislost vyjádřenou pomocí vedlejší osy.

Graf 3.1 Snížení rizik v závislosti na výši investovaných nákladů.



Tab. 3.21 Tabulkový výpis hodnot grafu 3.1.

Bod grafu	Realizace nápravného opatření	Počet rizik R	Investované náklady [tis. Kč]
A (1)	Žádné	110	0,0
B (2)	I.	89	2 822,0
C (3)	II.	52	3 121,2
Teoretické optimum	Část III.	56	4 500,0
Skutečné optimum	Část III.	47	4 500,0
D (4)	III.	32	8 715,9
E (5)	IV.	27	8 795,9

Díky tomuto znázornění je možné stanovit optimální výši nákladů, které je vhodné investovat, vzhledem k možnému snížení počtu rizik R v systému. Toto optimum, tedy vyvážený stav mezi náklady na snížení rizika a výši samotného rizika, je určeno jako teoretické a skutečné. Teoretický průběh závislosti je představován proložením exponenciální spojnice trendu datových řad. Jejich průsečík představuje polohu teoretického optima, které se v tomto případě nachází na souřadnicích [4 500; 56]. Skutečné optimum je potom představováno průsečíkem datových řad určených dle skutečných pořizovacích cen, odpovídají mu souřadnice [4 500; 47]. Shodně tedy byla určena optimální výše nákladů, které se vyplatí do realizace nápravných opatření investovat, jako 4 500 000 Kč. Tyto optimální náklady představují pouhých 51 % z původní určené celkové částky, potřebné k realizaci všech čtyř nápravných opatření, která byla stanovena na 8 795 900 Kč (100 % nákladů).

Hodnota rizika, která bude investováním těchto optimálních nákladů dosažena, se ovšem v případě teorie a skutečnosti liší. Skutečný počet rizik, která mohou v systému nastat, je oproti teoretickému nižší. Pro dosažení této úrovně rizika v SZV není tedy nutné investovat do realizace kompletního III. nápravného opatření v hodnotě 5 594 700 Kč, ale pouze do jeho části. Ta je představována nejnaléhavějším stavem vybraných vodovodních řadů v celkové výši investic 2 473,5 tis. Kč po realizaci I. a II. opatření. Částka je uvažována pro dosažení celkových optimálních nákladů ve výši 4 500 tis. Kč.

Určující je při této úvaze fakt, že realizací těch nápravných opatření, jejichž náklady spadají do optimálních investičních nákladů, jsou ze systému odstraněna všechna velmi vysoká (K5), vysoká (K4) a část středních rizik (K3). S tímto závěrem již lze systém považovat za vyhovující co do spolehlivosti provozu. Uvedená matice rizik na (Obr. 3.16) zobrazuje výhledový stav počtu rizik, která mohou v systému zásobování vodou způsobit vznik nežádoucích stavů, po realizaci charakterizovaných nápravných opatření.

Hodnotící stupeň		Následky		
		C1	C2	C3
Pravděpodobnost	P1	10 / 0 / 10 K1 - zanedbatelné	0 / 0 / 0 K2 - nízké	0 / 0 / 0 K3 - střední
	P2	3 / 0 / 1 K2 - nízké	0 / 0 / 0 K3 - střední	0 / 0 / 0 K4 - vysoké
	P3	0 / 0 / 0 K3 - střední	0 / 0 / 0 K4 - vysoké	0 / 0 / 0 K5 - velmi vysoké

Obr. 3.16 Matice rizik - výhledový stav po realizaci nápravných opatření.

Následující kapitola se zabývá hodnocením a následným porovnáním výsledků obou typů metodik, které byly na systém zásobování vodou aplikovány.

3.5 POROVNÁNÍ VÝSLEDKŮ OBOU METODIK

Již dle rozdílného způsobu hodnocení analýzy rizik vodovodu jako jednoduchého a komplexního systému je zřejmé, že výsledky obou metodik nemusí být zcela shodné. I v případě provedené analýzy rizik obce Hrádek u Sušice byly obdrženy výsledky, které se zcela neshodují. Následující tabulka uvádí přehled rizik dle četnosti dosažených u jednotlivých metodik.

Tab. 3.22 Přehled výsledků analýzy rizik obou metodik.

Riziko	Četnost rizik	
	Jednoduchá metodika	Komplexní metodika
K5	2	2
K4	8	9
K3	4	8
K2	17	12
K1	16	16

3.5.1 Postupy hodnocení metodik

Rozdílných výsledků komplexní metodiky oproti jednoduché metodice je dosaženo především z důvodu rozdílného postupu hodnocení analýzy četností. Komplexní metodika umožňuje hodnotit každý faktor nežádoucího stavu F1, F2, atd. vlastní pravděpodobností (N', P0 až P3). Jednoduchá metodika oproti tomu pouze odhaduje pravděpodobnost výskytu každého vygenerovaného nežádoucího stavu jako celku s totožným hodnocením (N', P0 až P3).

Analýza následků je potom určena u obou metodik stejným způsobem (stupnice N', C0 až C3). Rozdíl nastává v počtu hodnocených následků. Komplexní metodika umožňuje určit míru následků zdravotních, ekonomických, sociálně ekonomických a environmentálních. V rámci environmentálních následků se hodnotí zvláště vliv na obyvatelstvo, na ekosystém, na antropogenní systém, na strukturu a funkční využití prostředí a ostatní vlivy. Jednoduchá metodika vyžaduje hodnocení pouze dvou druhů následků z celkových čtyř. Jsou jimi následky zdravotní a sociálně ekonomické.

Další rozdíl můžeme sledovat v hodnocení nejistot. U komplexních systémů je vyhodnocena nejistota u každého nežádoucího stavu na základě dostupných podkladů a celkové znalosti systému, kdy je mj. dovoleno hodnotit určitý faktor nežádoucího stavu možnostmi „nevím“ nebo lze určit následek označením „nehodnoceno“. Celková nejistota

komplexní metodiky je pak určena jako maximální hodnota ze všech hodnot nejistot vygenerovaných nežádoucích stavů. Jednoduchá metodika oproti tomu hodnocení nejistot nezahrnuje.

3.5.2 Rozdílné výsledky hodnocení nežádoucích stavů

Rozdílných výsledků metodik bylo dosaženo u hodnocení obou dílčích částí systému zásobování vodou, tedy u vodních zdrojů a u distribuce vody.

Tab. 3.23 Přehled rozdílně hodnocených nežádoucích stavů.

Část SZV	Kód	Název
Vodní zdroje	NS_103	Kontaminace surové vody chemickým znečištěním
Distribuce vody	NS_302	Zhoršení kvality pitné vody v akumulární nádrži vodojemu
Distribuce vody	NS_344	Porucha uzavírací armatury – šoupě – plošné hodnocení

Vodní zdroje

Neshodou při hodnocení nežádoucích stavů vodních zdrojů byl u čtyř podzemních zdrojů surové vody nežádoucí stav související s kontaminací surové vody chemickým znečištěním. Rozdílnost stanovených rizik je zřejmá z následující tabulky.

Tab. 3.24 Výsledky hodnocení NS_103 vodních zdrojů.

Prvek	Jednoduchá metodika			Komplexní metodika		
	Pravděpodobnost	Následek	Riziko	Pravděpodobnost	Následek	Riziko
Průhon	P1	C1	K1	P1	C1	K1
HV1	P1	C2	K2	P2	C2	K3
HV2						
S1						
S1						

Nežádoucí stav NS_103 Kontaminace surové vody chemickým znečištěním se týká staré ekologické zátěže, která se nachází v povodí hydrogeologických vrtů a kopaných studen. Jak již bylo zmíněno v kapitolách 3.3 a 3.4, které se týkají hodnocení vodovodu jednotlivými metodikami, jedná se o skládku. Tato provizorní skládka způsobila v minulosti kontaminaci těchto vodních zdrojů.

Jednoduchá metodika hodnotí nežádoucí stav nízkou pravděpodobností výskytu P1, tedy méně než jedenkrát ročně. Hodnoceno tak bylo z důvodu problému, který není v této chvíli prokazatelný, ale je možný další průsak z areálu bývalého lomu do podloží, kdy by došlo k opětovné kontaminaci surové vody.

Komplexní metodika hodnotí nežádoucí stav celkovou pravděpodobností P2, střední. Jde o průměr pravděpodobností, které byly u jednotlivých faktorů určeny, přičemž nejkritičtěji byl hodnocen faktor F2, a to pro „výskyt staré ekologické zátěže v povodí vodního zdroje“. Ostatní faktory nežádoucího stavu byly hodnoceny nízkou pravděpodobností. Výčet faktorů nežádoucího stavu je následující:

- F1 – Pronikání povrchové vody do zdroje podzemní vody (P1),
- F2 – Kontaminace nepolárními extrahovatelnými látkami a polyaromatickými uhlovodíky (P3),
- F3 – Pesticidy (P1),
- F4 – Dusičnany a dusitany (P1),
- F5 – Polychlorované bifenyly (P1).

Následky nežádoucího stavu NS_103 byly oběma metodikami nejvýše hodnoceny jako středně vysoké (C2), a to u kategorie zdravotních následků.

Distribuce vody

Tato část systému zásobování vodou byla hodnocena rozdílně v případě dvou nežádoucích stavů. Jak uvádí tabulka (Tab. 3.25) a (Tab. 3.26), týkají se vodojemu a vodovodní sítě.

Tab. 3.25 Výsledky hodnocení NS_302 distribuce vody.

Prvek	Jednoduchá metodika			Komplexní metodika		
	Pravděpodobnost	Následek	Riziko	Pravděpodobnost	Následek	Riziko
Vodojem	P1	C3	K3	P2	C3	K4

Nežádoucí stav NS_302 Zhoršení kvality pitné vody v akumulární nádrži vodojemu byl mírněji hodnocen v případě jednoduché metodiky. NS byl hodnocen nízkou pravděpodobností výskytu, tedy méně než jednou ročně, z důvodu dlouhodobě se nezhoršujících ukazatelů kvality vody. K dlouhodobé stagnaci vody ve vodojemu nedochází, ovšem riziko může být představováno stavem akumulární nádrže vodojemu, tedy nevhodným provedením konstrukce objektu a vzniku mrtvých koutů.

Komplexní metodika hodnotí tento NS přísněji z důvodu údržby vodojemu, která je prováděna ve velmi dlouhých intervalech (faktor F1) a dále kvůli způsobu provedení větracího systému, který není osazen zařízením na filtraci vzduchu ani jinak zabezpečen a ústí přímo do prostoru manipulační komory (faktor F5). Hodnocení všech faktorů uvádí následující výčet:

- F1 – Nedostatečná údržba VDJ (P3),
- F2 – Stagnace vody a stárnutí vody, způsob provozování (P1),
- F3 – Nevhodné vlastnosti akumulované vody (P0),
- F4 – Konstrukce, technický stav a použité materiály nádrže (P1),
- F5 – Biofilm, oživení vody, vzdušná kontaminace (P3).

Nejvyšší hodnocení následků se shoduje, hodnoceno vysokým sociálně ekonomickým následkem C3 a zdravotním následkem C2.

Dále je popsáno hodnocení nežádoucího stavu NS_344 týkající se vodovodní sítě.

Tab. 3.26 Výsledky hodnocení NS_334 distribuce vody.

Prvek	Jednoduchá metodika			Komplexní metodika		
	Pravděpodobnost	Následek	Riziko	Pravděpodobnost	Následek	Riziko
Vodovodní síť	P1	C1	K1	P3	C1	K3

Nežádoucí stav NS_344 Porucha uzavírací armatury – šoupě – plošné vyhodnocení je opět mírněji hodnocen jednoduchou metodikou. Dle provozních záznamů a záznamů oprav na vodovodní síti obce dojde k poruše této armatury na celé rozvodné síti méně než jedenkrát za rok, což odpovídá stanovení nízké pravděpodobnosti výskytu tohoto nežádoucího stavu.

Oproti tomu komplexní metodika je konkrétnější v charakteristice stáří jednotlivých uzavíracích armatur, jejich funkčnosti, umístění a technického stavu, jak popisují uvedené faktory tohoto NS:

- F1 – Průměrné stáří, konstrukce a materiál použitý na výrobu armatur (P1),
- F2 – Umístění armatur a způsob ovládání (P2),
- F3 – Nedostatečná či nevhodná údržba (P3),
- F4 – Tvorba inkrustů (P2).

Stáří armatur osazených na vodovodní síti není více než 20 let a evidence se provádí pravidelně při rekonstrukcích či poruchách (faktor F1). Faktor F2 hodnocen střední pravděpodobností z důvodu umístění více jak 10 % těchto armatur v jízdni stopě dopravních prostředků. Nejkritičtěji byl hodnocen faktor F3 z důvodu nefunkčnosti více jak 20 % armatur, konkrétně 14 uzávěrů z celkových 61 kusů. Faktor F4 je hodnocen střední pravděpodobností kvůli ohodnocení nežádoucího stavu DNS_339 Tvorba inkrustů taktéž kategorií P2.

Všechny druhy následků byly hodnoceny nejvýše nízkou kategorií C1 shodně u obou metodik.

3.5.3 Výsledek porovnání obou metodik

Jak dokládají výše uvedené výčty hodnocení obou metodik, kritičtěji hodnoceny jsou nežádoucí stavy vždy pomocí komplexní metodiky. Je tomu tak z důvodu specifikace problémů, které mohou v rámci každého nežádoucího stavu vyvstat.

Za plnohodnotnější výsledek lze potom považovat hodnocení právě komplexní metodikou. Konkrétní faktory nabízí možnost zamyslet se a připustit výskyt i těch součástí nežádoucích stavů, které se mohou daného systému zásobování vodou týkat jen zdánlivě. Přesto pak mohou mít na stav SZV zásadní vliv. Toto u jednoduché metodiky zahrnuto není a lze tedy její výsledky považovat do jisté míry za orientační. Naopak kladem jednoduché metodiky je značná časová úspora provedení analýzy, ovšem na úkor zmíněné detailnosti výsledku.

4 ZÁVĚRY A DOPORUČENÍ

Diplomová práce se zabývá analýzou rizik vodovodu obecního typu. Analýza byla provedena prostřednictvím softwaru vyvinutého v rámci projektu WaterRisk na vodovodu obce Hrádek u Sušice nacházející se v Plzeňském kraji. Využity byly obě metodiky, které jsou pro posuzování vodárenských systémů tímto softwarovým prostředkem k dispozici, tedy jednoduchá a komplexní metodika. Uplatněný postup metodiky WaterRisk byl nejdříve prostudován a jeho bližšímu popisu se věnuje úvodní kapitola práce.

Před provedením praktické části bylo nutné detailní seznámení s celým systémem zásobování vodou v obci, který popisuje v pořadí druhá kapitola. Veškeré informace, které byly o vodovodu zjištěny z dostupných podkladů, byly konzultovány s provozním technikem obce a následně doplněny o informace a fotodokumentaci získané z provedeného podrobného terénního průzkumu. Průzkum zahrnoval prohlídku všech pěti zdrojů podzemní vody, přečerpávací nádrže, vodojemu a trasy celé vodovodní sítě spolu s prohlídkou všech jejích objektů, především šlo o zjištění polohy a technického stavu veškerých uzavíracích armatur a hydrantů. Na vodovodní síti dále proběhla měrná kampaň, díky které byly k dispozici údaje o průtoku a tlaku v daném místě měření. Tyto hodnoty sloužily mj. pro ověření správné funkce sestaveného hydraulického modelu vodovodní sítě.

Výsledky stěžejní části práce, která byla provedena prostřednictvím aplikace WaterRisk, jsou znázorněny a komentovány v předposlední kapitole práce. Prvotní volbou bylo, zda posuzovat systém v obci jako jednoduchý, či komplexní. Svou charakteristikou představuje vodovod obce typický jednoduchý systém ve všech pěti kritériích. Při posouzení systému jako jednoduchého bylo riziko vyhodnoceno jako velmi vysoké (K5) dvakrát u stavu manipulační komory a akumuláční nádrže a jako vysoké (K4) celkem osmkrát - u stavu pěti vodních zdrojů z hlediska jejich kapacitního přetížení, kvality pitné vody v akumuláční nádrži, z hlediska tvorby inkrustů a koroze potrubí vodovodní sítě. Jedná se pouze o kvalifikovaný odhad pravděpodobnosti vzniku daného nežádoucího stavu, kde se nezohledňují podklady, na základě kterých k danému ohodnocení došlo. Není zde tedy stanovena nejistota, se kterou lze dané výsledky uvažovat.

Po provedení i druhého typu analýzy se jeví právě komplexní metodika jako přesnější nástroj k dosažení kvalitních výsledků, a to i přes vyšší náročnost jak časovou, tak informační. Vyhodnoceny byly dva prvky s velmi vysokým rizikem (K5) a devět s vysokým rizikem (K4). Šlo o shodné hodnocení jako u jednoduché metodiky, ovšem navíc s hodnocením kvality vody v akumuláční nádrži, která byla hodnocena přísněji díky konkretizaci jednotlivých faktorů. Oproti jednoduché metodice byl navíc odlišně vyhodnocen i nežádoucí stav kontaminace chemickým znečištěním u čtyř z pěti vodních zdrojů a dále byl touto metodikou přísněji hodnocen stav uzavíracích armatur na vodovodní síti. Důležitou informací komplexní metodiky je i stanovená nejistota u každého prvku vodovodu. Celková

nejistota, s jakou byla rizika komplexní metodikou stanovena, činí 15 %. Tato procentuální hodnota nejistoty byla stanovena na základě množství dostupných podkladů k dílčímu nežádoucímu stavu každého prvku, které jsou u daných nežádoucích stavů uvedeny. Nejvyšší nejistota činila 11 %, a to u prvku vodovodní síť – konkrétně nežádoucí stav koroze kovových potrubí. Je tomu tak z nedostatku podkladů pro tuto část, která se týká stavební dokumentace, výsledků dříve provedených analýz, údajů z automatického monitoringu ve vodojemu, kamerového monitoringu potrubí a rozborů distribuované vody za posledních pět let.

Jak bylo uvedeno, nejslabším místem celého systému zásobování vodou obce Hrádek u Sušice je podle obou metodik vodojem a dílčí úseky vodovodní sítě. Výsledky analýzy rizik nejsou překvapivé, jelikož zjevný špatný technický stav vodojemu a jeho nedostačující kapacita byly příčinou plánu pro období roku 2016 až 2017 postavit nový vodojem s dostatečnou kapacitou a s minimálně dvěma akumulacími nádržemi, např. z důvodu kvalitního provedení čištění vodojemu a zároveň zachované distribuce pitné vody odběratelům. Toto opatření nelze než doporučit. Jako další vhodné nápravné opatření bylo stanoveno a zastupiteli obce i plánováno, vybudovat nový vodní zdroj, konkrétně vrt. Realizací tohoto opatření dojde k odstranění vysokých rizik stávajících zdrojů a zvýší se tak celková kapacita. Stav vodovodní sítě je kritický z důvodu inkrustace potrubí a jeho koroze, což je dáno především pokročilým stářím použitých materiálů. Na místě je postupná obnova vodovodní sítě, zejména těch částí potrubí, kde je jako materiál použita šedá litina a ocel, z důvodu jejich schopnosti koroze. Posledním stanoveným nápravným opatřením je výměna všech nefunkčních armatur na síti, které jsou představovány jedním podzemním hydrantem a čtrnácti uzavíracími armaturami. Pro zamezení tvorby inkrustace v potrubí a celkové zlepšení stavu vodovodní sítě je vhodné zařadit do plánu údržby častější řízené proplachy vodovodní sítě, kontroly a protáčení podzemních hydrantů a uzavíracích armatur z důvodu zaručení jejich funkčnosti.

V rámci definice nápravných opatření, která zaručí odstranění nejkritičtějších rizik (K5, K4, K3), byly současně stanoveny investiční náklady na realizaci těchto opatření. Využit byl metodický pokyn Ministerstva zemědělství čj. 401/2010-15000 a určeny tak mohly být orientační pořizovací ceny daných objektů. Se zvyšující se investicí do realizace opatření dochází postupně ke snižování počtu rizik, která mohou s danou pravděpodobností nastat. Stanovením bodu skutečného optima byla určena výše nákladů, které je vhodné do realizace nápravných opatření investovat tak, aby byl snížen počet rizik na vyhovující úroveň. Tyto náklady představují 51 % z celkové výše určených nákladů, tedy 4 500 000 Kč. Počet rizik tak bude snížen z původních 110 na vyhovujících 47 a odstraněny tím budou velmi vysoká, vysoká a část středních rizik.

Výstupy provedených analýz rizik a tato práce mohou být využity jako podklad pro budoucí provozování systému zásobování vodou obce Hrádek u Sušice a jeho plánovanou modernizaci.

5 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, L., RUČKA, J., KOŽÍŠEK, F., PUMMAN, P., HLAVÁČ, J., SVOBODA, M. a kol. *Analýza rizik veřejných vodovodů*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2010.
- [2] ČSN IEC 300-3-9 *Management spolehlivosti - Část 3: Návod k použití - Oddíl 9: Analýza rizika technologických systémů*. Český normalizační institut, 1997.
- [3] ČSN ISO 31000 *Management rizik - Principy a směrnice*. Český normalizační institut, 2010.
- [4] PUBLICATIONS, W. A. HACCP Alliance. *What HACCP Really Means* [online]. 1994 [cit. 2015]. Dostupné z: <http://haccpalliance.org/alliance/haccp.htm>
- [5] TUHOVČÁK, L., KOŽÍŠEK, F., RUČKA, J., JUHAŇÁK, T., Risk Management. In: www.risk-management.cz [online]. 2010 [cit. 2015]. Dostupné z: <http://www.risk-management.cz/clanky/Identifikace-a-quantifikace-rizik-vodarenskych-systemu-projekt-WaterRisk.pdf>
- [6] WORLD HEALTH ORGANIZATION, I. W. A. *Water Safety Plan Manual*. Geneva: Library Cataloguing-in-Publication Data, 2009. Třídící znak ISBN 978 924 156 263 8.
- [7] MANAGEMENT MANIA, *Analýza pomocí kontrolního seznamu*. ManagementMania's Series of Management, 2011-2013. Dostupné také z: <https://managementmania.com/cs/analýza-kontrolni-seznam-cla-checklist-analysis>
- [8] MANAGEMENT MANIA, *What-If Analysis*. ManagementMania's Series of Management, 2011-2013. Dostupné také z: <https://managementmania.com/cs/co-kdyz-analyza-what-if-analysis>
- [9] *Obec*. Hrádek u Sušice: [cit. 2015-09-14]. Dostupné z: <http://www.sumavanet.cz/hradek/zaklad.asp>
- [10] *Plán rozvoje vodovodů a kanalizací Plzeňského kraje*. PRVAK, obec Hrádek, karta CZ032_0458_01, 2004. Dostupné také z: http://prvak.plzensky-kraj.cz/PDF/KARTY/CZ032_0458_01.pdf
- [11] ŠUMAVSKÉ VODOVODY A KANALIZACE, a. s. *Provozní řád vodovodu Hrádek* [pdf]. Hrádek u Sušice: 2005.
- [12] Ministerstvo životního prostředí, Česká republika. *Digitální povodňový plán ČR*. 2014 [cit. 2015-09-14]. Dostupné z: http://www.dppcr.cz/html_pub/
- [13] TUHOVČÁK, L. *BP03 - VODÁRENSTVÍ: Doprava vody*. Ústav vodního hospodářství obcí, FAST VUT v Brně. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s r. o. 2006.
- [14] HEMILTON, S. a R. MCKENZIE. *Water Management and Water Loss*. London, UK: IWA Publishing, 2014. ISBN 9781780406350.
- [15] ŠUMAVSKÉ VODOVODY A KANALIZACE, a. s. *Výkazy objemů vody vyrobené a fakturované*. Obec Hrádek u Sušice: 2014.

- [16] RUČKA, J., KOVÁŘ, J. Software Tool for Calibration od Hydraulic Models of Water-Supply Networks. Mechatronics. Recent Technological and Scientific Advances, 2013. ISBN 978-3-319-02293-2.
- [17] Ministerstvo zemědělství, Česká republika. *Vyhláška č. 428/2001 Sb. kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb. o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích)*, 2001.
- [18] Ministerstvo zdravotnictví, Česká republika *Vyhláška č. 252/2004 Sb. kterou se stanoví hygienické požadavky na pitnou a teplou vodu a četnost a rozsah kontroly pitné vody*, 2004.
- [19] Státní úřad pro jadernou bezpečnost, Česká republika. *Vyhláška č. 307/2002 Sb. o radiační ochraně.*, ze dne 13. 6. 2012.
- [20] Český normalizační institut, Česká republika. *ČSN 73 0873 Požární bezpečnost staveb - Zásobování požární vodou.*, Červen 2003.
- [21] Český normalizační institut, Česká republika. *ČSN 73 6650 Vodojemy.*, Srpen 2010.
- [22] HYSKOVÁ, B. *Územní plán obce Hrádek*. Hrádek: Městský úřad Sušice, 2015. Dostupné také z: <http://www.mestosusice.cz/mususice/user/UP/hradek/Text.pdf>
- [23] Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. *Hydroekologický informační systém VÚV TGM* [online]. 2015, verze Mapa: Vodní hospodářství a ochrana vod. Dostupné také z: <http://heis.vuv.cz/default.asp?typ=00>
- [24] RUČKA, J., HOFMANNOVÁ, L., *Studie vodovodní sítě obce Hrádek u Sušice*. 2015.
- [25] Ministerstvo zemědělství, Česká republika. *Metodický pokyn pro orientační ukazatele výpočtu pořizovací (aktualizované) ceny objektů do Čj. 401/2010-15000*, 2010. Dostupné: http://eagri.cz/public/web/file/40871/Metodicky_pokyn_CENY___2009.pdf
- [26] HAWLE ARMATURY spol. s r. o. *Ceník produktů HAWLE*. 2015.
- [27] Triop, *mapa ČR*. 2014 [cit. 2015-09-14]. Dostupné z: <http://www.triop.cz/prodejci.php?kraj=plzensky>
- [28] *WORLD HEALTH ORGANIZATION, Guidelines for Water-Drinking Quality: Volume 1. 3rd.* 515 s. Geneva: Library Cataloguing-in-Publication Data, 2011. ISBN 9789241547611.
- [29] VÝZKUMNÝ ÚSTAV VODOHOSPODÁŘSKÝ T. G. MASARYKA. *Hydroekologický informační systém VÚV TGM*. Hydrosoft Veleslavín, s. r. o. Dostupné také z: http://heis.vuv.cz/data/webmap/isapi.dll?map=mp_heis_voda&
- [30] ManagementMania's Series of Management ISSN 2327-3658. *Management Mania* [online]. 2011-2013 [cit. 2015]. Dostupné z: <https://managementmania.com/cs/rizeni-rizik>

SEZNAM TABULEK

Tab. 1.1 Kritéria rozdělení systémů na jednoduché a komplexní [1].....	15
Tab. 2.1 Charakteristika zdrojů vody.	22
Tab. 2.2 Dávkování dezinfekčních činidel.	23
Tab. 2.3 Délky řadů vodovodní sítě.	25
Tab. 2.4 Zastoupení materiálů potrubí dle dimenzí na rozvodném řadu.	25
Tab. 2.5 Zastoupení materiálu potrubí dle dimenzí na příváděcím řadu.	26
Tab. 2.6 Zastoupení materiálu potrubí dle dimenzí na zásobním řadu.....	26
Tab. 2.7 Celkové zastoupení materiálů potrubí.	26
Tab. 2.8 Naměřené hodnoty hydrodynamického tlaku na hydrantech H3 a H14.	30
Tab. 2.9 Hodnoty koeficientů hodinové a denní nerovnoměrnosti.	32
Tab. 2.10 Hodnoty průtoků stanovené analýzou spotřeby vody.	32
Tab. 2.11 Charakteristické průtoky.	34
Tab. 2.12 Standart bilančního vykazování ztrát vody dle IWA [15] s hodnotami pro obec Hrádek za rok 2014.	34
Tab. 2.13 Výsledky kalibrace.	36
Tab. 2.14 Měření zákalu a volného chlóru ve vodovodní síti.	37
Tab. 2.15 Obsah volného chlóru a zákalu dle rozborů vody vyhovujícím mezním hodnotám (MH) dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.	37
Tab. 2.16 Obsah železa a manganu dle rozborů vody vyhovující mezním hodnotám (MH) vyhlášky č. 252/2004 Sb.....	37
Tab. 2.17 Ukazatelé nesplňující doporučené hodnoty (DH) dle vyhlášky č. 252/2004 Sb.....	38
Tab. 2.18 Ukazatelé překračující směrné hodnoty (SH) dle vyhlášky č. 307/2002 Sb.	38
Tab. 2.19 Stáří vodovodní sítě vyjádřeno v jednotkách délky.	42
Tab. 2.20 Počet poruch vodovodu v letech 2010 – 2014.	42
Tab. 2.21 Stanovení poruchovosti vodovodu dle Národní databáze poruchovosti.	43
Tab. 3.1 Přehled počtu stanovených nebezpečí u daných částí SZV.	50
Tab. 3.2 Hodnocení analýzy četnosti.....	53
Tab. 3.3 Hodnocení analýzy následků (zdravotní a sociálně ekonomické následky).	53
Tab. 3.4 Hodnocení NS vodních zdrojů jednoduchou metodikou.	54
Tab. 3.5 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (vodojem Hrádek).	55
Tab. 3.6 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (přečerpávací nádrž).	55
Tab. 3.7 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (zásobní a příváděcí.....	55
Tab. 3.8 Hodnocení NS distribuční sítě jednoduchou metodikou (vodovodní síť).....	56

Tab. 3.9 Hodnocení NS vodních zdrojů komplexní metodikou.	58
Tab. 3.10 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (vodojem Hrádek).	59
Tab. 3.11 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (přečerpávací nádrž).	61
Tab. 3.12 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (přiváděcí a zásobní řady)...	61
Tab. 3.13 Hodnocení NS distribuční sítě komplexní metodikou (vodovodní síť)	62
Tab. 3.14 Stanovení investičních nákladů pro I. nápravné opatření.	66
Tab. 3.15 Stanovení investičních nákladů pro II. nápravné opatření.	66
Tab. 3.16 Stanovení investičních nákladů pro III. nápravné opatření.	67
Tab. 3.17 Stanovení investičních nákladů pro IV. nápravné opatření.	67
Tab. 3.18 Celkové investiční náklady nápravných opatření.	67
Tab. 3.19 Počet rizik v SZV před realizací nápravných opatření.	68
Tab. 3.20 Snižování rizik vlivem realizace nápravných opatření a jejich náklady	68
Tab. 3.21 Tabulkový výpis hodnot grafu 3.1.	69
Tab. 3.22 Přehled výsledků analýzy rizik obou metodik.	71
Tab. 3.23 Přehled rozdílně hodnocených nežádoucích stavů.	72
Tab. 3.24 Výsledky hodnocení NS_103 vodních zdrojů.	72
Tab. 3.25 Výsledky hodnocení NS_302 distribuce vody.	73
Tab. 3.26 Výsledky hodnocení NS_334 distribuce vody.	74

SEZNAM GRAFŮ

Graf 2.1 Procentuální zastoupení materiálů.	26
Graf 2.2 Časový průběh tlaku během nepracovního dne (hydrant H3).....	29
Graf 2.3 Časový průběh tlaku během pátku - neděle (hydrant H14).....	30
Graf 2.4 Průběh odtoku vody z vodojemu (pracovní den).	31
Graf 2.5 Průběh spotřeby vody v pracovní dny.....	33
Graf 2.6 Průběh spotřeby vody v nepracovní dny.	33
Graf 2.7 Stáří vodovodní sítě vyjádřeno v procentech.	42
Graf 3.1 Snížení rizik v závislosti na výši investovaných nákladů.	69

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1.1 Proces analýzy a řízení rizik [2].	9
Obr. 1.2 Aplikace WaterRisk - úvodní menu projektu.	14
Obr. 1.3 Aplikace WaterRisk - matice rizik.	17
Obr. 2.1 Lokalizace obce Hrádek u Sušice s vyznačením Plzeňského kraje [27].	20
Obr. 2.2 Schéma vodárenského systému obce Hrádek.	21
Obr. 2.3 Rozvaděč a zabezpečení u přečerpávací nádrže.	22
Obr. 2.4 Vstup do armaturní komory zemního vodojemu Hrádek.	23
Obr. 2.5 Dávkování dezinfekce a odvětrání akumulární komory.	24
Obr. 2.6 Pohled na výstroj armaturní komory vodojemu.	24
Obr. 2.7 Vystrojení armaturní šachty „U nádraží“.	27
Obr. 2.8 Umístění osazených hydrantů na vodovodní síti.	29
Obr. 2.9 Osazení průtokoměru ve vodojemu a záznamník naměřených hodnot.	30
Obr. 2.10 Nevyhovující technický stav armatur ve vodojemu.	41
Obr. 2.11 Vstupní otvor k armaturám.	41
Obr. 2.12 Výřez potrubí GG 100 mm z roku 1965 se silnou inkrustací (foto duben 2015).	44
Obr. 3.1 WaterRisk - evidence majetku (vodní zdroje).	46
Obr. 3.2 WaterRisk - evidence majetku (úprava vody).	47
Obr. 3.3 WaterRisk - evidence majetku (distribuce vody).	47
Obr. 3.4 WaterRisk - volba metodiky.	48
Obr. 3.5 WaterRisk - deskripce systému (vodní zdroje).	49
Obr. 3.6 WaterRisk - deskripce systému (vodojem).	49
Obr. 3.7 WaterRisk - deskripce systému (popis tlakového pásma).	49
Obr. 3.8 WaterRisk - matice rizik pro jednoduchý systém.	52
Obr. 3.9 WaterRisk - tabulkový přehled analýzy pro jednoduchý systém.	53
Obr. 3.10 WaterRisk - matice rizik pro komplexní systém.	57
Obr. 3.11 WaterRisk - tabulkový přehled analýzy pro komplexní systém.	57
Obr. 3.12 Nápravné opatření I. – Stavba vodojemu.	64
Obr. 3.13 Nápravné opatření II. – vybudování nového vrtu.	64
Obr. 3.14 Nápravné opatření III. - rekonstrukce vodovodních řadů.	65
Obr. 3.15 Nápravné opatření IV. - výměna armatur.	65
Obr. 3.16 Matice rizik - výhledový stav po realizaci nápravných opatření.	70

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

- R* ... míra rizika,
C ... následek daného nežádoucího stavu,
C0 ... žádné/nevýznamné následky,
C1 ... nízké následky,
C2 ... středně vysoké následky,
C3 ... vysoké následky,
P ... pravděpodobnost výskytu nežádoucího stavu,
P0 ... nulová pravděpodobnost,
P1 ... nepravděpodobné,
P2 ... pravděpodobné,
P3 ... jisté,
m ... počet odpovědí „nevím“ (identifikace nebezpečí), „nehodnoceno“ (analýza četností) či počet nedostupných podkladů,
n ... celkový počet odpovědí,
N ... nejistota,
N_{SZV} ... souhrnný ukazatel nejistot systému zásobování vodou,
N_{ZDROJ} ... souhrnný ukazatel nejistot analýzy rizika části vodních zdrojů,
N_{ÚV} ... souhrnný ukazatel nejistot analýzy rizika části úpravy vody,
N_{DISTR} ... souhrnný ukazatel nejistot analýzy rizika části distribuce.
N' ... nehodnoceno (pravděpodobnost, následky),
NS ... nežádoucí stav,
SZV ... systém zásobování vodou,
WHO ... World Health Organization (Světová zdravotnická organizace),
IWA ... International Water Association (Mezinárodní asociace pro vodu),
HACCP ... Hazard Analysis and Critical Control Point (Analýza nebezpečí a kritické kontrolní body),
WSP ... Water Safety Plans (Plány pro zajištění bezpečného zásobování pitnou vodou),
HAZID ... Hazard Identification (Identifikace nebezpečí),
HAZOP ... Hazard and Opportunity Study (Studie nebezpečí a provozuschopnosti),
FMECA ... Failure Mode, Effects and Critically Analysis (Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch),
FMEA ... Failure Mode and Effects Analysis (Analýza způsobů a důsledků poruch),
FTA ... Fault Tree Analysis (Analýza stromu poruchových událostí),
ETA ... Event Tree Analysis (Analýza stromu událostí),

K1 ... zanedbatelné riziko,
K2 ... nízké riziko,
K3 ... střední riziko,
K4 ... vysoké riziko,
K5 ... velmi vysoké riziko,
F2 ... faktor nežádoucího stavu (v pořadí druhý),
S ... kopaná studna,
HV ... hydrogeologický vrt,
PE ... polyetylen,
PVC ... polyvinylchlorid,
GG ... šedá litina,
OC ... ocel,
UKWIR ... United Kingdom Water Industry Research (Výzkum vodního hospodářství
Velká Británie),
PN ... přečerpávací nádrž,
H14 ... označení hydrantu,
VVR ... voda vyrobená k realizaci [$\text{m}^3 \cdot \text{rok}^{-1}$],
MH ... mezní hodnota,
DH ... doporučená hodnota,
SM ... směrná hodnota,
NMH ... nejvyšší mezní hodnota,
k_d ... koeficient denní nerovnoměrnosti [-],
k_h ... koeficient hodinové nerovnoměrnosti [-],
Q_d ... maximální denní průtok [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$],
Q_p ... průměrný denní průtok [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$],
Q_h ... maximální hodinový průtok [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$],
Q_{min} ... minimální průtok [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$],
k ... drsnost potrubí,
c₁ ... součinitel počtu obyvatel, typu zástavby pro metodu redukovaných délek,
Q₁ ... referenční průtok zatěžovacího stavu „1“ [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$],
Q₂ ... referenční průtok zatěžovacího stavu „2“ [$\text{l} \cdot \text{s}^{-1}$],
C_{TO} ... cena objektu [Kč],
k' ... polohový koeficient velikosti obce,
C_u ... cenový ukazatel [Kč],

t_p ... technický parametr objektu (m, bm, m³ apod.),

C_{mu} ... měrný cenový ukazatel [Kč],

x, y ... souřadnice Kartézského systému,

e ... Eulerovo číslo,

R' ... spolehlivost exponenciální spojnice trendu.

SEZNAM PŘÍLOH

6. 1 Situace širších vztahů M 1:25 000
6. 2 Podrobná situace vodovodu M 1:3 000
6. 3 Minimální hydrodynamické tlaky na vodovodní síti M 1:5 000
6. 4 Maximální hydrodynamické tlaky na vodovodní síti M 1:5 000
6. 5 Výpočet objemu vodojemu – stávající stav (100 m³)
6. 6 Situace nápravných opatření M 1:5 000