

TECHNICKÝ AUDIT VODÁRENSKÝCH DISTRIBUČNÍCH SYSTÉMŮ

Ing. Ladislav Tuhovčák, CSc.¹⁾, Ing. Tomáš Kučera¹⁾, Ing. Miroslav Svoboda¹⁾,
Ing. Miroslav Šebesta²⁾

¹⁾ Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství obcí
Žižkova 17, Brno, e-mail: tuhovcak.l@fce.vutbr.cz

²⁾ Stavoreál s. r. o.
Brněnská 270, 669 42 Brno

ABSTRAKT

Příspěvek popisuje implementaci metody FMEA při technickém auditu jednotlivých subsystémů dopravy vody u veřejných vodovodů. Jedná se o čerpací stanice, vodojemy a vodovodní řady. V příspěvku budou prezentovány i konkrétní příklady implementace této metody.

METODA FMEA

Obecně platí, že poruchy anebo způsoby poruch libovolného prvku negativně ovlivní funkci systému. Všeobecně je FMEA (Failure Mode and Effects Analysis) metodou analýzy spolehlivosti, která umožňuje identifikaci poruch s významnými důsledky ovlivňujícími funkci systému a jeho prvků. FMEA je jednou z metod používaných i při analýze rizik. Jde o strukturovanou kvalitativní analýzu sloužící k identifikaci způsobů poruch systémů, jejich příčin a důsledků. Při analýze metodou FMEA jsou způsoby poruch klasifikovány, kdy klasifikace může mít charakter prostého výčtu nejobecnějších způsobů poruch, které umožňují zařazení téměř každého způsobu poruchy do jedné nebo několika málo kategorií. K provedení technického auditu (TA) metodou FMEA je nutné stanovit technické ukazatele (TU) pro jednotlivé subsystémy zásobování vodou (vodovodní řady, vodojemy, čerpací stanice). Pro každý technický ukazatel jsou podrobně definovány postupy jeho stanovení, vstupní data, fyzikální rozměr a způsob prezentace. Každý ukazatel je prostředkem k monitorování a vyjádření (vyčíslení) jeho provozní účinnosti, efektivity, resp. technického stavu. Na základě dosažených a vypočtených hodnot technických ukazatelů je provedeno zatřídění posuzovaných prvků sítě do jednotlivých kategorií. Pro každý ukazatel lze pro potřeby srovnávací analýzy nastavit následující kategorie jeho hodnocení:

- **K1 (velmi dobrá)** – optimální stav příslušného ukazatele, nevyžaduje žádná opatření vedoucí ke změnám hodnot tohoto ukazatele,
- **K2 (dobrá)** – nízká míra rizika příslušného ukazatele technického stavu a rovněž nevyžaduje žádná zásadní opatření;
- **K3 (průměrná)** – jedná se o průměrné hodnoty příslušného ukazatele, které nevyžadují okamžitá řešení;
- **K4 (kritická)** – kritické hodnoty příslušného ukazatele. To znamená, že by měla být realizována případně plánována opatření na řešení tohoto stavu;
- **K5 (nevyhovující)** – nežádoucí stav, který vyžaduje dle možností provozovatele okamžité řešení, které povede k dosažení lepších hodnot příslušného ukazatele.

VODOVODNÍ ŘADY

Při hodnocení vodovodních řadů je vhodné, pokud to provozní evidence a stávající dokumentace vodovodu umožňuje, vyčlenit a samostatně hodnotit *hlavní distribuční systém* (gravitační i výtlačné přiváděcí a zásobní řady) – **HDS** a *rozvodnou síť* – **RS**. U velkých vodárenských systémů se doporučuje rozdělit **RS** na menší prvky (samostatný vodovod, tlakové pásmo, měřicí okrsek). Každý z těchto prvků je hodnocen za využití navržených technických ukazatelů. Ty se volí s ohledem na rozsah a dostupnost potřebných podkladů.

Pro hodnocení technického stavu **HDS** navrhujeme následující technické ukazatele:

- TU 1** - stáří trubního materiálu vodovodního řadu
- TU 2** - hydraulická kapacita
- TU 3** - vliv na kvalitu vody
- TU 4** - protirázová ochrana řadu

Pro hodnocení technického stavu **RS** navrhujeme následující technické ukazatele:

- TU 5** - stáří trubního materiálu vodovodní sítě
- TU 6** - poruchovost vodovodních řadů
- TU 7** - ztráty vody
- TU 8** - tlakové poměry
- TU 9** - vliv na kvalitu vody

Pro jednotlivé ukazatele jsou navrženy tabulky s vymezením mezi jednotlivých kategorií. Hodnota technického ukazatele pro daný celek je pak porovnána s navrženými hodnotami mezi z čehož vyplne ohodnocení daného prvku.

Souhrnné hodnocení je přehled hodnocení jednotlivých přiváděcích řadů HDS a jednotlivých zásobních pásem RS. Přitom je možno stanovit i jediné souhrnné hodnocení technického stavu TS posuzované části distribučního systému podle vztahu

$$TS = \sum_{i=1}^n TU_i \cdot W_i \quad (1)$$

- kde
- n - celkový počet použitých ukazatelů,
 - TU_i - je hodnota v rozmezí 1 až 5 dle hodnocení příslušného technického ukazatele TU , (1 pro hodnocení K1, 5 pro hodnocení K5)
 - W_i - je váha přiřazená příslušnému ukazateli TU_i a přitom platí,

že

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (2)$$

Příklady možného souhrnného hodnocení technického stavu jednotlivých zásobních pásem RS jsou uvedeny v následující tabulce č.1. Obdobně se postupuje i při hodnocení hlavního distribučního systému HDS.

Tab. 1 Příklad souhrnného hodnocení technického stavu RS

Označení a popis vodovodní sítě	Celková délka sítě (m)	TU 5	TU 6	TU 7	TU 8	TU 9	Výsledné hodnocení technické ho stavu
		stáří	poruchovost	ztráty vody	tlakové poměry	kvalita vody	
		váha ukazatele Wi					
		0,2	0,2	0,2	0,2	0	
		K4	K2	K3	K4	N/A	K3
		K4	K3	K4	K5	N/A	K4
		K2	K2	K2	K1	N/A	K2

Hodnocení N/A znamená, že ohodnocení podle tohoto ukazatele nebylo realizováno.

VODOJEMY

Pro hodnocení technického stavu vodojemů, byla v rámci diplomové práce [3] vytvořena softwarová aplikace TAWAT.xls (Technical Audit of Water Tanks) v programu Microsoft Excel. Program obsahuje 11 barevně oddělených pracovních listů. Návod pro uživatele je uveden na prvním z listů. Samotnému hodnocení pak předchází systematické utřídění vstupních dat, které je provedeno na druhém až čtvrtém listu. Jedná se o tzv. *identifikační údaje – IU* (viz. tabulka č. 2). Pátý až desátý list provádí hodnocení technických ukazatelů.

Technické ukazatele hodnocení technického stavu vodojemu jsou rozděleny do skupin

P	Provozních ukazatelů
T	Technických ukazatelů stavu stavebních částí vodojemu
TA	... Technický ukazatel stavu akumulačních nádrží
TM	... Technický ukazatel stavu armaturní komory
TU	... Celkový stav vodojemu

Každý ukazatel se skládá z několika dílčích ukazatelů, pro které jsou podrobně uvedeny postupy jejich stanovení, fyzikální rozměr a způsob prezentace. Na závěr je na základě navržené metodiky uvedeno celkové hodnocení vodojemu (TU).

Podle metodiky FMEA je každý ukazatel rozdělen opět do pěti kategorií K1 až K5 o hodnotách h_j $j=1, \dots, 5$, a proto se musí určit meze podle nichž se bude přiřazovat každému ukazateli ohodnocení příslušnou kategorií. Tyto meze mohou být popsány matematicky nebo slovně. Dále je možno každému ukazateli přiřadit váha (důležitost) W_i $i=1 \dots n$, za podmínky, že součet těchto vah bude roven 1.

Jednotlivým provozním ukazatelům P_i , kde $i=1, \dots, n$, se přiřadí váha W_i , kde $i=1, \dots, n$ a zařadí se do kategorie K1 až K5 o hodnotách h_{ij} . Pak pro výslednou hodnotu posuzovaného provozního ukazatele H_P musí platit:

$$H_P = \sum_{i=1}^n h_{ij} * W_i \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^n W_i = 1 \quad (4)$$

Výsledná hodnota H_p se posoudí s ohledem na navržené meze jednotlivých kategorií a výsledkem je finální hodnocení příslušného ukazatele s uvedením hodnotící kategorie, např. K2. Stejně vzorce platí i pro ukazatele H_{TA} , H_{TM} .

Pro H_T pak platí:

$$H_T = H_{TA} \cdot W_{TA} + H_{TM} \cdot W_{TM} \quad (5)$$

$$W = W_{TA} + W_{TM} = 1 \quad (6)$$

A pro výsledné celkové hodnocení technického stavu vodojemu pak platí:

$$H_{TU} = H_T \cdot W_T + H_P \cdot W_P \quad (7)$$

$$W = W_T + W_P = 1 \quad (8)$$

Identifikační údaje - IÚ

Slouží jako základní informace o hodnoceném vodojemu, ale i jako zdrojová data pro vlastní výpočet nebo vyjádření provozních ukazatelů. Dostupnost a spolehlivost těchto dat ovlivňuje počet a věrohodnost stanovených provozních ukazatelů posuzovaného vodojemu. Seznam základních identifikačních údajů **I** je uveden v Tab. 2

Tab. 2 Identifikační údaje vodojemu

ozn.	zkratka	název ident. údaje	vyjádření	jednotky
I_1	Ac	Celkový využitelný objem vodojemu	-	m^3
I_2	Ah	Provozní zásoba vodojemu	-	m^3
I_3	Ap	Požární zásoba vodojemu	-	m^3
I_4	Ar	Zásoba pro případ poruchy	-	m^3
I_5	Spa	Půdorysná plocha akumulčních nádrží	-	m^2
I_6	H_{max}	Maximální hladina	-	$m.n.m.$
I_7	H_{min}	Minimální hladina	-	$m.n.m.$
I_8	H_{pmax}	Maximální provozní hladina	-	$m.n.n.$
I_9	H_{pmin}	Minimální provozní hladina	-	$m.n.m.$
I_{10}	Q_{pr}	Průměrná roční spotřeba	-	m^3/d
I_{11}	Q_{max}	Maximální denní spotřeba	-	m^3/d
I_{12}	Q_{min}	Minimální denní spotřeba	-	m^3/d
I_{13}	p_n	Tlak v nejnižším bodě sítě	-	Mpa
I_{14}	p_v	Tlak v nejvyšším bodě sítě	-	Mpa
I_{15}	p_d	Tlak v nejvzdálenějším a nejvýše položeném bodě	-	Mpa
I_{16}	$t_{\check{c}}$	Doba čerpání (přítoku) do vodojemu	-	$hod.$
I_{17}	r	Rok dokončení výstavby vodojemu	-	rok

Provozní ukazatele - P

Hlavním cílem návrhu těchto ukazatelů je schopnost vypovídat o provozních stavech ve vodojemu, které mohou ovlivnit jak dodávku vody do spotřebišť, a ztráty vody, tak náklady na provoz vodojemu. Na základě vyhodnocení těchto ukazatelů může provozovatel navrhnout potřebná opatření.

Tab. 3 Ukázka hodnocení provozních ukazatelů konkrétního VDJ

VDJ Horka 2x/100 m ³		max.hl. 432,00			
ozn.	název	vyjádření	jednotky	váha	hodnocení
P ₁	Provozní zásoba vodojemu ku Q _{max}	108,48	%	0,15	K5
P ₂	Maximální doba zdržení při Q _{min}	99,05	hod	0,13	K5
P ₃	Doba zásobení při požáru	1,94	hod	0,13	K2
P ₄	Minimální doba zásobení při poruše	7,98	hod	0,13	K2
P ₅	Průměrná doba zásobení při poruše	9,58	hod	0,13	K3
P ₆	Posouzení max. tlaku v nejnižším bodu v síti	0,50	MPa	0,13	K1
P ₇	Posouzení min. tlaku v nejvyšším bodu v síti	0,16	MPa	0,04	K3
P ₈	Posouzení min. tlaku v nejvzdálenějším bodu v síti	0,10	MPa	0,04	K4
P ₉	Celková zásoba vodojemu ku Q _{max}	165,08	%	0,11	K5
P ₁₀	Minimální doba zdržení	39,62	hod	0,02	K5
P ₁₁	Minimální hodinový odtok ku Q _{pr}	-	%	0	-
P	Provozní ukazatel stavu vodojemu				K4

Technické ukazatele stavu stavebních částí vodojemu – T

Hlavním cílem těchto ukazatelů je prezentace a ohodnocení technickém stavu stavebních částí vodojemu (armaturní komora, akumulační nádrže). Součástí tohoto hodnocení může být i vložená fotodokumentace, popřípadě vyjádření statika nebo jiných odborníků na jednotlivé stavební části.

Pro každý navržený ukazatel je uveden popis každé z pěti kategorií, který není pro uživatele závazný, ale napovídající pro jeho zařazení. Vždy se může libovolně rozhodnout o přiřazení té či oné kategorie podle kritérií pro něj nejdůležitějších.

Tab. 3 Příklad hodnocení stavu akumulační nádrže technickými ukazateli – TA

VDJ Horka 2x/100 m ³		max.hl. 432,00			
ozn.	název	vyjádření	jednotky	váha	hodnocení
TA ₁	Stav stropní konstrukce	-	-	0,156	K3
TA ₂	Stav stěnových konstrukcí	-	-	0,133	K3
TA ₃	Stav dna	-	-	0,111	K4
TA ₄	Stav střešní konstrukce	-	-	-	-
TA ₅	Stav potrubí	-	-	0,133	K3
TA ₆	Stav odvětrání	-	-	0,156	K3
TA ₇	Stav bezpečnostního přepadu	-	-	0,111	K2
TA ₈	Stav vstupu do akumulační nádrže	-	-	0,044	K3
TA ₉	Stav žebříku v akumulační nádrži	-	-	0,089	K1
TA ₁₀	Stav kalové jímky	-	-	0,067	K2
TA	Technický ukazatel stavu akumulační nádrže				K3

Celkový stav vodojemu – TU

Tab. 4 Příklad celkového hodnocení technického stavu vodojemu – TU

Celkové hodnocení vodojemu				
VDJ Horka 2x/100 m ³			max.hl. 432,00	
			váha	hodnocení
P	Provozní ukazatel stavu vodojemu		0,45	K4
T	Technický ukazatel stavu stavební části VDJ		0,55	K3
		váha	hodnocení	
	TA Technický ukazatel stavu akumulární nádrže	0,5	K3	
	TM Technický ukazatel stavu armaturní komory	0,5	K3	
TU	Celkový stav vodojemu			K3

ČERPAČÍ STANICE

Hodnocení čerpacích stanic se skládá ze strukturovaného slovního popisu a kritériálního hodnocení. Strukturovaný popis čerpací stanice se provádí pomocí tzv. „katalogového listu“. Tento dokument je vytvořen pro přehledný záznam získaných dat o posuzované čerpací stanici. Dělí se na šest částí. V první části jsou uvedeny základní informace o čerpací stanici z pohledu zařazení do systému zásobování vodou. Druhá část se týká popisu stavebního objektu a vybavení čerpací stanice. Třetí část popisuje technologické vybavení čerpací stanice (čerpadla, potrubí,...) a systém řízení ČS. Ve čtvrté části jsou prezentovány základní charakteristiky instalovaných čerpadel. V páté části je možnost vložení schématu systému zapojení čerpadel, která je většinou převzata z dispečinku. Poslední část se týká fotodokumentace.

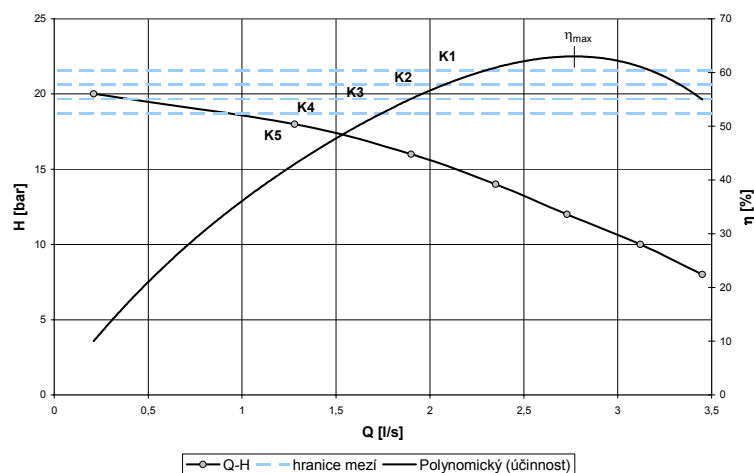
Kritériální hodnocení je založené opět na metodě FMEA, prováděné pomocí zvolených technických ukazatelů (TU), které jsou voleny s ohledem na dostupnost potřebných podkladů. Navrhované ukazatele jsou uvedeny v tabulce č. 5.

Tab. 5 Technické ukazatele pro hodnocení čerpacích stanic

TU1	Stáří stavebního objektu	TU6	Stáří trubního materiálu
TU2	Posouzení stavu objektu	TU7	Pracovní bod čerpadla
TU3	Opotřebení čerpadla	TU8	Stáří armatur
TU4	Účinnost čerpadla	TU9	Řízení čerpadel
TU5	Doba čerpaní		

Postup hodnocení je obdobný jako u vodojemů. Pro každý ukazatel jsou stanoveny meze podle nichž je přiřazeno hodnocení danému ukazateli. Celkové hodnocení čerpacích stanic je provedeno podle stejného matematického postupu jako v případě technického hodnocení vodovodních řadů. Na ukázkou byl zvolen ukazatel TU4 – účinnost čerpadla.

Vstupními daty pro tento ukazatel je dopravované množství a dopravní výška čerpadla. Hodnocení tímto ukazatelem je založeno na ověření účinnosti jednotlivých čerpadel. Protože účinnost jednotlivých čerpadel se liší, jsou meze vyjádřeny procenty z účinnosti. Například: kategorií K1 jsou hodnocena čerpadla jejichž účinnost při reálném pracovním bodu čerpadla se pohybuje nad 95% teoretické maximální účinnosti čerpadla uváděné výrobcem. Na obrázku č.1 je znázorněn příklad rozložení mezí pro ukazatel účinnost čerpadla.



Obr. 1 Rozložení mezí pro ukazatel účinnost čerpadla

ZÁVĚR

Předložená metodika hodnocení technického stavu vodovodů a jeho jednotlivých základních prvků umožňuje uživateli provést ohodnocení jednotnou, jednoduchou a prezentačně srozumitelnou metodou. Umožňuje provést základní srovnání technického stavu více vodovodů provozovaných jedním provozovatelem a může být základním podkladem při rozhodování o konkrétních provozně technických opatřeních a prioritách při tvorbě plánů obnovy a rekonstrukcí.

LITERATURA

- [1] TUHOVČÁK, L., KUČERA, T., RUČKA, J., SVOBODA, M.: Generel zásobování města Plzně pitnou vodou, Vysoké učení technické v Brně, Brno, 2005
- [2] ČSN IEC 812, Metoda analýzy spolehlivosti systému – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA)
- [3] Šebesta, M.: Metodika hodnocení technického stavu vodárenských distribučních systémů, diplomová práce na ÚVHO FAST VUT v Brně, 2006, Brno
- [4] Vodojemy 2006, sborník příspěvků, konference Vodojemy 2006, 21. září ve Vyškově
- [5] Pump Life Cycle Costs. Hydraulic Institute, Europump, U.S. Department of Energy's Office of Industrial Technologies, 2001.