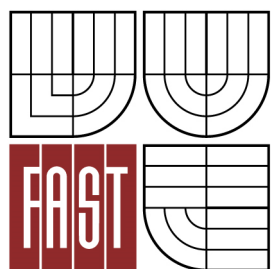




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ OBCÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF MUNICIPAL WATER MANAGEMENT

ANALÝZA STÁRNUTÍ VYBRANÝCH MATERIÁLŮ STOKOVÝCH SÍTÍ

ANALYSIS OF AGEING OF SELECTED MATERIALS USED IN SEWAGE SYSTEMS

DISERTAČNÍ PRÁCE – ZKRÁCENÁ VERZE
DOCTORAL THESIS – SHORT VERSION

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. MAREK HORÁK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JAROSLAV RAČLAVSKÝ, Ph.D.

KLÍČOVÁ SLOVA

Stoková síť, biogenní síranová koroze, beton, potrubí, stárnutí, kamerový průzkum.

KEYWORDS

Sewage system, biogenic sulphate corrosion, concrete, pipe, ageing, CCTV.

OBSAH

1 ÚVOD	5
2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE	5
3 SOUČASNÉ POZNATKY	6
3.1 Vybrané materiály používané na stokových sítích a jejich stručná charakteristika	7
3.2 Degradace trubních materiálů stokových sítí pojených cementem	7
3.3 Rychlost koroze betonu a úbytek materiálu	8
3.4 Vybrané metodiky pro popis a vyhodnocení technického stavu stokových sítí	10
3.5 Současná tvorba stanovení zbytkové životnosti potrubí	10
3.6 Poznatky vlastníků a provozovatelů stokových sítí	10
3.7 Zhodnocení současného stavu	10
4 METODIKA ŘEŠENÍ	11
5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ	12
5.1 Zdroj dat	12
5.2 Vyhodnocení provozních poruch na vybraných úsecích	13
5.3 Změna klasifikace technického stavu betonového potrubí	13
5.4 Návrh rozšíření monitoringu stokových sítí	15
5.5 Metodika pro měření a vyhodnocování poruch betonových a žb trubních materiálů	19
5.6 Zásady použití navržené metodiky	22
5.7 Případová studie	24
5.8 Vyhodnocení měření - lokalita horní suchá	28
6 ZÁVĚR	28
6.1 Přínos práce	30
7 LITERATURA	31
CURRICULUM VITAE	32
ABSTRACT	32

1 ÚVOD

Stokové sítě jsou velkými stavbami, které často vyžadují značné investice. Správci stokových sítí mohou významně přispět k udržitelnému rozvoji. V řadě evropských zemí se u staveb tohoto typu vypracovávají zprávy o udržitelnosti, založené často na integrovaném přístupu. Poté se zvažuje řada možných alternativ, které se neposuzují pouze z technického hlediska, ale rovněž z ekologického a ekonomického hlediska.

Primárním zájmem vlastníků i provozovatelů je udržet stokovou síť v dobrém technickém stavu a bez strukturálních poruch tak dlouho, jak je to jen možné a jak by to mohlo být ovlivněno různými provozními podmínkami včetně kontrolních opatření jakými je např. zápach. Vzhledem k tomu, že optická kontrola stokových sítí dokumentuje pouze aktuální technický stav a nemá žádné nástroje, které nám určí pravděpodobný vývoj stokových sítí v čase, je nutné, aby vznikaly prostředky a nástroje, které budou využívat stávající poznatky a budou začleněny jako doplnění stávajících optických kontrol stokových sítí.

Technická analýza stárnutí trubního materiálu stokových sítí je velice důležitá problematika. Je jednou ze vstupních hodnot do technického modelu pro řešení střednědobých a dlouhodobých plánů sanace. Jelikož v současné době neexistuje žádný jednotný model na vyhodnocování technických ukazatelů trubních materiálů, ale vychází se spíše ze zkušeností a stávajících poznatků, je nutné danou problematiku řešit. Samotné řešení dané problematiky by mělo vycházet z optimalizovaného počtu vstupních dat. Tato data musí být dosažitelná pro jednotlivé typy trubních materiálů či oblast, ve které se dané potrubí stokové sítě bude nacházet.

Úkolem technické analýzy bude celkové zhodnocení stavu trubních materiálů v tomto případě především betonu/ŽB a to z hlediska technického. V práci bude uveden stručný přehled i dalších materiálů používaných na stokových sítích. Stěžejní částí této práce bude návrh metodiky pro doplnění sběru dat o stokových sítích a jejich následné nakládání s nimi. Bude nutné, aby informace a data získaná na základě navrhované metodiky byla zaznamenávána do GIS. Tato data budou poskytovat cenné informace o vývoji betonového/ŽB potrubí v čase. Z tohoto hodnocení bude vycházet plánování údržby a sanací. Na základě této metodiky bude možno zjistit např. příčiny zrychlené degradace stokové sítě. Odstraněním této příčiny bude možno prodloužit životnost daného úseku stokové sítě, případně se na toto odstranění zaměřit při obnově stokové sítě. Díky této metodice bude možno předpovídat blížící se konec životnosti potrubí, popř. zvýšení poruchovosti potrubí. Metodika umožní ušetřit provozovateli finanční prostředky. Veškeré poznatky a cíle budou formulovány pro další využití a to jak ve výzkumu, tak především pro praxi.

2 CÍLE DISERTAČNÍ PRÁCE

Cílem disertační práce bude získání základních poznatků o stárnutí betonových/ŽB trubních materiálů používaných na stokových sítích a procesech

způsobujících jejich zrychlenou degradaci. Z těchto poznatků bude navržen postup, který usnadní majitelům a provozovatelům vyhodnocení technického stavu stokové sítě případně provedení opatření na prodloužení životnosti stokové sítě. Tyto poznatky budou také cenným zdrojem informací při plánování obnovy stokových sítí.

Důležitým aspektem při aplikaci nových i stávajících poznatků v praxi bude také využití nových technických zařízení a přístrojů např. pro měření pH odpadní vody a vnitřních rozměrů potrubí na stokových sítích, komerčních softwarů a rozšíření sběru dat na stávajících stokových sítích.

Úkolem bude nashromáždění reprezentativního a především dostupného množství dat z technického hodnocení stavu získaného z kamerových průzkumů přímo na stávajících stokových sítích a vyhodnocení těchto dat.

Hlavním úkolem této disertační práce bude tvorba doporučení, z jejichž poznatků bychom získali komplexnější přehled o degradaci trubního materiálu stokových sítí v závislosti na vnějších a vnitřních vlivech působících na strukturu trubního materiálu stokové sítě spolu s předpovědí zbytkové životnosti analyzovaného úseku stokové sítě. Součástí bude také přehled nejčastějších poruch vyskytujících se na vybrané stokové síti.

Cíle disertační práce:

- sledování a vyhodnocování vybraných provozních poruch, které vznikají na betonových/ŽB trubních materiálech stokových sítí viz kapitola 5.2;
- sledování a vyhodnocování časového průběhu změny technického stavu betonového/ŽB potrubí viz kapitola 5.3;
- zpracování metodiky pro měření a vyhodnocování vybraných typů poruch (GIS) a následná analýza pro potřebu stárnutí betonových/ŽB materiálů, tj. pro plány obnovy viz kapitola 5.4 a 5.5;
- ověření navržené metodiky na případové studii a vybrané části stokové sítě viz kapitola 5.7;
- formulace poznatků a cílů pro další výzkum a praxi viz kapitola 6.1.

3 SOUČASNÉ POZNATKY

Při výstavbě stokových sítí jsou sledovány tři základní cíle a to:

- ochrana životního prostředí a ochrana veřejného zdraví (Zákon č. 258/2000 Sb. - o ochraně veřejného zdraví a související předpisy);
- dlouhodobá funkčnost sítí;
- optimalizace veřejných investic při zajištění dlouhodobé životnosti stokové sítě s vyloučením potřeby její předčasné sanace.

Dlouhodobá funkčnost sítí je dána především jejich správným dimenzováním s uvážením budoucího rozvoje obce a stanovení podmínek zabraňujících přetěžování sítě.

Nabídka materiálů pro stokové sítě je bohatá, avšak je třeba připomenout, že neexistuje obecně trubní materiál se všemi nejlepšími vlastnostmi a parametry. Vždy

je třeba z nabídky vybrat takový materiál, který nejvíce vyhovuje místním podmínkám [11].

3.1 VYBRANÉ MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA STOKOVÝCH SÍTÍCH A JEJICH STRUČNÁ CHARAKTERISTIKA

Pro výstavbu stokových sítí jsou používány trouby dle platných norem. Materiál stoky volíme podle účelu a plánované životnosti stokové soustavy.

Na našem území se vyskytuje celá řada materiálů používaných na stokových sítích (kamenina, zdivo, beton/ŽB, polymerbeton, azbestocement, tvárná litina, PVC, PE-HD, sklolaminát).

3.1.1 Beton a železobeton

Betonové/ŽB hrdlové trouby jsou určeny pro odvádění odpadních vod a jiných neagresivních tekutin o volné hladině. Trouby o DN 600 a větší, lze osadit čedičovou či plastovou výstelkou z kyselinovzdorných segmentů.

Výrobní postup spočívá v zásadě v přípravě betonové směsi, výztuže, ve vlastním tváření trub a v jejich kontrole [11].

Betonová směs je složená ze tří frakcí tříděného kameniva, směsného cementu, přísady a příměsí jemných podílů. Používá se beton pevnostní třídy C40/50 s vysokou odolností proti obrusu a proti agresivitě chemického prostředí stupně 5b. Při koncentraci SO_4 vyšší než 500 mg/kg ve vodě nebo vyšší než 3000 mg/kg v půdě je nutné použít síranovzdorný cement.

3.2 DEGRADACE TRUBNÍCH MATERIÁLŮ STOKOVÝCH SÍTÍ POJENÝCH CEMENTEM

Na beton působí řada vnějších činitelů tím, že snižují jeho trvanlivost. Činitelé určující prostředí, ve kterém se beton nachází, způsobují jeho korozi.

3.2.1 Druhy koroze

U cementem pojených materiálů rozlišujeme působení činitelů [15]:

- vnitřních (návrh betonové směsi - obsah a druh cementu, obsah vody, technologie výroby, použití chemických přísad);
- vnějších (fyzikální, chemické a biologické působení).

3.2.2 Biologická koroze betonu

Zvláštním druhem koroze, která vzniká při částečném plnění profilu stokové sítě z materiálu pojeného cementem, je biogenní síranová koroze. Soli v pevné formě nedegradují beton. Biologická koroze betonu je způsobována produkty životních pochodů vyšších živočichů (moč, exkrementy) a bakterií, které vznikají při biologických pochodech. Látky, které jsou produkovány při těchto biologických pochodech, poškozují beton.

Biokoroze bakteriemi je závislá na vlhkostních a teplotních podmínkách, ve kterých bakterie působí. Biooxidační reakce jsou podmíněny přítomností kyslíku [9].

3.3 RYCHLOST KOROZE BETONU A ÚBYTEK MATERIÁLU

Rychlost působení biogenní síranové koroze na betonové materiály se obvykle vyjadřuje v tloušťce vrstvy rozrušené za jeden rok. Korozní rychlosti se mohou pohybovat v mm za rok. K posouzení míry koroze na potrubí následkem biogenní síranové koroze existují empirické metody a modely, které poskytují částečně odlišné výsledky. U betonu s křemičitým kamenivem a pH menším 6,5 na vlhkém povrchu betonu můžeme počítat s úbytkem způsobeným korozí 3 - 6 mm/rok [7].

Rychlost koroze je závislá na složení betonu a na další tvorbě produktů koroze. Stanovením míry úbytku materiálů cementem pojených při biogenní síranové korozi se zabýval *Schremmer*, který na základě jiných autorů názorně upravil vztah pro její výpočet. Vznik a působení biogenní síranové koroze je závislý na hydraulických poměrech, geometrii a biochemických podmínkách v potrubí. Ze vstupních hodnot, které popisují vlastnosti materiálů potrubí, stavu trasy toku odpadní vody se po přezkoušení mezních hodnot spočítá očekávaná míra koroze v mm/rok [7][10].

$$Z_i = \frac{3 \cdot BSK_5 \cdot 1,07^{(T-20)}}{J^{1/2} \cdot Q^{1/3}} \cdot \frac{O}{b_t} \quad (1)$$

- Z_i ... index rozpuštěného sulfidu
 BSK_5 .. biochemická spotřeba kyslíku v mg/l. Průměrná hodnota BSK_5 pro městskou odpadní vodu je 350 mg/l. S teplotou roste a bylo naměřeno pro odpadní vodu o teplotě 23°C BSK_5 429 mg/l [10];
 T ... teplota odpadní vody v °C;
 J ... sklon potrubí;
 Q ... odtokové množství v l/s;
 O/b_t ... poměr omočeného obvodu stokové sítě k šířce hladiny.
 Pro poloviční plnění platí $O/b_t = \pi/2$.

Výpočet Z - indexu má spíše informativní charakter. Na základě vypočtené hodnoty lze plánovat možná sanační opatření a předejít tím nebezpečí vzniku biogenní síranové koroze. Již od $Z = 5 000$ musí být provedeny další výpočty, protože tvorba H_2S závisí na délce stokové sítě [7].

Na výpočet Z - indexu dále navazuje výpočtový model (*Sulf2c*), kterým se dá vypočítat rychlost koroze betonu c (mm/rok) přičemž podrobnější výpočty jednotlivých složek jsou uvedeny v příslušné literatuře [3], [10]:

$$c = 11,5 * k * 0,7 * (J * u)^{3/8} * P_m * S_{lim} * \frac{b_t}{p} * A^{-1} * \psi \quad (2)$$

- P_m ... součinitel závislý na hodnotě pH (v proporci H₂S);
 J ... sklon potrubí;
 u ... rychlost proudění na posuzovaném úseku (m/s);
 S_{lim} ... limitní hodnota koncentrace sulfidů (mg/l);
 p ... obvod neomočené části (m);
 b_t ... šířka povrchu hladiny (m);
 k ... faktor reprezentující proporci reagující kyseliny (1 až 0,3),
 (hodnota 0,3 – rychlá tvorba);
 A ... alkalita betonu, vyjádřena jako ekvivalentní část g CaCO₃/g beton,
 např. pro křemičité kamenivo 0,17 – 0,24;
 ψ ... koeficient nejistoty modelu.

3.3.1 Životnost

Rychlost rozpadu je ovlivněna kvalitou materiálů a zpracováním při výrobě, konstrukčních metod, provozních parametrů a podmínek prostředí [1].

Požadavek na výstavbu stok z trub s co nejvyšší životností by měl být samozřejmým požadavkem vlastníka i provozovatele systému.

Výrobci kanalizačních trub uvádí pro své materiály délku životnosti dle následující Tab. 1.

Tab. 1 Životnost trub pro jednotlivé materiály uváděná výrobcí [6]

Materiál	Životnost [roky]
Betonové trouby	50-80
Kameninové trouby	≥100
Trouby z PVC	50-80
Trouby z HDPE	80-100
Sklolaminát	~100

Údaje o životnosti stokových materiálů se značně liší zpravidla podle toho, který výrobce je prezentuje. Stejně tak se liší údaje od jednotlivých provozovatelů.

3.3.2 Odhad zbytkové provozní životnosti trubních materiálů

Pro odhad zbytkové životnosti existujících konstrukcí je možno využít stejné metody jako v případě nově budovaných konstrukcí. Často je k dispozici řada údajů navíc, například takových, které se týkají kvality působícího prostředí, změn vlastností materiálů, aj. Ty se dají dobře využít pro zpřesnění dosaženého výsledku. V praxi se vychází z důkladných vizuálních prohlídek, při kterých se provádí odběr vzorků a jejich vyhodnocení. Periodické prohlídky a určování vybraných parametrů (podle určité konstrukce) může odhalit, který degradační proces je dominantní a podle potřeby rozšířit sběr informací o jeho časovém vývoji.

3.4 VYBRANÉ METODIKY PRO POPIS A VYHODNOCENÍ TECHNICKÉHO STAVU STOKOVÝCH SÍTÍ

Až do sedmdesátých let 20. století se přistupovalo k sanacím stokových sítí na základě signálů, jakými byly např. propady terénu, vzduší odpadní vody a tím způsobené vytápění objektů. Nebyla prováděna systematická údržba stok kromě jejich čištění. Na konci 80. let 20. století se objevují první inspekční televizní systémy. Podle zaměření a s ohledem na plánování se rozlišují tyto typy prohlídek [5]:

- průzkum pro potřeby provozů stokové sítě a technických složek;
- systematický průzkum stok;
- průzkumy pro přípravu investic;
- průzkumy před převzetím stokové sítě k provozování;
- kontrola stavby před uplynutím záruční doby.

3.5 SOUČASNÁ TVORBA STANOVENÍ ZBYTKOVÉ ŽIVOTNOSTI POTRUBÍ

V současné době není předepsán ani vytvořen žádný jednotný systém na tvorbu stanovení zbytkové životnosti potrubí. Vychází se pouze ze zkušeností, které byly nasbírány léty provozu a praxe. Objevuje se celá řada výzkumných projektů, které se snaží modelovat chování potrubí v čase.

Degradační modely jsou časově závislé matematické funkce, které modelují průměrný nárůst degradace v čase. Tyto modely jsou funkcí mnoha materiálových, geometrických a environmentálních parametrů. Hlavní kritéria pro správný výběr degradačního modelu pro daný specifický případ jsou např. volba relevantního mezního stavu, typ expozičních podmínek, dostupnost statistických dat nebo testovacích metod, či požadovaná přesnost výpočtu [4], [8], [12], [13].

3.6 POZNATKY VLASTNÍKŮ A PROVOZOVATELŮ STOKOVÝCH SÍTÍ

Provozovatelé stokových sítí sbírají data o stokových sítích (např. materiál, DN, délku úseku, atd.).

Ve většině případů nejsou sbírána data úplná. Z dat, která jsou sbírána a evidována, je pro provozovatele nejdůležitějším ukazatelem ohodnocení úseku kamerového průzkumu. V každém prozkoumaném úseku je více poruch. Tyto poruchy jsou pro daný úsek zprůměrovány a hodnotící číslo nám udává aktuální informace o stávajícím technickém stavu úseku. Na základě tohoto hodnocení jsou hlášeny závažné poruchy na havarijní středisko a přednostně tyto poruchy opravovány.

3.7 ZHODNOCENÍ SOUČASNÉHO STAVU

V dnešní době moderní techniky je možno provádět různé druhy průzkumů a také využívat různé matematické modely pro sledování degradace sítí technického

vybavení uložených v zemi, avšak průzkumy a především technika k jejich pořízení patří mezi významné nákladové položky. Tudíž je patrné, že především menší provozovatelé stokových sítí si takovou techniku nemohou pro své potřeby dovolit. Z dotazů na oslovené vodárenské společnosti vyplývá, že není ani sjednoceno hodnocení kamerových průzkumů v rámci jednotlivých provozovatelů stokových sítí. V současnosti se provádí pouze kamerové průzkumy nic neříkající o stavu vnější strany potrubí, které je obklopeno zeminou. Dále se ve většině případů neměří vnitřní rozměry potrubí a ani se nedá určit rychlost úbytku tloušťky stěny způsobené např. biogenní síranovou korozí a není možné určit zbytkovou životnost tohoto potrubí.

Vlivy faktorů (koroze potrubí, vliv půdy a podzemní vody, pH odpadní vody, atd.) působících na stokové sítě jsou známy. Avšak provozovatelé o nich mají pouze základní znalosti a nemají prostředky se těmito procesy zabývat podrobněji.

Z uvedeného tedy plyne, že je sledováno jen velmi málo údajů, které jsou nedostatečné, aby nám byly schopny přiblížit komplexní problematiku degradace stokových sítí v čase, případně předpovědět průběh některých poruch vyskytujících se na stokových sítích. Je tedy nutno definovat přesně sběr dat a především s nimi nakládat efektivně a účelně.

Z tohoto důvodu je práce zaměřena:

- na sledování a vyhodnocování vybraných provozních poruch betonových a ŽB trubních materiálů stokových sítí a sledování a vyhodnocování časového průběhu změny technického stavu betonového/ŽB potrubí;
- na zpracování metodiky pro měření a vyhodnocování vybraných typů poruch na betonovém a železobetonovém potrubí, především chemické a biologické koroze a s tím související postup provádění monitoringu stokových sítí.

4 METODIKA ŘEŠENÍ

Disertační práce je zaměřena na problematiku analýzy stárnutí betonových a železobetonových trubních materiálů stokových sítí. Během studia současného stavu problematiky bylo zjištěno, že provozovatelé stokových sítí nemají dostatečně zpracované postupy a metody pro sledování a vyhodnocování poruch, související především s vývojem těchto poruch v čase vznikajících na stokové síti. Metodika řešení spočívá ve vyhodnocení a použití:

- monitoringu vybraných provozních poruch, které vznikají na betonových/ŽB potrubích stokových sítí;
- sledování a vyhodnocení časového průběhu změny technického stavu potrubí viz kapitola 5.3;
- zpracování postupu pro měření a vyhodnocení vybraných poruch a jejich následné analýze viz kapitola 5.4 a 5.5;
- ověření navržené metodiky na případové studii a na vybrané části stokové sítě viz kapitola 5.7.

K návrhu a ověření metodiky byla použita data poruch zpracovaná z podkladů společnosti Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. za období let 1995 - 2011.

Typy poruch jsou kategorizovány dle stávající metodiky používané společností Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.

K výpočtu koroze jsou převzata data z modelu (*Sulf2c*) viz kapitola 3.3, který je použit v komerčním softwaru FReET - D.

Rozšířená metodika kamerových průzkumů spočívá v doplnění potřebných technických dat o další informace nutné pro sledování změn na potrubí v čase a jejich hodnocení. Možnost tohoto rozšíření je dána především vývojem měřicí techniky, např. laserový metr.

V literatuře je uváděna průměrná životnost betonové/ŽB stokové sítě 50 – 80 viz Tab. 1 v kapitole 3.3.1. Toto jsou teoretické hodnoty životnosti betonového/ŽB potrubí. Skutečnost je ovšem jiná, záleží na přístupu provozovatele, kvalitě materiálu, výstavbě atd. viz kapitola 3.1. V navržené metodice je možno zvolit předpokládanou životnost. V případě volby životnosti nového potrubí navrhuji uvažovat životnost uvedenou projektem (pro ostatní případy je možno volit životnost na základě zkušeností a požadavků majitele či správce stokové sítě). Životnost okolo 80 let můžeme brát v potaz pouze v ideálních případech. Je nutno brát v potaz působení vnějších vlivů, které nám tuto životnost snižují. Z tohoto důvodu je nutné tyto příčiny v každé lokalitě přesně určit a vytvořit taková opatření, aby nedocházelo k urychlené degradaci stokových sítí. K určení těchto příčin je nutné rozšíření sběru dat během kamerového průzkumu a případná doporučení vyplývající z kamerového průzkumu. Jedná se např. o měření sulfanů a pH, pokud bude průzkumem objevena koroze. Podkladem navrhovaných doplnění jsou informace od výrobců, provozovatelů a také poznatky od výzkumných pracovníků. K řešení byly použity informace a převzatá data od následujících společností:

- Brněnské vodárny a kanalizace, a.s. (BVK);
- ČEVAK a.s. (České Budějovice);
- Pražské vodovody a kanalizace, a.s. (PVK);
- Wombat, s.r.o.;
- AQUACONSULT, spol. s r.o.,
- Využití podkladů od společnosti Severomoravské vodovody a kanalizace Ostrava, a.s. (SmVak);
- Využití podkladů z GAČR 103/05/0400;
- PREFA Brno;
- Podklady pro výpočet biogenní síranové koroze betonového kanalizačního potrubí – podklady; Možnosti modelování pomocí FReET – D [3].

5 VLASTNÍ ŘEŠENÍ

5.1 ZDROJ DAT

Práce je řešena na základě reálných dat získaných při kamerových průzkumech, která jsou v současné době monitorována společností Brněnské vodárny a kanalizace, a.s.

Dále jsou použita měření prováděná v rámci grantu GAČR 103/05/0400 [14].

5.2 VYHODNOCENÍ PROVOZNÍCH PORUCH NA VYBRANÝCH ÚSECÍCH

K hodnocení stavu betonového potrubí DN 300 jednotné stokové sítě je použito celkem 132 náhodně vybraných úseků o celkové délce 11 535 m. Nejstarší úsek byl uveden do provozu v roce 1904 a nejmladší v roce 2011 (úseky s tímto datem uvedení do provozu byly většinou obnoveny v důsledku havárie).

Na základě provedených kamerových průzkumů jsou zatříděny jednotlivé úseky pracovníky BVK. Hodnocení nám dává informace o aktuálním technickém stavu potrubí stokových sítí. Všechny zkoumané a vyhodnocované stokové úseky jsou tvořeny jednotnou stokovou sítí.

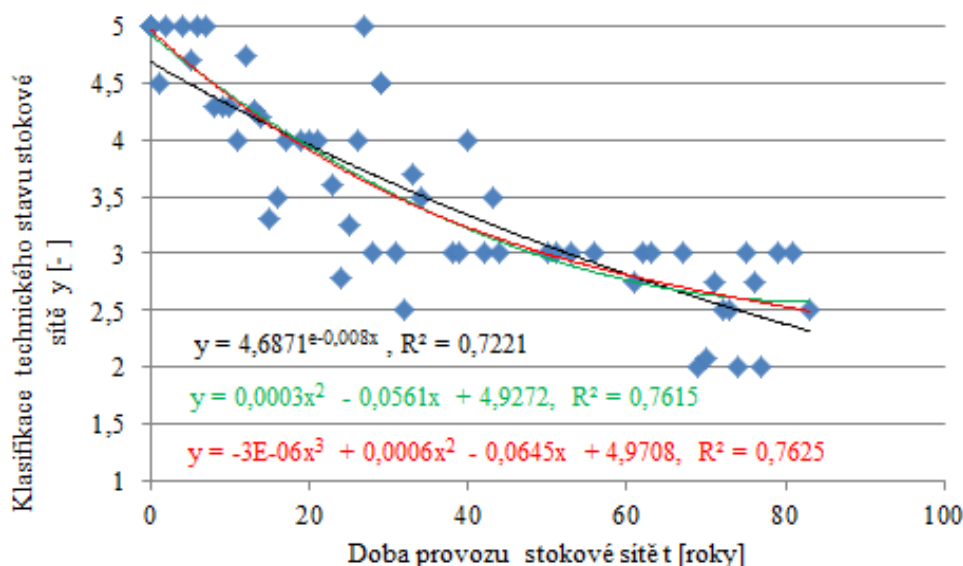
Dále je stanoven počet a druh poruchy na jednotlivých světlostech potrubí. Četnost konkrétních poruch je patrná z následující Tab. 2. Vyhodnocené úseky potrubí byly uvedeny do provozu zhruba ve stejnou dobu.

Tab. 2 Typ a četnost poruch na potrubí v Brně

Jmenovitá světlost potrubí	DN 300	DN 400	DN 500
Typ poruchy	počet poruch/1 km		
Porucha na odbočkách a výsecích	56	56	82
Koroze	21	46	14
Chybějící stěp	37	14	14
Vylitý beton	3	2	0
Netěsný spoj	13	16	2
Průhyb stoky	3	1	3
Prasklina	21	12	4
Obrus	1	2	1
Inkrustace	0	5	1
Kořeny	0	10	0
Průměrná vzdálenost poruchy [m]	6,42	7,58	8,97

5.3 ZMĚNA KLASIFIKACE TECHNICKÉHO STAVU BETONOVÉHO POTRUBÍ

Změna technického stavu betonového potrubí na stokových sítích byla stanovena z nashromážděných dat a informací z GIS. Všechny úseky jsou dle klasifikace 1 (nejhorší) – 5 (nejlepší) vyneseny do bodového grafu viz Obr. 1. Hodnoty třídy technického hodnocení potrubí jsou zprůměrovány, jelikož z matematického hlediska není možné, aby jedna hodnota na ose x měla více hodnot na ose y . Dále jsou data upravena a to tak, že jsou vyřazeny hodnoty, které jsou ojedinělé a mění nám celkovou charakteristiku křivky (např. 108 let – hodnocení 3).



Obr. 1 Závislost technického stavu vybraných úseků stokových sítí a délky provozu v Brně

Dosazením do rovnice jsme schopni odhadnout, v jakém období dojde k přechodu z jedné třídy do druhé a také orientačně určit předpokládanou životnost stokové sítě.

Hodnota spolehlivosti těchto funkcí není vysoká a je zapříčiněna především nedostatkem vstupních dat.

Nicméně všechna tato data mají vypovídající charakter jen částečně, a to především z důvodu krátké doby provádění kamerových průzkumů, nemožnosti kontrolovat správnost pokládky a nedostupnosti kontinuálních dat na jednotlivých úsecích. Při zpracování dat se ukázalo, že stoková síť uvedená do provozu v 60. – 80. letech je mnohdy zařazena ve stejné třídě technického hodnocení jako stoková síť uvedená do provozu o mnoho let dříve. Hlavní příčinu tohoto jevu vidím především v budování stokových sítí v tzv. akci „Z“ a také ve výrobním postupu v tehdejší době. Dle informací pracovníků vodovodů a kanalizací jsou trouby vyráběné v dnešní době kvalitnější a předpokládá se u nich delší životnost než u trub vyrobených v 60. – 90. letech minulého století. Tato skutečnost je zapříčiněna především velkým rozvojem modernizace výrobních procesů a možností přesného dávkování jednotlivých složek betonů.

K vyhodnocení technického stavu stokových sítí nebyla použita pouze data nasbíraná společností BVK, ale byly také získány dva střepy betonového potrubí. Tyto střepy pocházely z potrubí světlosti DN 300, které bylo uvedeno do provozu v roce 1933. Na tomto potrubí došlo v roce 2012 k havárii.

Z provedeného měření na střepích vyplývá, že došlo k velkému úbytku tloušťky stěny. Lze jen těžko říci, zda dle tehdejších předpisů byla tloušťka stěny stejná jako u dnes vyráběného potrubí (např. PREFA BRNO a PREFA GRIGOV uvádí 70 mm). Pokud vyjdeme z tohoto předpokladu je jasné, že za 79 let od uložení potrubí do země došlo k úbytku více jak 50 % tloušťky stěny. Tomu odpovídá zhruba ztráta 0,5 mm tloušťky stěny za rok. Údaje o naměřených hodnotách jsou uvedeny v Tab. 3.

Tab. 3 Naměřené hodnoty na betonovém vzorku potrubí

Rok pokládky :		1933		DN :		300	
Rok havárie :		2012		Město :		Brno	
Doba provozu:		79 let		Ulice :		Tichého	
Tloušťka v bodě místa měření	Měření					Průměr [mm]	Odchylka měření [mm]
	1	2	3	4	5		
Tloušťka [mm]							
A	32,08	32,15	32,05	32,09	32,11	32,10	0,03
B	34,35	34,33	34,37	34,38	34,35	34,36	0,02
C	33,24	33,20	33,28	33,25	33,23	33,24	0,03
A1	32,90	32,90	32,90	32,92	32,91	32,91	0,01
B1	33,16	33,22	33,18	33,17	33,18	33,18	0,02
C1	29,36	29,35	29,30	29,34	29,35	29,34	0,02
D	29,56	29,50	29,53	29,55	29,54	29,54	0,02
E	29,75	29,77	29,73	29,76	29,77	29,76	0,01
AM	34,28	34,20	34,19	34,22	34,20	34,22	0,03
BM	28,02	27,99	27,98	28,01	28,00	28,00	0,01
CM	33,68	33,59	33,45	33,69	33,55	33,59	0,09
AM1	34,84	34,80	34,86	34,82	34,85	34,83	0,02
BM1	33,57	33,60	33,55	33,56	33,56	33,57	0,02
CM1	34,82	34,82	34,83	34,83	34,85	34,83	0,01
Hmotnost menšího kusu					2,90	kg	
Hmotnost většího kusu					5,50	kg	

U vzorků betonového potrubí bylo při vizuální prohlídce velmi dobře viditelné drobení stěn střepů, a to jak na vnitřní straně, tak především na vnější straně potrubí. Odtud vyplývá nutnost při degradaci potrubí uvažovat nejen s vlivem prostředí uvnitř trub, ale také vně.

5.4 NÁVRH ROZŠÍŘENÍ MONITORINGU STOKOVÝCH SÍTÍ

Ze všech dat, která byla nashromážděna, není možno přesně určit rychlost degradace materiálu, ani předpovědět, jak dlouho daný materiál bude splňovat požadované vlastnosti. Pro takovéto předpovědi je nutno vytvořit rozsáhlejší a podrobnější systém sběru dat. Pokud má být metodika použitelná na vyšší úrovni, bylo by také vhodné, aby byl sjednocen systém klasifikací hodnotící stav stokových sítí a to minimálně na úrovni České republiky a později například na úrovni EU.

Navržená metodika se zabývá především biogenní síranovou korozi, jelikož podle pracovníků provádějící kamerové průzkumy a také podle kamerových průzkumů vypovídají o tom, že plocha, která je nad hladinou odpadní vody, je nejčastěji poškozena korozi, zatímco omočená plocha potrubí nevykazuje znatelné korozní poškození.

K lepší identifikaci a sledování degradace stokových sítí je vytvořen návrh na rozšíření stávajících provozních opatření týkajících se především monitoringu stokových sítí. Na základě těchto opatření dojde ke zvýšení životnosti stokových sítí a také ke zvýšení spolehlivosti provozu stokových sítí.

Je možno sbírat celou řadu dat, ale je nutno brát ohled na ekonomickou stránku této činnosti, na náklady a čas potřebný na rozšířený průzkum stokové sítě.

Z těchto důvodů navrhuji rozšířit kamerové průzkumy o sběr následujících dat:

- měření vnitřních rozměrů potrubí;
- měření úbytku tloušťky stěny potrubí na stokových sítích;
- měření pH odpadní vody (částečně v současné době prováděno);
- měření sulfanů (sirovodíků) v odpadní vodě;
- měření pH půdy a podzemních vod.

Na základě rozšíření sběru dat bude nutno rozšířit především systém GIS o nové parametry. Taktéž je možno využít pravděpodobnostní model.

5.4.1 Měření vnitřních rozměrů potrubí

Hlavním doporučením této práce je rozšířit průzkumné práce o měření vnitřních rozměrů při provádění kamerových průzkumů. Hlavním důvodem tohoto doporučení je nutnost sledování změn profilů potrubí stokových sítí monitorovaných v čase. Dle možností provozovatele stokové sítě by bylo vhodné měřit celé úseky nebo určit přesná místa měření. V těchto vybraných místech by byl utvořen referenční bod měřený v pravidelných intervalech kamerových průzkumů. Poloha navrženého referenčního bodu by byla zaznamenána do GIS. Pro umístění referenčního bodu by mělo být vybráno takové místo, na které působí nejvíce degradačních vlivů anebo jsou na něm nejčastěji poruchy. Mělo by to být pokud možno nejrizikovější a nejnamáhanější místo úseku stokové sítě. Tyto úseky buď provozovatelé znají, nebo by byly stanoveny na základě výskytu poruch a to především koroze a obrusu.

V dnešní době již existují kamery (např. od firmy RAUSCH), které jsou schopny nejen zaznamenávat obraz z kamerového průzkumu, ale také dokáží měřit vnitřní rozměry potrubí v celé délce zkoumaného úseku nebo jen lokálně.

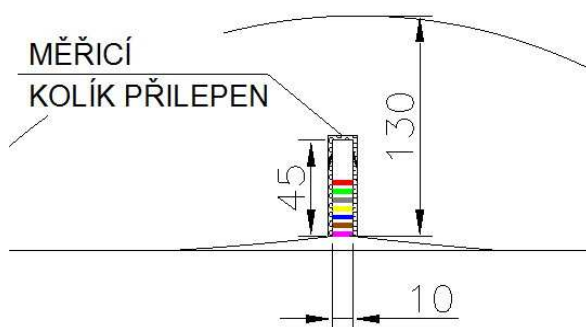
5.4.2 Měření úbytku tloušťky stěny potrubí stokových sítí

Měření úbytku tloušťky stěny potrubí lze provádět i bez použití technických vybavení k tomu určených. Následně uvedený způsob měření je vhodný především v místech, kde dochází na potrubí stokových sítí k deformacím. Z důvodu deformace není možno přesně určit úbytek tloušťky stěny. Na základě tohoto zjištění byly navrženy dvě měřicí pomůcky, které by měly odstranit vliv deformací na měření.

Obě měřicí pomůcky jsou navrženy pro průlezná a průchozí profily stokových sítí, čerpací šachty a ostatní vhodná místa. Je nutno podotknout, že navržené měřicí pomůcky mají význam jen při dlouhodobém měření a pozorování.

První navrženou pomůckou je měřicí kolík. Jako materiál pro výrobu je navržen plast nebo jiný vhodný materiál nepodléhající korozi. Tento kolík je nutno pomocí lepidla osadit do vyvrtaného otvoru na potrubí. Lepidlo musí být vhodné pro vlhké prostředí a lepení požadovaných materiálů. Osazení měřicího kolíku v potrubí je patrné z Obr. 2.

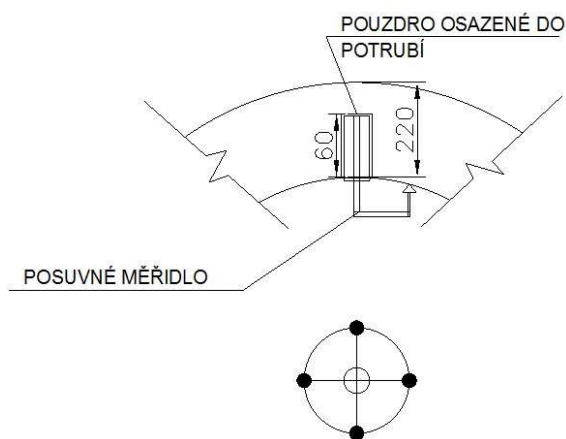
Osazení těchto kolíků je také vhodné do míst, kde jsou malé sklony a jsou tedy náchylnější na degradaci vlivem koroze.



Obr. 2 Osazení měřicího kolíku v potrubí DN 800

Velikost a rozměry měřicího kolíku jsou závislé na jmenovité světlosti potrubí, na které má být instalován. Po těle kolíku jsou navrženy různobarevné měřicí rysky, tloušťky rysek jsou totožné. Pořadí rysek je přesně definováno, především z důvodu poškození či ulomení měřicího kolíku. Místo osazení měřicích kolíků je také nutno přesně zaznačit do GIS, aby je bylo možno při provádění kamerových průzkumů snadno najít a kontrolovat.

Druhá pomůcka je určena také pro průlezné a průchozí profily stokových sítí. Jedná se o osazení měřicí vložky (slouží jako základna pro měření) do stěny potrubí a přilepení pomocí lepidla. Měřicí vložka slouží jako pevná základna pro měření, do které se opře měřicí hrot posuvného měřidla. Na základě této vzdálenosti se provede odečet na stupnici či displeji měřidla, vše se zaznamená. Hloubka osazení měřicí vložky je přesně dána profilem potrubí, na kterém je osazena. Měří se ve čtyřech místech. Směr a způsob měření je patrný z Obr. 3.



Obr. 3 Ukázka způsobu měření s posuvným měřidlem

V dubnu 2013 proběhla jednání se společností BVK na rozmístění navržených měřicích pomůcek na stokové síti města Brna a vyzkoušení jejich funkce. Pracovníci BVK navrhli vhodná místa pro osazení měřicích zařízení, na kterých je vhodné toto měření provádět. Taktéž bylo navrženo umístění měřicích pomůcek na prefabrikovanou a monolitickou část stokové sítě a to především z důvodu

porovnání rychlosti degradace a také kvality provedených prací. Místa osazení měřicích pomůcek jsou uvedena v Tab. 4.

Pokud se daný způsob osvědčí je možno navrhnout instalaci měřicích pomůcek vybraným výrobcům trub a jejich osazení přímo při výrobě.

Tab. 4 Navržená místa pro osazení měřicího zařízení pracovníky BVK

Ulice	Stoková síť	Rok výstavby	DN	Materiál
Táborská	Jednotná	1998	1200/2200	Beton - Monolit
Domažlická	Jednotná	2007	1200	ŽB, Čedič 180°
Minoritská	Jednotná	2001	400	Šachta pod kolektorem
"Královka" Brno	Jednotná	1991	1650/2200	ŽB komora
Čerpací stanice (Havránkova)	-			ŽB komora

5.4.3 Měření pH odpadní vody

Měření pH odpadních vod je jedním se základních zdrojů informací k určení, zda je na stokové síti riziko vzniku chemické nebo biologické koroze. V současné době probíhá měření odpadních vod pouze na přítoku ČOV (v Brně). Naměřené hodnoty ukazují, že vody, které přitékají na ČOV, nemají kyselé vlastnosti.

Měření, která jsou v současné době prováděna, nám nemohou podat dostatečné informace o odpadních vodách vypouštěných v jednotlivých částech stokové sítě. Z tohoto důvodu doporučuji alespoň měření pH odpadních vod v jednotlivých úsecích (především v rizikových oblastech jako jsou např. průmyslové areály), ve kterých bude prováděn kamerový průzkum.

5.4.4 Měření sulfanů

Měření sulfanů navrhuji provádět buď před začátkem kamerového průzkumu, respektive před čistěním daného úseku (aby nedošlo k odvětrání stokové sítě) nebo po provedení kamerového průzkumu a to jen v případě, že bude optickou inspekcí zjištěna koroze. Potom doporučuji věnovat zvýšenou pozornost kamerovému průzkumu v celém úseku stokové sítě. Pokud je objevena kamerovým průzkumem biogenní síranová koroze, navrhuji měření vnitřních rozměrů potrubí na daném úseku stokové sítě. V tomto případě je také nutné provést měření koncentrace sulfanů na daném úseku stokové sítě. Při zjištění, že se na stokové síti vyskytují sulfany v hodnotách do 0,5 ppm, je patrné, že pokud je na stokových sítích dobře fungující větrání, je jen malá pravděpodobnost, že se zde bude vytvářet biogenní síranové koroze. Bude-li hodnota sulfanu větší nebo rovna 0,5 ppm, je zde vhodné prostředí pro bakterie, které způsobují biogenní síranovou korozi. Potom se uplatní využití některého modelu pro výpočet síranové koroze.

Podstatnou nevýhodou měření až po provedení kamerového průzkumu je nutnost vracet se na místa již dříve prozkoumaná.

V případě podezření na možnost tvorby koroze je možno předběžně ověřit, zda je na zkoumaném úseku na stokové síti předpoklad vzniku koroze. Toto lze zjistit výpočtem Z – indexu.

5.4.5 Měření pH půdy a podzemních vod

Působení půdy a především podzemních vod na betonové/ŽB konstrukce stokových sítí není v současné době žádným přesným způsobem možno určit, a to především z důvodu uložení těchto konstrukcí v zemi. Z tohoto důvodu by měla být věnována větší pozornost prostředí, do kterého jsou stokové sítě ukládány a podle toho také již v projektu navrhnout vhodné materiály pro jejich výstavbu. Dle PREFA BRNO jsou trouby vyráběny na třídu chemického působení zeminy a podzemní vody XA1. Z poznatků naší i zahraniční literatury vyplývá, že ČSN EN 206 - 1 definuje 3 třídy půdního prostředí. Ale v žádné odborné literatuře není definováno, jak velkému úbytku tloušťky stěny dochází při uložení potrubí v jednotlivých půdních kategoriích.

5.5 METODIKA PRO MĚŘENÍ A VYHODNOCOVÁNÍ PORUCH BETONOVÝCH A ŽB TRUBNÍCH MATERIÁLŮ

Navržená metodika je určena pro sledování a vyhodnocování technického stavu betonových/ŽB stokových sítí. Kanalizační přípojky nejsou součástí této metodiky.

Nově navržená metodika vychází z prováděného kamerového průzkumu a doplněných měření. Pro navrženou metodiku bylo nutno stanovit základní postup při provádění kamerových průzkumů. Po předání kamerového průzkumu pracovníkovi, který kamerový průzkum prohlédne, vyhodnotí a zadá do informačního systému GIS je nutno zjistit úbytek tloušťky stěny, a to především z důvodu posouzení velikosti úbytku stěny a zaznamenání příčných hodnot a hodnocení do GIS.

5.5.1 Stanovení úbytku tloušťky stěny kanalizační trouby

Maximální hranice velikosti opotřebení trubního materiálu je možno stanovit na základě informací a podkladů od výrobců betonového/ŽB potrubí. Z podkladů PREFA BRNO vyplývá, že tloušťka stěny betonového/ŽB potrubí je pro danou světlost stejná. Tloušťky krytí u ŽB trub jsou stanoveny jako Z1 (krytí výztuže z vnitřní strany trouby) a Z2 (krytí výztuže z vnější strany trouby).

Dále se budeme zabývat pouze působením koroze a úbytkem tloušťky stěny na vnitřní straně trub respektive potrubí.

V případě, že se jedná o potrubí uvedené do provozu v minulosti, ke kterému nejsou dostupné žádné informace, je nutno vyjít ze zkušeností pracovníků a tloušťku krytí, kterou měly trouby na začátku svého uvedení do provozu, odborně odhadnout nebo využít zkušeností či stanovit ze současných typů a druhů vyráběných trub.

Určení maximálního úbytku tloušťky stěny trouby je základním předpokladem pro stanovení kritické tloušťky stěny trouby. Hlavním faktorem pro určení rychlosti úbytku tloušťky stěny betonového potrubí je v tomto případě rychlost biogenní síranové koroze.

Hodnota rychlosti biogenní síranové koroze na základě měření při provedení kamerového průzkumu je stanovena jako:

$$c = \frac{\Delta t_u}{r} \quad (3)$$

$c \dots$ rychlost koroze betonu [mm/rok];
 $\Delta t_u \dots$ úbytek tloušťky stěny za sledované období [mm];
 $r \dots$ počet let mezi měřeními [roky].

Kritická hodnota tloušťky stěny je stanovena na vnitřní straně trouby hodnotou:

$$t_{Kvyzt} = 2 \text{ mm}, \quad (4)$$

$t_{Kvyzt} \dots$ krit. tloušťka krytí výztuže kanalizační trouby na vnitřní straně [mm]

Důvodem tohoto tvrzení je fakt, že v případě odkrytí výztuže u ŽB trub stokových sítí již není daná konstrukce trub vyhovující. Z tohoto předpokladu byl odvozen i maximální úbytek tloušťky stěny pro betonové trouby, u kterých je daleko větší riziko zborcení při úbytku tloušťky stěny než u ŽB trub.

Hodnota 2 mm tloušťky ve vztahu (4) nám určuje minimální rezervu, tj. u ŽB potrubí hodnotu, po jejíž degradaci dojde k odkrytí výztuže. Z těchto poznatků vychází hodnoty uvedené v Tab. 5.

Hodnotu úbytku tloušťky stěny t_{vyzt} na vnitřní straně trouby je možno odečíst na základě hodnot měření při provádění kamerového průzkumu.

Obecně tedy platí následující vztah:

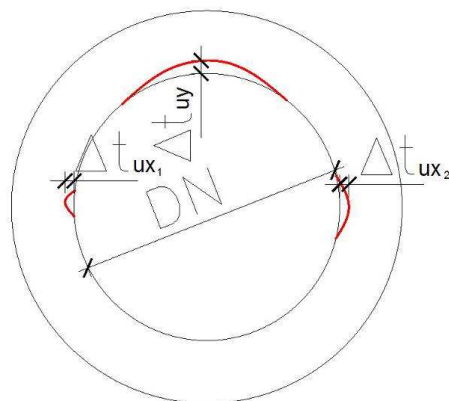
$$t_{vyzt} = Z1 - \Delta t_u \text{ [mm]} \quad (5)$$

$t_{vyzt} \dots$ zbývající tl. krytí výztuže kanalizační trouby na vnitřní straně [mm];
 $Z1 \dots$ počáteční tl. krytí výztuže na vnitřní straně stěny trouby [mm].

Na základě vypočtené hodnoty t_{vyzt} je podle Tab. 5 určena třída poškození s příslušným bodovým ohodnocením. Toto bodové hodnocení je zaznamenáno do GIS.

Ze vztahu (5) jsme schopni určit zbývající tloušťku stěny a tomu přiřadit příslušnou třídu poškození T_{Vi} s patřičným bodovým ohodnocením. Bodové ohodnocení je opět zaznamenáno do GIS.

Pokud je z měření vnitřních rozměrů patrný úbytek pouze v horní části potrubí je nutné odečíst celý úbytek tloušťky stěny na horní straně potrubí. Jestliže je úbytek tloušťky stěny v horní i dolní části, je nutné velikost úbytku tloušťky stěny rozdělit odborným odhadem a odečíst na obou stranách potrubí. Pokud jsou například hodnoty měření na celém úseku rozmístěny obdobně jako na Obr. 4 je nutno pro výpočet uvažovat hodnotu poškození Δt_u jako hodnotou maximálního změřeného úbytku tloušťky stěny viz Obr. 4.



Obr. 4 Naměřené hodnoty úbytku tloušťky stěny ve vertikálním a horizontálním směru

Na základě výše uvedených informací a poznatků je zpracována následující Tab. 5., která rozděluje třídu poškození betonových a ŽB trub na tři základní třídy podle zbývající tloušťky krytí stěny trouby.

Tab. 5 Definice poškození trub dle zbývající tloušťky stěny

TŘÍDA POŠKOZENÍ	TLOUŠŤKA KRYTÍ VÝZTUŽE	DEFINICE POŠKOZENÍ	HODNOCENÍ DO GIS
	[mm]	[-]	[-]
Tv ₁	100 až 55 % ze Z1	Mírné poškození, není nutné zařadit do plánu sanace	3
Tv ₂	55 až 15 % ze Z1	Střední poškození, zařazení do dlouhodobého plánu sanace	2
Tv _{krit}	15% až 0% ze Z1, ne však méně než 2 mm	Kritické poškození → krátkodobé plány sanace (předpoklad v řádu let, záleží na rychlosti úbytku tloušťky stěny)	1

Hodnoty tloušťky krytí stěny potrubí je možno upravit na základě zkušeností a znalostí provozovatelů a vlastníků stokových sítí a také na základě znalostí staticků.

Snížení tloušťky stěny má za následek především snížení statické únosnosti celé trouby.

5.5.2 Definice rychlosti koroze

Pro další postup je nutné přesně definovat termíny slabá, střední a silná koroze. Dle různých zdrojů jsou tyto stupně definovány v následující Tab. 6. Každé rychlosti je přiděleno číselné hodnocení a slovně definována intenzita. Toto číselné hodnocení navrhuji zapsat do GIS.

Pokud se na stokové síti koroze vyskytne, je nutné jí věnovat zvýšenou pozornost. Důvodem proč sledovat intenzitu koroze je především fakt, že na základě rychlosti

koroze je také možno stanovit četnost kamerových průzkumů stokových sítí. K čím většímu úbytku tloušťky stěny trouby dojde, tím častěji bude muset být kamerový průzkum prováděn, viz Tab. 6. Dané hodnoty je možno upravit a upřesnit na základě praktických zkušeností a provedených měření. Taktéž je vhodné stanovit příčiny koroze a následná opatření vedoucí ke snížení či zastavení koroze.

Tab. 6 Navržená četnost kamerových průzkumů

RYCHLOST KOROZE	INTENZITA KOROZE	HODNOCENÍ KOROZE	DOPORUČENÁ ČETNOST KAMEROVÉHO PRŮZKUMU	HODNOTA ZAPSANÁ V GIS
odprýskávání zrn	Slabá	3	1 x za 10 let	10
≤ 0,5 mm/rok	Střední	2	1x za 5 let	5
≥ 0,5 mm/rok	Silná	1	1x za 3 roky	3

5.5.3 Stanovení hodnot pH odpadní vody a množství sulfanů

Hodnotu pH odpadní vody a množství vzniklých sulfanů je možno měřit preventivně nebo pouze v případě objevení koroze na stokové síti. Rozhodnutí, kdy toto měření provádět, je nutno znát již před kamerovými průzkumy a před přípravnými pracemi. Obdobně jako je každému stupni intenzity koroze přiřazena třída hodnocení, je nutné, aby bylo obdobné hodnocení přiřazeno také velikosti pH odpadní vody a objemu sulfanů vznikajících na úseku stokové sítě. Toto hodnocení je zřejmé z následující Tab. 7. Navržené hodnoty vychází ze současných poznatků.

Tab. 7 Hodnocení velikosti pH a objemu sirovodíků na úseku stokové sítě pro GIS

ÚČINEK KOROZE	pH	MNOŽSTVÍ SIROVODÍKU	RYCHLOST KOROZE	HODNOCENÍ DO GIS
	[-]	[ppm]	[mm/rok]	
Slabý	14 až 8,5	< 0,2	neměřitelný úbytek	3
Střední	5 až 3,5	0,2 až 0,5	< 0,5	2
Silný	3 až 0	≥ 0,5	≥ 0,5	1

Důležitost tohoto měření spočívá především v určení, zda jsou vhodné či nevhodné podmínky pro vznik biogenní síranové koroze. Od tohoto množství se také odvíjí rychlosti průběhu biogenní síranové koroze [7] a tedy stanovení předpokládaného úbytku tloušťky stěny potrubí na stokové síti za určité časové období. Dále se také z hodnoty množství sulfanu dá odvodit, zdali je na stokové síti dostatečné větrání či nikoliv a na základě tohoto zjištění vybudovat větrací šachtu.

5.6 ZÁSADY POUŽITÍ NAVRŽENÉ METODIKY

Postup při použití nově navržené metodiky slouží jako manuál pro provozovatele a vlastníky stokových sítí. Hlavním cílem je co nejefektivnější postup při kamerových průzkumech a následném vyhodnocení těchto průzkumů, jejich zapsání do GIS a také provedení nezbytných opatření sloužících k minimalizaci vzniku biogenní síranové koroze.

Jsou dva přístupy, jak lze postupovat. Závislost těchto postupů je na zadavateli.

Postup č. 1

Na stokové síti se provede čištění a kamerový průzkum. Kamerový průzkum je prováděn standardním způsobem, pouze je doporučeno provádět hodnocení podle ČSN EN 13508-2 - *Posuzování stavu venkovních systémů a kanalizačních přípojek - Část 2: Kódovací systém pro vizuální prohlídku*. Důvodem pro použití této normy je možnost sjednocení všech různých hodnotících systémů různých vodárenských společností do jednoho. V případě, že je objevena jedna z poruch, především typu BAF (Charakterizace 1 – J (příznaky koroze na povrchu)), je nutno tuto poruchu přesně na úseku zaznačit do GIS a také při zpětném pohybu kamery provést měření vnitřních rozměrů. Na úseku je nutno vytvořit měřicí referenční bod (bod s největším úbytkem stěny potrubí). Tento bod bude sloužit pro další měření v následujících letech a bude sloužit pro srovnání naměřených hodnot. Minimální počet referenčních bodů na jednom úseku stokové sítě je stanoven na jeden.

Dále proběhne předání kamerového průzkumu oprávněnému pracovníkovi. Ten provede záznam o kamerové zkoušce do GIS a vyplní část nově navržených hodnot. Na základě těchto hodnot proběhne výpočet a dle navrženého hodnocení dojde k zařídění dle úbytku tloušťky stěny, rychlosti koroze, hodnocení, zbývající tloušťku krytí výztuže a třídy poškození.

V případě, že dojde vlivem koroze k rychlému úbytku tloušťky stěny (hodnocení 1), je nutno provést provozní opatření a najít příčinu tohoto rychlého úbytku tloušťky stěny potrubí. V tomto případě je vhodné osadit na vyhodnoceném úseku měřicí zařízení (např. měřicí kolík). Současně s tímto provést doplňující měření teploty odpadních vod, pH odpadní vody a množství sulfanů na stokové síti. Měření pH odpadní vody a především množství sulfanu vyskytujícího se na stokové síti navrhuji po šesti měsících od vyčištění a provedení kamerového průzkumu. Doba šesti měsíců byla stanovena na obnovení původního prostředí na daném úseku. Především z důvodu opětovného vzniku množství sirovodíku. Tato hodnota může být samozřejmě upravena dle zkušeností a doporučení odborníků.

Po změření teploty provést výpočet Z – indexu, který poslouží jako informační ukazatel, zda jsou na úseku stokové sítě podmínky pro tvorbu koroze.

Na výpočet Z – indexu navazuje využití matematického modelu, který slouží ke kontrolnímu výpočtu rychlosti koroze a jeho výsledek porovnat se skutečně naměřenými hodnotami. Výpočet pomocí matematického modelu není povinný, ale je vhodný. Hlavním důvodem tohoto tvrzení je porovnání vypočtených a naměřených hodnot. Toto porovnání může sloužit k provedení kalibrace a zpřesnění výsledků matematického modelu.

Postup č. 2

Je obdobný jako postup č. 1, jen s tím rozdílem, že je na úseku stokové sítě provedeno v první fázi měření. Před začátkem čištění úseku, na kterém má být proveden kamerový průzkum je nutno osadit měřicí zařízení pH odpadní vody s kontinuálním průběhem, měřicí zařízení na množství sulfanů na stokové síti a také teploměr k určení průměrné teploty odpadní vody. Navrhuji měsíční měření

s následným vyhodnocením naměřených hodnot. Současně při odstraňování měřicího zařízení je možno provést vyčištění stokové sítě a provést kamerový průzkum. Další postup je stejný jako v postupu č. 1.

5.7 PŘÍPADOVÁ STUDIE

V této kapitole je demonstrován postup po provedení kamerového průzkumu s využitím nově naměřených hodnot, ze kterých je patrný vývoj úbytku tloušťky stěny potrubí na stokové síti. Na základě těchto zjištění lze lépe plánovat kamerové průzkumy a především čištění, údržbu a obnovu úseků stokové sítě.

V uvedené případové studii není možné přímé porovnání výpočtového modelu a skutečně naměřených hodnot, a to především z důvodu nedostatečných dat dostupných v současné době. Případová studie pouze ukazuje jak postupovat v případě měření a dostupnosti dat v budoucnu.

Případová studie vychází ze základních informací o betonových a železobetonových troubách, které je možno získat od výrobce. Pro případovou studii byly použity informace od firmy PREFA BRNO.

V červnu roku 2012 bylo provedeno měření vnitřních rozměrů a sklonu na úseku betonové stokové sítě D 6.2 firmou WOMBAT na ulici Čermákova v Brně Bohunicích. Toto jsou jediná dostupná reálná data pro betonové/ŽB potrubí, která jsou k dispozici pro tuto práci. Bohužel se jedná o dešťovou stokovou síť, která byla vybudována během posledních dvou let. Pro následující část případové studie jsou tedy uvedena pouze modelová data.

Pokud jde o pravděpodobnostní výpočtový software FReET - D, který využívá výpočtový model *Sulf2c* je zde převzat jeden vzorový výpočet.

Na jednotné stokové síti bylo provedeno čištění a následně kamerový průzkum betonového potrubí provozovaného 20 let se světlostí DN 1800. Na většině zkoumaného úseku byly objeveny poruchy BAF (poškození povrchu), konkrétně ve vrchní části potrubí poškození vlivem biogenní síranové koroze. Z tohoto důvodu obsluha provedla při zpětném pohybu kamery měření vnitřních rozměrů. Byly změřeny vnitřní rozměry trouby, které v minimálním případě dosahují hodnot 1815 mm a v maximálním případě dosahují hodnoty až 1822 mm. To je o 22 mm více, než při uvedení daného úseku do provozu.

Na základě provedeného měření byly na úseku stokové sítě vybrány referenční body, které byly v průběhu měření zaznamenány dle polohy a staničení. Tyto body budou sloužit pro další následné měření a především srovnání naměřených hodnot na tomto úseku stokové sítě. Z provedeného měření lze vypočítat dle výpočetního vztahu (3) průměrnou rychlost úbytku tloušťky stěny potrubí za jeden rok. Po dosažení do vztahu (3) dostáváme následující hodnoty:

$$c = \frac{\Delta t_u}{r} = \frac{22}{20} = 1,1 \text{ mm/rok},$$

tzn., že v daném úseku dochází v nejvíce postiženém místě ročně k úbytku 1,1 mm tloušťky stěny potrubí vlivem biogenní síranové koroze. Na základě navrženého hodnocení je intenzitě koroze automaticky přiřazena třída hodnocení 1. Toto

hodnocení nasvědčuje tomu, že na úseku stokové sítě je značné působení biogenní síranové koroze a mělo by být provedeno opatření, které sníží intenzitu působení biogenní síranové koroze. Vhodným opatřením může být např. intenzifikace větrání, častější proplach a čištění úseku nebo jiné vhodné opatření.

Na základě měření je známa hodnota velikosti úbytku tloušťky stěny Δt_u . V našem případě tedy:

$$\Delta t_u = 22 \text{ mm},$$

Pro správné určení počáteční tloušťky stěny potrubí vyjdeme v tomto případě z podkladů PREFA BRNO a platí tedy:

$$Z1 = 45 \text{ mm}.$$

Dosazením do vztahu (5) vypočteme zbývající tloušťku krytí potrubí t_{vyzt} :

$$t_{vyzt} = Z1 - \Delta t_u = 45 - 22 = 23 \text{ mm},$$

což znamená, že zkoumaný úsek na stokové síti se nachází dle Tab. 5 ve třídě hodnocení 2 a měl by být zařazen do dlouhodobého plánu sanací.

Dle hodnocení rychlosti koroze spadá úsek do kategorie 1. Jedná se tedy o silnou intenzitu koroze, a tudíž je nutno také naplánovat další kamerový průzkum viz Tab. 6. Pro tento případ tedy již po třech letech dalšího provozu.

Jelikož se jedná o intenzitu koroze 1 (vysoká intenzita) je vhodné zjistit příčinu takto vysoké hodnoty a provést preventivní opatření, která omezí vytváření koroze.

Ze všech výše uvedených údajů můžeme provést odhad zbytkové životnosti. Pokud budeme předpokládat, že biogenní síranová koroze bude působit stejně rychle, jako doposud, dojde k úbytku tloušťky stěny na kritickou hodnotu stanovenou dle Tab. 5 asi po 20 letech. To znamená, že celková životnost tohoto úseku stokové sítě je asi 40 let.

V závislosti na rychlosti koroze a třídě poškození musí být také naplánováno měření pH odpadní vody a množství sulfanů obsažených na zkoumaném úseku stokové sítě.

Pro orientační zjištění, zda je zkoumaný úsek opravdu náchylný na tvorbu biogenní síranové koroze, nám poslouží výpočet Z - indexu dle vztahu (1). Pokud bude hodnota Z - indexu pod 5000, na úseku by se nemělo vyskytovat velké množství sulfidů. Dosazením do vztahu (1) získáme následující hodnoty Z - indexu. V tomto případě je zde ukázána závislost změny Z - indexu na teplotě.

Pro výpočet Z - indexu potřebujeme znát také další informace o stokové síti, jako jsou sklon potrubí, teplota odpadní vody, odtokové množství, poměr omočeného obvodu k šířce hladiny a také biochemickou spotřebou kyslíku.

$$J = 0,15 \text{ \%},$$

$$BSK_5 - \text{závisí na teplotě, viz [10]},$$

$$Q = 420 \text{ l/s},$$

$$T = 22^\circ$$

$$O/b_t = \Pi/2$$

Tab. 8 Závislost Z – indexu na teplotě odpadní vody a sklonu potrubí

PLNĚNÍ POTRUBÍ		DN/2						
DN		800						
OZNAČENÍ	SKLON [%]	TEPLOTA ODPADNÍ VODY [°C]						
		17	18	19	20	21	22	23
Z - INDEX 1	0,15	4568	5229	5979	6848	7851	8983	10283
Z - INDEX 2	0,3	2878	3295	3767	4314	4946	5659	6478
Z - INDEX 3	0,5	2047	2344	2680	3069	3518	4026	4608
Z - INDEX 4	0,7	1636	1873	2141	2452	2811	3217	3682
Z - INDEX 5	1,0	1290	1476	1688	1933	2216	2536	2903
Z - INDEX 6	1,3	1083	1239	1417	1623	1861	2129	2437
Z - INDEX 7	1,5	984	1127	1288	1475	1691	1935	2215
Z - INDEX 8	2,0	812	930	1063	1218	1396	1598	1829

Výpočet byl proveden pro různé teploty odpadní vody a také různé sklony potrubí, aby bylo možné srovnání různých hodnot vypočteného Z - indexu. Z uvedené Tab. 8 je zřetelné, že teplota odpadní vody má zásadní vliv na velikost Z - indexu.

Na základě výpočtu Z - indexu viz Tab. 8 a jeho hodnoty vyšší než 5000 je vhodné celý úsek přepočítat například za použití pravděpodobnostního modelu FReET - D. Pro tento výpočet je nutné, na stejném úseku stokové sítě, zjistit ještě další potřebné údaje. Jedná se především o rychlost proudění vody a limitní koncentraci sulfidů.

Rychlost proudění $u = 1,62$ m/s,

Limitní hodnota koncentrace sulfidů $S_{lim} = 3,12$ mg/l (cca 3,12 ppm), (tj. pro BOD = 250 mg/l, teplota 22°C, pH = 7,4) pak dle [Pom] $P_m = 0,28$.

Na základě těchto zjištění dostaneme dosazením do vzorce (2) vypočtenou rychlost úbytku materiálu vlivem biogenní síranové koroze následující výsledek [3]:
 $c = 0,69$ mm/rok.

Což odpovídá 13,8 mm úbytku potrubí vlivem biogenní síranové koroze za 20 let na daném úseku.

V případě, že je pro výpočet uvažován průměrný denní průtok 25% výšky plnění, je rychlost koroze s jiným výsledkem. Hodnota rychlosti biogenní síranové koroze odpovídá [3]:

$c = 0,39$ mm/rok.

Je tedy patrné, že na rychlost biogenní síranové koroze má také vliv výška plnění.

V porovnání vypočtených hodnot se skutečně naměřenými hodnotami jsou rozdíly ve velikosti koroze dosti velké. Nicméně je nutno brát v potaz, že především první část této případové studie, tedy naměřené rozměry, byly určeny modelově. Z tohoto důvodu je nutné provést porovnání výpočtového modelu s reálnými daty na stokové síti a utvořit závěr, jakou přesnost má použitý model pro výpočet rychlosti biogenní síranové koroze. V Tab. 9 ještě ukažme, jak bude vypadat záznam v programu GIS.

Tab. 9 Navržený zápis do GIS

Legenda	Hodnocení	Poznámka
DN [mm]	1800	Již zadáváno
Materiál	Beton	Již zadáváno
Rok uvedení do provozu	1992	Již zadáváno
Datum kamerového průzkumu	2012	Již zadáváno
Typ poruchy	DAF	Zadá operátor
Počáteční hodnota krytí výztuže z vnitřní strany trouby Z1 (lze zadat na nových úsecích)	45	Zadáno při uvedení úseku do provozu
Maximální opotřebenění tl. stěny na úseku (naměřený rozměr DN)	1822	Zadá operátor
Úbytek tloušťky stěny od posledního průzkumu	22	Automaticky dopočteno
Rychlost koroze	1,1	Automaticky dopočteno
Hodnocení	1	Automaticky přiřazeno
Zbývající tloušťka krytí výztuže	23	Automaticky dopočteno
Třída poškození	Tv ₂	Automaticky přiřazeno
Teplota odpadní vody	22	Zadá operátor
pH odpadní vody	7,4	Zadá operátor, nutno měřit v závislosti na rychlosti koroze
Množství sirovodíku na úseku [ppm = mg/l]	3,12	Zadá operátor, nutno měřit v závislosti na rychlosti koroze
Doporučení dalšího kamerového průzkumu (za kolik let)	3	Automaticky generováno na základě rychlosti koroze
Předpokládaný čas do konce životnosti úseku [let]	20	Automaticky dopočteno

Za 40 let od uvedení do provozu bude tloušťka betonové trouby na základě výpočtu dle skutečného měření nedostatečná a může dojít k jejímu zborcení. Při provedení výpočtu pomocí matematického modelu *Sulf2c* je tato životnost necelých 60 let.

Na základě výpočtů byla zjištěna vysoká rychlost opotřebenění potrubí v daném úseku stokové sítě. Ze zjištění je nutno najít příčinu, proč v daném úseku dochází k takto velkému opotřebenění vlivem biogenní síranové koroze.

Z uvedeného příkladu jasně vyplývá, jak velký vliv mají jednotlivé procesy na degradaci betonového potrubí. V našem případě bude životnost daného úseku snížena na 40 – 60 let. Díky těmto zjištěním mohou být provedena preventivní opatření, která zajistí správně rozložení investičních nákladů vodárenských společností a také lepší přehled o vývoji posuzovaných úseků, nebo může být pro obnovu daného úseku zvolen jiný, vhodnější materiál, který nepodléhá tomuto druhu koroze.

5.8 VYHODNOCENÍ MĚŘENÍ - LOKALITA HORNÍ SUCHÁ

V letech 2005 – 2007 probíhal projekt Rehabilitace kanalizačních staveb na poddolovaném území, jehož zadavatelem byla Grantová agentura České republiky (GAČR). Jako vhodná oblast pro realizaci tohoto projektu byla vybrána lokalita v obci Horní Suchá (v průmyslové zóně dolu František a ulicích Osvobození, Černá cesta, Spodní, Vrchní).

Na reprezentativním úseku mezi šachtami S8 – S13 v délce 176 m bylo v roce 2007 provedeno zaměření skutečného podélného sklonu. Dále byl měřen průměr trouby jak v horizontálním tak i ve vertikálním směru.

Vzhledem k tomu, že se uvedená lokalita nachází v poddolovaném území, kde dochází k sedání a také deformacím potrubí, není možno přesně určit, zda došlo opravdu k úbytku tloušťky stěny potrubí nebo jen k deformaci profilu. Proti také hovoří poměrně velké množství usazenin. Z těchto důvodů nelze danou lokalitu označit jako vhodnou.

Pokud bychom uvažovali rychlost úbytku tloušťky stěny pro jedinou měřitelnou hodnotu, vyjde nám tato rychlost na 0,25 mm/rok. Zbytková životnost 50 let je určena pouze na základě odhadu, jelikož nejsou známy přesné konstrukční parametry měřených profilů při výstavbě ani nejsou dohledatelné. Pokud bychom vzali původní tloušťku stěny 220 mm a rychlost koroze 0,25 mm/rok dá se předpokládat zbytková životnost tohoto potrubí až 130 let, ale opět zde není uvažován vliv koroze od okolní půdy a podzemní vody a také vliv deformace, se kterým bychom měli v této lokalitě počítat, ale nejsme ho objektivně schopni změřit. Do zbytkové životnosti tedy není uvažován vliv deformací a následných zřízení konstrukcí stok, kterými se může zbytková životnost podstatně zkrátit. Vzhledem k tomu, že tento úsek stokové sítě byl v posledních letech málo využíván a od roku 1999 je mimo provoz, lze předpokládat vysoká zbytková životnost tohoto úseku. Z tohoto důvodu se zde nepředpokládá vliv biogenní síranové koroze, proto navrhuji další měření vnitřních rozměrů po deseti letech tj. 2017.

6 ZÁVĚR

Každý úsek stokové sítě je individuální a je navrhován na určitou předpokládanou životnost. Ovšem tato životnost je ovlivňována mnoha faktory, které předpokládanou životnost snižují. Z tohoto důvodu byla vypracována metodika pro

získání důležitých dat a informací o stokových sítích z betonových/ŽB trubních materiálů.

Předkládaná práce se zabývá vybranými degradačními procesy, které probíhají na betonovém/ŽB potrubí stokových sítí. Práce je rozdělena do dvou základních částí.

První část obsahuje shrnutí současných poznatků o stokových sítích obecně. Dále se zmiňuje o chemických procesech vyskytujících se na trubních úsecích stokových sítí, které způsobují jejich degradaci.

Druhá část práce se zabývá vyhodnocením dat a podkladů od společností provozujících stokové sítě. Na základě těchto poskytnutých dat bylo provedeno vyhodnocení. Z tohoto vyhodnocení je patrné, že úseky stokových sítí uvedené do provozu ve stejném období mají obdobný vývoj a tudíž jsou v podobném technickém stavu. Z uvedených poznatků, lze také vyvodit, že potrubí uvedená do provozu v 60. - 80. letech dvacátého století degradují rychleji, než potrubí z dřívějších let např. 30. - 40. let. Toto je připisováno nevhodným materiálům a postupům při výrobě, ale také samotnou pokládkou potrubí.

Základním předpokladem pro návrh nové metodiky, která slouží k určení předpovědi vývoje materiálů stokových sítí je především dostupné množství dat. Data, která jsou v současné době sledovaná provozovateli nebo vlastníky stokových sítí nejsou dostatečná pro přesné určení vývoje trubního materiálu v čase. Všechna data, která jsou v současnosti sledována, vypovídají pouze o aktuálním stavu stokové sítě a neříkají nám nic o tom, jak se daný úsek bude vyvíjet. Důvod, proč je nutno znát průběh degradace materiálů stokových sítí, je především plánování sanací a také vhodné rozložení finančních prostředků určených k obnově stokových sítí.

Hlavní vliv na životnost a správnou funkci betonového/ŽB potrubí stokových sítí mají především stěny potrubí a to jak z hydraulického, tak i ze statického hlediska.

Z tohoto důvodu je hlavním doporučením navrhované metodiky měření vnitřních rozměrů potrubí stokových sítí, měření pH odpadní vody a měření sulfanů. Nejenže poznáme velikost úbytku tloušťky stěny potrubí případně krytí výztuže, ke kterému došlo za určité časové období, ale také poznáme, zda nedochází na potrubí k deformaci.

Pro nově navrženou metodiku, byly stanoveny tři třídy poškození potrubí (T_{V1} , T_{V2} , T_{vkrit}) viz kapitola 5.5.1.

Metodika byla otestována na případové studii a při vyhodnocení měření v lokalitě Horní Suchá.

Dále bude navržená metodika postupně nasazována na vybrané části stokové sítě provozované BVK a současně prakticky dlouhodobě testována. Navržený postup měření úbytku trubního materiálu na stokových sítích bude možné použít pro další výzkumy v dané problematice. Je známo, že změřená data jsou nenahraditelná a dokud nebude metodika lépe vyzkoušena nelze přesně stanovit její vhodnost a také přínos. Taktéž bude možné na základě naměřených dat testovat výpočetní software sloužící k výpočtu biogenní síranové koroze (např. model FReET - D).

Pro možnost uplatnění nové metodiky je nutno použít nová a na trhu dostupná měřicí a monitorovací zařízení, která nejsou ještě běžně používána. Nově navržená

metodika spočívá v provádění kamerového průzkumu včetně měření vnitřních rozměrů potrubí stokových sítí. V případě, že se jedná o úseky s korozí či povrchovými poruchami je nutno změřit vnitřní rozměry potrubí. Roční úbytek tloušťky stěny a s tím související rychlost koroze [mm/rok] lze vypočítat na základě konfrontace dvou měření provedených v určitém časovém úseku. Na základě vnitřních rozměrů a určení rychlosti koroze je možno daný úsek stokové sítě zařadit do příslušných navržených kategorií. Dle příslušného zařídění je možno zjistit v jaké třídě hodnocení se vyhodnocovaný úsek nachází, do jaké patří třídy poškození a jakou má zbývající tloušťku krytí výztuže atd. Díky tomuto zařídění jsme schopni odhadnout zbytkovou životnost úseku stokové sítě, případně provést další měření a doporučení ke snížení intenzity koroze, provedení patřičných opatření a tím k lepšímu rozložení finančních prostředků správců a vlastníků. Závěrem je nutno říci, že navrženou metodiku bude ještě nutno otestovat v praxi a na základě zjištěných poznatků ji případně upravit a běžně začít používat.

Navržená metodika je určena pro vlastníky a provozovatele infrastruktury. Umožňuje sledovat a vyhodnocovat degradační procesy na potrubí. Na základě získaných informací je možné provádět provozní opatření ke snížení rychlosti degradačních procesů. Hlavním důvodem nasazení metodiky v praxi je dosažení ekonomického efektu provozuschopnosti.

6.1 PŘÍNOS PRÁCE

Hlavním přínosem práce je inovace stávajících postupů, které jsou v současnosti používány pro provoz, údržbu a plánování sanací stokových sítí. Důvodem těchto nově navržených opatření je neustálý vývoj měřicích zařízení a nových softwarových možností (GIS a výpočetní programy). Přínosem jsou nová doporučující opatření při monitoringu stokových sítí z betonu/ŽB a také návrh jak postupovat v případech, kdy potřebujeme získat informace o druhu a rychlosti degradace. Veškerá doporučení vycházejí ze současných poznatků o stokových sítích nejen od samotných vlastníků a provozovatelů, ale také z odborné literatury, výrobců betonových/ŽB trub a výzkumných pracovníků. Jedná se o rozšíření sběru dat, která vlastníci či provozovatelé stokových sítí shromažďují v GIS a způsob jak s daty dále nakládat.

Měřicí síť, která bude dlouhodobě sledována viz kapitola 5.4.2, bude zdrojem mnoha informací a dat nejen pro praxi, ale také pro další výzkumy.

Tímto by také mělo dojít ke snížení provozních nákladů a zvýšení spolehlivosti nebo alespoň lepší předvídatelnosti plánování obnovy sítí.

Doporučení pro další výzkum a vývoj:

- vývoj nových nedestruktivních metod pro vyhodnocování zbytkové životnosti trubních sítí z různých materiálů;
- provádět dlouhodobá měření stárnutí různých materiálů stokových sítí;
- vývoj metodiky monitoringu materiálů trubních sítí z vnější strany (působení podzemních vod a okolní zeminy).

7 LITERATURA

- [1] ASCElibrary [online], [cit. 2012-03-05], dostupné z:
http://ascelibrary.org/proceedings/resource/2/ascecp/386/41138/53_1?isAutho
- [2] BITZÓK, I., *Concrete corrosion, Concrete protection*, Budapešť 1972.
- [3] BIOGENNÍ SÍRANOVÁ KOROZE BETONOVÉHO KANALIZAČNÍHO POTRUBÍ – podklady; Možnosti modelování pomocí FreET – D, podklad předán Doc. Jaroslavu Raclavskému Ph.D panem Prof. Břetislavem Teplým Ph.D.
- [4] CHROMÁ M.: dizertační práce – Studium a modelování karbonatace betonu, Brno, 2012.
- [5] DOLEJŠ, M., BERNÁT, J., SLEPIČKA, J.: *Metodika vyhodnocení průzkumu stok ve vztahu k plánování oprav a investic stokové sítě Hl. m. Prahy*, Sovak 11/2004, ISSN 1210-3039, str. 26 – 28.
- [6] MÁDLÍK, P.: *Srovnání funkčně technických parametrů materiálů stokových sítí*, 5. Odborná konference doktorského studia JUNIORSTAV 2003.
- [7] MALANÍK, S.: *Stoková síť poškozená síranovou korozí betonu*. NO-DIG, Ročník 11 2/2005. str. 14 – 19.
- [8] MATESOVÁ, D., TEPLÝ, B., PODROUŽEK, J., CHROMÁ, M.: Probabilistic modeling of steel corrosion in RC structures. In Proc. of 3rd Central European Congress on Concrete Engineering, CCC 2007, (Balázs, G.L. and Nehme, S.G., eds.), Visegrád, Hungary, 2007, pp. 337-342. ISBN 978-963-420-923-2.
- [9] ROVNANÍKOVÁ, P., ROVNANÍK, P., KŘÍSTEK, R.: *Stavební chemie - Modul 3*, 2004.
- [10] STEIN, D.: *Instandhaltung von Kanalisationen, 3. Auflage*. Brelín: Ernst & Sohn Verlag, 1998. ISBN 3-433-01315-0.
- [11] ŠEJNOHA, J.: *Stavební materiály pro výstavbu stokových sítí*, SOVAK Časopis oboru vodovodů a kanalizací 1/2004, ISSN 1210-3039, str. 12-17.
- [12] TEPLÝ, B., MATESOVÁ, D., CHROMÁ, M., ROVNANÍK, P. Stochastic degradation models for durability limit state evaluation: SARA – part VI. In Proc. of 3rd International Conference on Structural Health Monitoring of Intelligent Infrastructure, Vancouver, British Columbia, Canada, pp. 187 (abstract), full length paper on CD-ROM, 2007, ISBN 978-0-9736430-4-6.
- [13] FReET, [online], [cit. 2012-04-05], dostupné z:
http://www.freet.cz/freet_d.html
- [14] GAČR 103/05/0400 - Rehabilitace kanalizačních staveb na poddolovaném území, odpovědný řešitel: Doc. Dr. Ing. Miroslav Kyncl (SmVak, a.s.), doba řešení 2005 – 2007.
- [15] VSEOCHEMII, [online], [cit. 2012-10-12], dostupné z:
<http://vseochemii.blogspot.cz/2008/04/koroze-betonu.html>.
- [16] HORÁK, M., KOZELSKÝ, J., RACLAVSKÝ, J.: Průzkum a vyhodnocení technického stavu stokových sítí, Urbanismus a územní rozvoj 2008/4, ISSN 1212-0855, MK ČR E 7021, Brno 2008.

CURRICULUM VITAE

Jméno a příjmení, titul: Ing. Horák Marek
Adresa trvalého bydliště: Blatnická 4212/6, 628 00 Brno
Telefon: + 420 775 917 910
Email: marekhorak@centrum.cz

PRACOVNÍ ZKUŠENOSTI

09.2010 - dosud TVAR COM, spol. s r.o., Škroupova 4256/1, 636 00 Brno
Pozice: Projektant vodohospodářských staveb
převážně v průmyslových areálech
2007 - 2010 Ústav vodního hospodářství obcí, VUT v Brně, FAST,
2008 - 2010 BETA-PROJEKT, s.r.o., Svitavy, Pavlovova 1249/43, 568 02
Svitavy
04.2007 - 05.2007 Alef Brno, spol. s r.o., Smetanova 3, 602 00 Brno

DOSAŽENÉ VZDĚLÁNÍ

2009 - dosud VUT v Brně, Fakulta stavební, obor Stavební inženýrství, zaměření
Vodní hospodářství a vodní stavby, doktorský studijní program,
kombinovaná forma studia, ukončení 12/2013.
2006 - 2009 VUT v Brně, Fakulta stavební, obor Stavební inženýrství, zaměření
Vodní hospodářství a vodní stavby, doktorský studijní program,
prezenční forma studia
2001 - 2006 VUT v Brně, Fakulta stavební, obor Stavební inženýrství, zaměření
Vodní hospodářství a vodní stavby. Studium ukončeno získáním
titulu „inženýr“.
1997 - 2001 Střední průmyslová a umělecká škola a Vyšší odborná škola
Hodonín, Obor Stavebnictví.

ABSTRACT

The doctoral thesis deals with analysis of the ageing of concrete and reinforced concrete pipes in sewage systems. The ageing of the sewage system is caused by several reasons, for example material abrasion, chemical and biological corrosion and subsequent static overload sewer construction.

One of the common causes of degradation of sewage systems made from materials bonded with cement sealant is biogenic sulphate corrosion. Due to the corrosion the degradation of the pipe walls accelerates, particularly in upper part of the pipe and reduces planned lifetime of the sewage system.

There is proposed new ageing analysis monitoring method for observation and evaluation of the loss of thickness of concrete and reinforced concrete pipes, which

is caused by biogenic sulphate corrosion. Residual lifetime is calculated from the expected corrosion rate, it's the loss of wall thickness on the monitored section of the sewer system. There is designed the monitoring system of the loss of wall thickness on the sewage system for practical application of the measurement procedure, which is administrated in cooperation with the BVK, a. s. The thesis uses existing knowledge regarding this subject. We use this information for better understanding of the process of the loss of wall thickness in sewage systems in real time and the possibility to correct and in-time implementation of appropriate operational measures. This should cause the limitation of the degradation process of piping material while extended service life and safe operation in sewage systems within the required time period. Based on the methodology is proposed to determine the residual life of the sewage system and maintenance and rehabilitation can be done more effectively. There is needed to be noted that only long-term monitoring period can bring a better overview of the technical condition of sewage systems in time and thus better and more effective maintenance and rehabilitation, which is related to the effective use of funds for water infrastructure renewal.