

UŽITÍ PRŮZKUMNÝCH PRACÍ A GEOTECHNICKÉHO MONITORINGU PŘI ZMÁHÁNÍ MIMOŘÁDNÝCH UDÁLOSTÍ NA STOKOVÉ A VODOVODNÍ SÍTI

USE OF SURVEYS AND GEOTECHNICAL MONITORING TO RECOVERING EXTRAORDINARY EVENTS ON SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORK

BARBORA PAVELKOVÁ, ZDENEK ŘEHÁK

ABSTRAKT

Článek na příkladu pražské sítě vodovodů a kanalizací uvádí historický vývoj distribuce pitné a odvádění splaškové vody, poukazuje na materiálové řešení řadů a stok, zmiňuje mechaniku a vznik obvyklých poruch na těchto inženýrských sítích. Dále popisuje typické procesy geotechnického a geofyzikálního průzkumu prováděného v souvislosti s těmito sítěmi. Přibližuje využití servisních služeb průzkumných metod spolu se souborem prací geotechnického monitoringu při sanaci havárie vodohospodářského podzemního díla. Je popsán proces od vzniku mimořádné události a stanovení příčiny, přes okamžitá opatření osazením měřicích bodů, sledování průběžné reakce objektů v okolí na zmáhání havárie až po klidové závěrečné měření a zhodnocení výsledků. Proces průzkumných prací a následné sanace havárie je uveden na konkrétním příkladu.

ABSTRACT

The paper presents the historic development of the distribution of drinking water and draining sewage water on the example of the Prague network of water mains and sewers. It refers to material solutions to water mains and sewers, mentions the mechanics and origination of usual failures on the utility networks. In addition, it describes processes of typical geotechnical investigation and geophysical survey carried out in relation to those networks. It gives readers an idea of the use of services of survey methods together with the package of geotechnical monitoring operations during recovering an accident on an underground water-supply pipeline. It describes the process from the origination of the extraordinary event and determination of the cause, through immediate measures in the form of installation of measurement points, continuous monitoring of the response of structures in the neighbourhood up to final measurements at rest and assessment of the results. The process of survey operations and subsequent accident recovery is described on a specific example.

1. ÚVOD

Provozovatelé vodohospodářských infrastruktur spravují tisíce kilometrů podzemních potrubních staveb různého stáří, materiálu a průtočného profilu. Vlivem stáří, technického stavu a původně plánované nižší kapacity jsou tyto podzemní konstrukce různě odolné na další zvyšování průtoku a neustálé přitěžování z povrchu vlivem narůstající intenzity dopravy a výstavby. Obzvláště v intravilánu větších měst je každá porucha vodovodního řadu nebo kanalizační stoky a její odstraňování zásahem do běžného rytmu volného pohybu ve veřejném prostoru. Nejčastějšími příčinami havárií stokové a vodovodní sítě jsou vysoké stáří konstrukcí, nekvalitní použitý materiál (např. pověstná polská litina ze sedmdesátých let minulého století), nedodržené technologické postupy při výstavbě, mnohonásobně zvýšená dynamická zátěž z nadloží sítí a stavební nekolegialita správců ostatních sítí při výstavbách a rekonstrukcích a nedodržení geotechnických zásad při zasypávání a hutnění zemin a sypanin.

Společnost INSET s.r.o. zajišťuje průzkumné práce, které pomáhají odhalit rozsah poruch; na základě získaných informací pak lze doporučit vhodnou metodu sanace. Současně je společnost INSET s.r.o. dodavatelem i souvisejícího souboru prací geotechnického monitoringu, který je v řadě případů nepostradatelnou součástí stavebních prací.

1. INTRODUCTION

Operators of water-management infrastructures operate thousands of kilometres of underground pipelines of various age, from various materials and with various flow profiles. Due to old age, technical condition and originally planned lower capacity, the resistivity of those underground structures to increasing flow rates and permanently increasing loads from the surface resulting from increasing traffic volume and construction activities varies. It is so especially in urban areas of bigger cities that each failure of water lines or sewers and its repair is an intrusion into the common rhythm of free movement in the public space. High age of structures, poor quality used materials (e.g. the notorious Polish cast-iron from the 1970s), breaches of technology during construction, the many times increased dynamic loading from the top of the networks and the lack of construction collegiality of administrators of other networks during construction activities and reconstructions, as well as breaches of geotechnical principles during backfilling and compacting of soils and fills are the most frequent causes of accidents on sewerage and water supply network.

The company of INSET s.r.o. provides surveys helping to reveal the extent of failures; an appropriate recovery method can be subsequently recommended on the basis of the gathered information. The company of INSET s.r.o. is, at the same time, the contractor for the related package of geotechnical monitoring operations, which is in many cases an indispensable part of construction work.

2. HISTORIE VÝSTAVBY KANALIZAČNÍCH A VODOVODNÍCH SÍTÍ V PRAZE

Kanalizační síť

Prvním historickým příkladem významného posunu v technologii odvodňování splašků z ulic města Prahy, kde do té doby bylo jejich odvodnění řešeno pomocí otevřených rýh podél ulic, byla výstavba stoky v délce 150 m v pražském Klementinu. Tato stoka byla vybudována již v roce 1673 a jednalo se o první proplachovací kanál sloužící pro odvodnění stejnojmenného objektu. Stoka byla vystavěna převážně z pískovcových kvádrů v profilu s kruhovou klenbou a segmentovým dnem.

Velkou éru výstavby kanalizačních stok, které slouží i do dnešních dní, zažila Praha na přelomu 19. a 20. století během působení sira Williama Heerleina Lindleyho, který byl významným anglickým inženýrem té doby a zasloužil se o podobu kanalizace nejen evropských měst. Během jeho „pražské éry“ bylo do konce roku 1914 vystavěno celkem 135 305 m kanalizačních stok. Tyto stoky byly zděné z cihel „zvonivek“ ve vejčitém, oválném nebo kruhovém profilu. Pražská stoková síť byla zároveň rozdělena na dvě velké části, které se skládaly z několika obvodů. Díky rozdělení na tato dvě pásma Ing. Lindley odstranil problém zpětného zaplavení města stokami a zabezpečil funkčnost stokové sítě i v případě povodní. Tato síť byla zároveň složena z šesti kmenových stok, které byly označeny písmeny. Stoky A, B, C a D sloužily pro odvodnění okresu středního a jihozápadního. Zbylé dvě kmenové stoky E a F vytvářely okres severovýchodní. Celá tato síť byla doplněna čistírnou odpadních vod v Bubeneči.

Masivní výstavbu pražské kanalizační sítě značně zbrzdila až druhá světová válka, během které došlo i k poškození některých jejích provozovaných částí. Kanalizace byla na mnoha místech narušena nebo zničena provozem těžké vojenské techniky a výbuchy pum při náletech na Prahu. V poválečném období tedy docházelo víceméně k opravám takto způsobených škod.

Novodobý rozvoj sítě dále souvisel s výstavbou rozsáhlých panelových sídlišť, jako jsou Jižní město, Spořilov a Prosek. Kvalita provedení kanalizační sítě, zejména v 50. a 60. letech 20. století, odpovídá tehdejšímu důrazu na rychlost výstavby, nikoliv důrazu na kvalitu. Masivnější rozvoj kanalizační sítě na území Prahy byl ukončen v 90. letech 20. století, kdy byl pozastaven trend výstavby větších panelových sídlišť a následoval odliv obyvatelstva za hranice města, směrem do nově vznikajících příměstských obcí na území Středočeského kraje, kde je odvádění odpadních vod řešeno lokálně [1, 4].

Vodovodní síť

První záznamy o technických stavbách vodovodní sítě na území Prahy sahají do 12. století. V průběhu 19. století byly postupně nahrazeny původní materiály vodovodní sítě jako dřevo, kámen, cihelné zdivo a olovo za litinu. Na litinové potrubí z konce 19. století lze stále v pražských ulicích narazit, zejména v oblasti Vinohrad. Až do počátků 20. století byla značná část pitné vody odebírána z lokálních zdrojů, převážně z Vltavy. V roce 1914 se s Prahou pojí významný mlínik, a to dodávky první opravdu pitné vody z nově vybudované vodárny v Káraném (cca 25 km severovýchodně od centra). V období od vzniku tzv. Velké Prahy roku 1922 do roku 1972 byla Praha zásobována ze tří zdrojů, z Káraného, z Braníka a z Podolí. Roku 1972 byl zprovozněn vodovodní přivaděč Želivka vystavěný v kruhovém profilu průměru 2 640 mm v délce 52 km. Želivka se momentálně podílí zhruba 75 % na dodávkách pitné vody do Prahy. Praha prošla z pohledu dodávek pitné vody transformací, kdy z původně lokálních zdrojů

2. HISTORY OF DEVELOPMENT OF SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORKS IN PRAGUE

Sewerage network

The first historic example of a significant shift in the technique of removing sewage from the streets of the city of Prague, where until then drainage was solved by open trenches running along streets, was the construction of a 150m long sewer in Prague Klementinum. The sewer was carried out already in 1673 and it was the first flushing sewer serving to drain the object of the same name. The sewer was constructed mostly of sandstone blocks in a profile with a circular vault and a segmental bottom.

Prague experienced a great era of development of sewers serving even today at the end of the 19th century, during the activity of Sir William Heerlein Lindley, an outstanding English engineer of that time, who contributed to the design of sewers not only in European cities. During his “Prague era”, the total of 135,305m of sewers were built. The sewers were built in clinker bricks, with an egg-shaped, oval or circular cross-section. The Prague sewerage network was at the same time divided into two large divisions consisting of several districts. Thanks to the division into the two districts, Ing. Lindley removed the problem of reverse inundation of the city by sewers and ensured functionality of the sewerage network even in the case of floods. The network at the same time consisted of six trunk sewers denoted by letters. Sewers A, B, C and D served to drain the central and south-western regions. Remaining two trunk sewers E and F formed the north-eastern region. The whole network was complemented by a sewage treatment plant in Bubeneč.

The massive development of the Prague sewerage network was significantly hindered later by World War 2, during which some of its operating parts were even damaged. Sewers were disturbed in many places or were damaged by operation of heavy military equipment and explosions of bombs during air raids on Prague. It means that removing damages in the post-war period was more or less focused on the above-mentioned cases.

The development of the modern network was further connected with the development of large residential areas with panel buildings, such as Jižní Město (Southern Satellite Town), Spořilov and Prosek. The quality of work on the sewerage network, first of all the quality, corresponded in the 1950s and 1960s to the emphasis on speed of construction, not on emphasis on quality. More massive development of sewerage network in the territory of Prague was terminated in the 1990s when the trend of developing larger residential areas was suspended and outflow of population beyond borders of cities to newly originating suburban municipalities in the Middle-Bohemian Region, where disposal of sewage is solved locally, followed [1, 4].

Water supply network

First records about technical construction of the network of water supply mains in Prague date back to the 19th century. During the course of the 19th century, original materials of the water supply network, such as wood, stone, brick masonry and lead, were gradually replaced by cast iron. Cast iron pipelines from the 19th century can still be encountered in Prague streets, mostly in the area of Vinohrady. Until the early 20th century, significant proportion of drinking water is taken from local sources, mostly from the Vltava River. An important milestone was connected with Prague, namely with supplies of first really drinking water from the newly built water treatment plant in Kárané (ca 235km northeast of the city centre). In the 1922 to 1972 period, from the establishment of the so-called Great Prague, Prague was supplied with water from three sources, from Kárané, from Braník and from Podolí. In 1972, the 52km long Želivka water supply tunnel with the 2640mm-diameter circular

distribuovaných na předměstí přešla na formát, kdy se pitná voda dodává z okrajových částí do centra, což s přihlédnutím na členitý terén na území města klade zvýšené nároky na provoz vodovodní sítě [8].

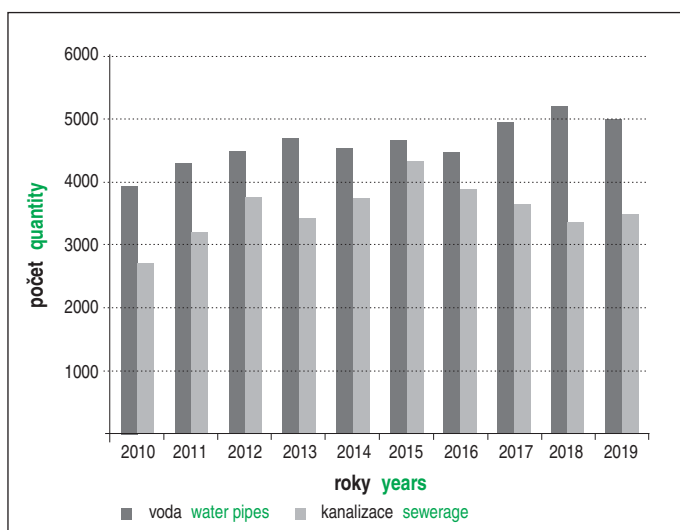
3. SOUČASNÝ STAV – PROFILY A MATERIÁLY KANALIZAČNÍ A VODOVODNÍ SÍTĚ

V současnosti je kladen důraz na rekonstrukce stávajících stokových i vodovodních sítí, které jsou svým technickým stavem již často za hranicí životnosti. Dále dochází k výstavbě stokových sítí v rámci generelu odvodnění hl. m. Prahy a plánu rozvoje vodovodů a kanalizací hl. m. Prahy.

Materiál pro výstavbu stok je volen s ohledem na vodotěsnost, odolnost vůči mechanickým, chemickým a biologickým vlivům i agresivnímu působení a má současně umožnit bezpečné a účinné čištění stok. Mezi tyto materiály patří například kamenina, beton, železobeton, čedič, sklolaminát a šedá a tvárná litina. V mnoha případech je i zachován původní koncept zděné kanalizace v kombinaci s obložním, které zvyšuje odolnost vůči chemickým látkám či obrusu.

Obdobná situace panuje při výstavbě a obnově vodovodních sítí. Zde je ovšem kladen důraz zejména na odolnost vůči vysokému zatížení a provoznímu tlaku. Tyto požadavky nejlépe korespondují s využitím ocelových profilů, které mají v tomto ohledu výborné mechanické vlastnosti. Na druhou stranu, ocel je velmi citlivá na korozi a je nutné zabezpečit její vnitřní i vnější ochranu. V současné době jsou ocelové profily nahrazovány jinými materiály, ovšem ve specifických případech zůstávají stále nezastupitelné. Z dalších kovových materiálů určených pro výstavbu vodovodních sítí lze zmínit tvárnou litinu, která postupně nahrazuje využití litiny šedé. Tvárná litina je vhodná zejména pro výstavbu v místech s nestabilním zeminovým či horninovým prostředím nebo pro vodovodní řady s vysokými provozními tlaky. Dále jsou využívány nekovové materiály, jako je sklolaminát s velmi dobrými hydraulickými vlastnostmi a různé plastické hmoty, které slouží zejména pro vybudování řadů menšího profilu v jednoduchých geologických podmínkách.

Zatímco vodovodní řady jsou budovány pouze v kruhových profilech, kanalizační sítě jsou stavěny nebo rekonstruovány v profilech různých tvarů a rozměrů. Nadále se pokračuje v budování kanalizačních sítí ve vejčitém profilu (např. „Viedeňský profil“



Gráf 1 Počet havárií na vodovodní a kanalizační sítí v provozu Pražských vodovodů a kanalizací, a.s. v letech 2010–2019

Graph 1 Number of accidents on water supply and sewerage network operated by Pražské Vodovody a Kanalizace, a.s. in 2010–2019

profile was inaugurated. The Želivka River currently accounts for about 75% of drinking water supplies to Prague. Prague has undergone a transformation in terms of drinking water supplies from the originally local sources distributed in suburbs to the centre, which, taking into account the rugged terrain in the city, places increased demands on operation of the water supply network [8].

3. CURRENT CONDITION – PROFILES AND MATERIALS OF SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORK

At present, emphasis is on reconstruction of existing sewerage and water supply networks, which are often beyond their lifetime in terms of their technical condition. In addition, sewerage network is currently being developed within the framework of the Prague drainage Master Plan and the plan for development of water supply and sewerage lines in the Capital City of Prague.

Materials for construction of sewers are selected taking into consideration watertightness, resistance to mechanical, chemical and biological effects and corrosive effects. At the same time they are to allow for safe and effective cleaning. Among those materials there are, for example, vitrified clay, concrete, reinforced concrete, basalt, glassfibre reinforced plastic and grey and ductile iron. The concept of masonry sewers in combination with liners increasing the resistance to chemical matters or wear is even maintained.

Similar situation exists in the construction and renewal of water supply networks. Here, however, emphasis is placed most of all on resistance to high loads and operating pressure. These requirements correspond best with the use of steel sections, which have excellent mechanical properties in this respect. On the other hand, steel is very sensitive to corrosion and it is necessary to ensure its internal and external protection. Currently steel sections are being replaced with other materials, but in specific cases they remain irreplaceable. Of other metal materials intended for construction of water supply networks, it is possible to mention ductile iron, which gradually replaces the use of grey iron. Ductile iron is suitable namely for construction in instable soil or rock environment locations or for water mains with high operational pressures. Furthermore, non-metal materials such as glassfibre reinforced plastic with very good hydraulic properties and various plastic matters, which serve mainly to building smaller-profile mains in simple geological conditions are used.

While water mains are built only in circular profiles, sewerage networks are built or reconstructed in various shape and dimension profiles. The construction of egg-shaped profile sewerage networks (e.g. the “Wien Profile” and “Prague Normal Profile”) which have best hydraulic properties and are most advantageous in terms of statics. At the same time, it is necessary to have in this case a sufficient height of the overburden. Otherwise, circular profiles are often used. They are not so much statically advantageous as the egg-shaped profiles, but, in contrast with the egg-shaped profiles, they allow for faster construction. In the event of small overburden thickness, mouth cross-section profiles are used for sewerage. In addition to the above-mentioned basic shapes, there are many profiles with atypical geometries.

In 2019, the length of the Prague sewerage network amounted to 3697km, with service connections at the length of 996 km [2]. The water supply network at the length of 3539km with service connections at the length of 863km supply drinking water to ca 1.3 million inhabitants of the capital city of Prague and additional 206 thousand inhabitants of the Central Bohemian Region [3].

In the entire length of the sewerage and water supply system, there must inevitably be sections the technical condition of which no more completely correspond to all today's demands on problem-free operation and where even emergency states can occur in case of

a „Pražský normál“), který má nejlepší hydraulické vlastnosti a je staticky nejvýhodnější. Zároveň je zde však nutné mít dostatečnou výšku nadloží. V opačném případě jsou často využívány profily kruhové, které nejsou tak staticky výhodné jako profil vejčitý, ale umožňují oproti vejčitému průřezu rychlejší výstavbu. Při malé mocnosti nadloží jsou kanalizace vystavěny v profilu „tlamovém“. Mimo zmíněné základní tvary existuje i mnoho profilů s atypickými rozměry.

V roce 2019 dosáhla délka pražské kanalizační sítě 3 697 km s kanalizačními přípojkami v délce 996 km [2]. Vodovodní síť v délce 3 539 km a s přípojkami v délce 863 km zásobuje pitnou vodou cca 1,3 mil. obyvatel hlavního města Prahy a dalších 206 tisíc obyvatel Středočeského kraje [3].

V celé této délce kanalizačního a vodovodního systému se zákonitě musí vyskytovat úseky, které svým technickým stavem již zcela neodpovídají všem dnes kladeným nárokům na jeho bezproblémový provoz a kde může při jeho přetížení docházet i k havarijním stavům. Graf 1 ilustruje vývoj ročního počtu havárií na vodovodní a kanalizační síti během poslední dekády v Praze [5].

4. PORUCHY KANALIZAČNÍ A VODOVODNÍ SÍTĚ

V obecné rovině lze poruchy na stokových sítích rozdělit do několika skupin. První velkou skupinou jsou poruchy na stokových sítích, které jsou – z hlediska trvanlivosti konstrukčního materiálu – často již za hranicí své životnosti, i když z kapacitního hlediska jsou stále schopny plně saturovat veškeré požadavky na průtok. Jedná se především o stoky v centrech měst, mnohdy z rané éry výstavby. Již samotným vlivem transportu médií dochází k postupnému oslabování profilu stoky. Velký vliv na postupnou degradaci má i velký podélný sklon stoky, který daný proces z důvodu velké rychlosti proudění dokáže značně urychlit. Samozřejmě má značný vliv i použitý materiál.

Další skupinou je kanalizační síť, která je za hranou svých kapacitních možností. Stoka, která může být v dobrém stavebně-technickém stavu, je vystavena tlakovému režimu proudění a následným deformacím samotného ostění.

Obzvláště problematická může být kombinace obou zmíněných možností porušení, ke kterým může docházet v období většího průtoku, zejména při povodních a přívalových deštích.

Třetí skupinou poruch je přetížení stoky vnějšími tlaky. Většina stok vede pod vozovkami. Se zvyšujícím se dopravním zatížením dochází k přetížení stok, které reagují změnou tvaru a trhlinami. Obdobné poruchy z přetížení vznikají novou výstavbou v bezprostředním okolí stávajících stok, zatížením stavební mechanizací nebo vlastní novostavbou. Těmto vlivům podléhají také vodovodní řady.

Čtvrtou skupinou poruch je změna namáhání vlivem ztráty opory horninového prostředí. Různými vlivy a procesy v základové půdě vznikají kolem kanalizačního řadu rozvolněné zóny zeminy, případně až kaverny. Profil stoky je potom namáhaný nerovnoměrně, v profilu vznikají velké ohybové momenty, na což stoka nebyla konstruována.

Vodovodní řad jako takový je zatížen neustálým provozním tlakem. Poruchy jsou v tomto případě jiného charakteru. Pro odolávání vnitřnímu tlaku je zcela nezbytná volba vhodného materiálu, která koresponduje se všemi specifikacemi na daném místě. S tímto souvisí i možná poruchovost vodovodního řadu, která se týká například technologické nekázně při výstavbě a nedostatečné hloubky uložení potrubí. Celkovou poruchovost vodovodního řadu samozřejmě ovlivní i stáří potrubí, použitých tvarovek a armatur. Se stářím materiálu souvisí i možné vady, únava materiálu a ko-

overloading. Graph No. 1 illustrates the development of the annual number of accidents on water supply and sewerage networks during the last decade in Prague [5].

4. FAILURES OF SEWERAGE AND WATER SUPPLY NETWORKS

In general, failures on sewerage networks can be divided into several groups. The first big group is formed by failures on the sewerage networks which are frequently beyond their lifetime as far as the durability of the structural material is concerned, even though, in terms of capacity, they are still able to fully saturate all requirements for the flow rate. These are mainly sewers in centres of cities, often from the early era of development. Gradual weakening of the sewer profile is already caused by the transport of media. The influence of the longitudinal gradient of the sewer on gradual degradation is also significant. It is able to significantly accelerate the particular process due to the high flow rate. Of course, the influence of material is also significant.

Another group is formed by sewerage network which is beyond the edge of its capacity possibilities. A sewer which can be in a good structural condition is exposed to the pressure flow regime and subsequent deformations of the lining itself.

A combination of both above-mentioned failure possibilities which can occur during higher flow rates, namely during floods and downpours, can be especially problematic.

The third group of failures is formed by overloading of the sewer by external pressures. Most sewers run under roadways. Sewers are overloaded when the traffic volume grows. They respond by changes in their shape and by cracks. Similar failures due to overloading originate as a result of new development in immediate surroundings of existing sewers. They are caused by loading induced by construction equipment or the new construction itself. Water supply lines are also susceptible to these effects.

The fourth group of failures comprises changes in loading due to the loss of support by ground environment. Loose soil zones, even caverns, possibly develop due to various effects and processes in foundation ground. The sewer profile is subsequently loaded non-uniformly, large bending moments originate in the profile which the sewer was not designed for.

The water supply line itself is loaded by incessant operating pressure. The character of failures is different in this case. For withstanding the internal pressure it is absolutely necessary to choose a suitable material complying with all specifications at the particular location. Even the potential tendency of the water supply line to fail relating, for example, to the lack of technological discipline during the construction and insufficient depth of the pipeline is related to it. The overall tendency to fail is certainly affected by the age of the pipeline and fittings. The material age is also connected with possible defects, material fatigue and corrosion. A significant role is even played by absolute values of operating pressures, their differences and dynamics.

5. INSPECTION, ASSESSMENT OF FAILURES

As mentioned above, Prague sewerage network is largely made up of sewers built at the end of the 19th century, the technical condition of which is not always well known. For that reason there is a need for regular inspections to determine local conditions and the degree of damage. This problem is not just about sewers with older dates of construction. A similar problem can appear also at sewers built relatively recently, which do not have to be beyond their lifetime. Problems caused by the construction itself or by additional unfavourable effects of the surroundings can appear even there.

roze. Významnou roli hrají i absolutní hodnoty provozních tlaků, jejich rozdíly a dynamika.

5. PROHLÍDKY, VYHODNOCOVÁNÍ PORUCH

Jak bylo uvedeno výše, pražská stoková síť je ve značné míře tvořena kanalizacemi, které byly budovány na přelomu 19. a 20. století a jejich technický stav není vždy zcela dobře znám. Proto se zde objevuje nutnost provádění pravidelných prohlídek za účelem zjištění místních podmínek a stupně poškození. Tento problém se netýká pouze kanalizací se starším datem výstavby. Obdobný problém se může objevovat i u kanalizací vybudovaných relativně nedávno, které nemusí být za hranicí životnosti, ale mohou se zde objevovat problémy způsobené samotnou výstavbou nebo dodatečnými nepříznivými vlivy okolí.

Významným impulzem pro realizaci pravidelných prohlídek byla havárie na kanalizační stoce pod ulicí Trojská v Praze 8 v 90. letech 20. století. Jedná se o kanalizační stoku vystavěnou ve vejčitém profilu šířky 1000 mm a výšky 1750 mm s velkým podélným sklonem, který se pohybuje kolem hodnoty 10 %. Kanalizace byla vybudována ve velmi nepříznivých geologických a hydrogeologických podmínkách, a to na styku jílovitých šáreckých břidlic a skaleckých křemenců. Horniny skalního podloží jsou překryty vrstvou písčitojílovité hlíny v mocnosti 4–8 m. V trase ražby stoky skalní podloží lokálně přecházelo do větší hloubky a stoka byla ražena i v prostředí zeminovém. První známkou havárie byl propad vozovky o průměru cca 17 m v ulici Trojská v těsné blízkosti tramvajové zastávky. Během průchozích prohlídek byly odhaleny významné kaverny se zcela chybějící dvouplášťovou obezdívkou stoky. Zároveň zde byl velký potenciál rozvoje poruchy směrem k terénu a ohrožení provozu v ulici Trojská. Navazující geofyzikální průzkum odhalil další přítomnost kaveren a anomálních zón. Jiným příkladem z nedávné doby byla havárie kanalizačního řadu ve vejčitém profilu šířky 800 mm a výšky 1430 mm v ulici Vysočanská, kde došlo zároveň k propadu vozovky nad zmíněnou kanalizací (obr. 1). Bezprostředně po této události byly zahájeny průzkumné práce, které měly za cíl stanovit rozsah oslabeného prostředí pod vozovkou a posouzení stavebně-technického stavu kanalizačního sběrače. V souvislosti s detekovanými anomáliemi byl zároveň proveden kamerový průzkum přilehlých dešťových vpustí. Vzhledem k vysoké dopravní intenzitě a možnému vlivu klimatických podmínek, které by měly za důsledek negativní vliv na stabilitu kanalizační stoky a jejího okolí, byla urychleně po zjištění havárie zahájena sanace.

Odlíšný postup při vyhodnocování poruch platí v případě vodovodních řadů. Z principu jejich fungování zde není možné jednodu-



Obr. 1 Propad vozovky při havárii kanalizace v ulici Vysočanská
Fig. 1 Sinkhole in roadway at the accident on sewer in Vysočanská Street

A major impulse for implementation of regular inspections was the accident on the trunk sewer under Trojská Street in Prague 8 in the 1990s. It was a sewer with an egg-shaped cross-section, 1000mm wide and 1750m high, with large longitudinal gradient the value of which hovered around 10%. The sewer was built in very unfavourable geological and hydrogeological conditions, at interface between clayey Šárka shale and Skalec quartzite. The bedrock is overlaid by a 4–8m thick layer of sandy-clayey loam. The bedrock on the sewer route locally passed to greater depth and the sewer tunnel was driven also through soil environment. The first sign of the accident was a sinkhole in the roadway ca 17m in diameter in Trojská Street, in close proximity to the tram stop. Significant caverns with completely missing double shell lining of the sewer were revealed during inspections conducted by walking through the tube. At the same time, there was a great potential for development of the failure toward the terrain surface, thus jeopardising traffic in Trojská Street. A follow-up geophysical survey revealed the presence of other caverns and anomalous zones. Another example was the recent accident of the sewer with an egg-shaped profile 800mm wide and 1430mm high in Vysočanská Street, where a sinkhole developed above the sewer (see Fig. 1).

Survey operations aimed at determining the scope of the weakened environment under the roadway and assessing the structural condition of the trunk sewer commenced immediately after the event. A camera survey of adjacent curb inlets was conducted at the same time, in connection with the detected anomalies. Taking into consideration the high traffic volume and the possible influence of climatic conditions which would have resulted into a negative impact on the stability of the sewer, rehabilitation operations started quickly after the accident was detected.

A different failure assessment procedure is applicable to water mains. It follows from the principle of their functioning that it is not possible to conduct inspection of the pipeline and for that reason the technical condition of pipes is assessed on the basis of failure rates specified by the number of failures related to the pipeline length unit and the year. Here the dependence of failure rate on the age of the pipeline is not entirely valid.

The overall structural condition of the utility network is assessed by operators and administrators of sewerage and water supply networks. With respect to the investment plan, risk sections of networks can be incorporated into planned reconstruction and rehabilitation or, if the technical condition already significantly jeopardises the stability and near surroundings, they are incorporated into the emergency plan.

6. FAILURES OF SEWERAGE FROM OPERATIONAL PERSPECTIVE

For prediction of potential possibilities of accidents on sewerage network it is necessary to understand the mechanism of their origination and the overall effect of the underground structure. In an ideal case, the sewer profile is closed and completely hemmed by the surrounding environment. Due to the effect of ground environment and vertical loading, pressure stresses originate for the effects of which the underground structures are designed. Each disturbance of this equilibrium can result into a change in the distribution of forces and possibility of origination of other than pressure forces. This fact is very complicated by the fact that the structure is underground, where it is impossible to determine all properties of the ground massif in advance with sufficient certainty. Surrounding environment can be inherently very variable and, to certain extent, also unpredictable. This, of course, has a great influence on the appropriate interpretation of the possible development of the failures which can cause accidents.

še provést prohlídku potrubí, a tak je technický stav potrubí posuzován na základě poruchovosti, která udává počet poruch vztažený na jednotku délky potrubí a rok. Zde ne zcela platí závislost míry poruch na stáří vodovodního potrubí.

Celkový stavebně-technický stav inženýrské sítě je posuzován provozovatelem a správcem stokové a vodovodní sítě. S ohledem na investiční plán mohou být rizikové úseky sítě zahrnuty do plánované obnovy a sanace, nebo pokud již technický stav významně ohrožuje její stabilitu a blízké okolí, jsou zařazeny do plánu havarijního zabezpečení.

6. PORUCHY KANALIZACE Z PROVOZNIHO HLEDISKA

Pro predikci potenciálních možností havárie stokové sítě je nutné pochopit mechanismus jejich vzniku a celkové působení podzemní stavby. V ideálním případě je profil stoky uzavřen a zcela sevřen okolním prostředím. Dochází tak vlivem horninového prostředí a svislého zatížení ke vzniku tlakového namáhání, na jehož účinky jsou právě tyto podzemní stavby dimenzovány. Každé narušení této rovnováhy může mít za důsledek změnu rozložení sil a možnost vzniku jiných než tlakových sil. Tato skutečnost je velmi komplikována faktem, že se jedná o podzemní stavbu, kde nelze předem a s dostatečnou jistotou určit veškeré vlastnosti horninového masivu. Okolní prostředí může být ve své podstatě velmi proměnlivé a do jisté míry i nepředvídatelné. Tato skutečnost má samozřejmě i velký vliv na vhodnou interpretaci možného rozvoje poruch, které mohou způsobit havárie.

Rozvoj poškození je z velké části dlouhodobý vývoj, kdy postupně dochází k rozšiřování rozsahu daných poruch v profilu stoky i za jejím ostěním. Stoka, jako liniová stavba, má do jisté míry i schopnost roznášet zatížení v podélném směru a může tak bez větších problémů přenést dané napětí i mimo bodové poruchy. Z tohoto důvodu jsou mnohem rizikovější skupinou úsekové poruchy.

Jak zde již bylo zmíněno, velký vliv na samotný vznik poruch má přirozená degradace použitého materiálu, ať se jedná o profily zděné, nebo tvořené například betonovým prefabrikátem. Nejvíce zatížená část profilu je již z podstaty využití kanalizace místo, kde dochází ke styku konstrukce a transportovaného média, tedy v okolí žlábků (kynety). Postupně tak dochází k vymílání materiálu právě v této části profilu. V případě zděných stok se jedná o pojiwo cihelné vyzdívký (obr. 2), u betonových profilů jsou postupně

The development of damage is largely a long-term process, where the extent of the particular failures within the sewer profile as well as behind its lining gradually grows. The sewer as a linear structure has, to some extent, the ability to longitudinally distribute loads, thus to transfer particular stress even beyond point defects. For that reason sectional failures are a much more risky group.

As mentioned above, natural degradation of materials used has great influence on the development of failures, no matter whether the profiles are from masonry or are formed, for example, by pre-cast concrete products. The most loaded part of the cross-section is, by definition of the use of a sewer, the place where the structure is in contact with the medium being transported, i.e. in the vicinity of the flume (the cunette). In this way material is gradually scoured just in this part of the profile. In the case of masonry sewers it is a case of the binder of brick masonry (see Fig. 2); in concrete profiles, surfaces or covering layers are gradually damaged (see Fig. 3). Continuous reduction of brick lining thickness or the thickness of a concrete profile in the vicinity of the flume results into gradual damaging the bottom watertightness and intrusion of foul water under the structure (see Fig. 4). This effect carries with it numerous problems. From the structural point of view, material is further scoured, but this time behind the sewer lining and caverns originate behind it. The profile of the sewer is no more fully closed and, subsequently, it loses support at its bottom part, where the flume bottom drops in the direction of the weakened environment. Pressure forces are no more transferred by the whole profile and, at the same time, the sewer sides gradually constrict with the gradually growing subsidence (see Fig. 5). These facts are often complemented by origination of tensile cracks caused by the subsidence of the lower part of the profile itself.

The development of caverns is inherently also a natural process, which cannot be completely prevented, but this phenomenon can be enhanced by not completely correct behaviour in the sewerage network. Every linear underground structure behaves as drainage taking away water along its route. In this case, completely non-affectable loosening of the environment behind the sewer lining occurs. This, however, does not apply in places of deliberate point weakening (reducing the thickness) of the sewer lining. This is most frequently caused by connection of service pipes to the collector sewer under the roadway and not fully correct incorporation into the sewer itself (see Fig. 6). The environment behind the sewer lining



Obr. 2 Chybějící zdivo v blízkosti žlábků stoky
Fig. 2 Missing masonry in the vicinity of the sewer flume



Obr. 3 Degradace betonu stoky – především v její kyneti
Fig. 3 Degradation of the sewer concrete – first of all at its cunette



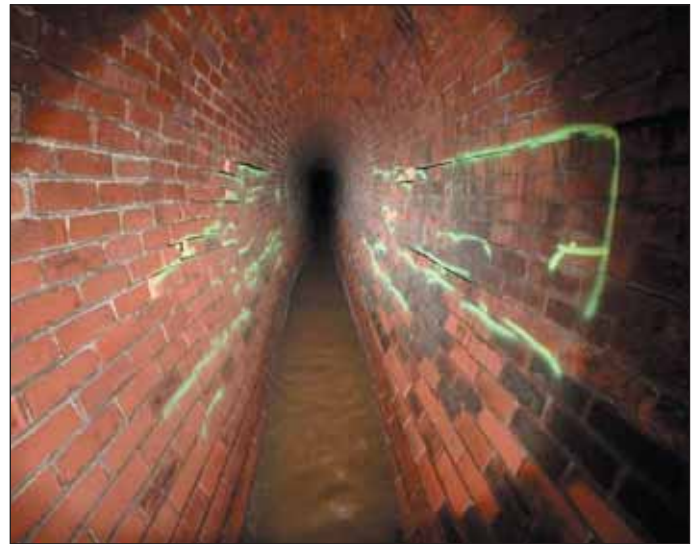
Obr. 4 Rozvolnění řad cihel nad žlábkem a vyplavování zeminového materiálu zpoza ostění stoky
Fig. 4 Loosening of a row of bricks above the flume and washing out soil material from behind the sewer lining

rozrušování povrchové, případně krycí vrstvy (obr. 3). Soustavné oslabování cihelné vyzdívky, případně betonového profilu v okolí žlábků, má za následek postupné prolamování vodotěsnosti dna a vnikání splaškové vody pod konstrukci (obr. 4). Toto působení s sebou nese celou řadu problémů. Ze stavebně-technického hlediska dochází k dalšímu vymílání materiálu, tentokrát však za ostěním stoky samotné a vznikají zde kaverny. Profil kanalizace již není zcela uzavřen a následně ztrácí oporu ve své spodní části, kde poté dochází k poklesu žlábků směrem k oslabenému prostředí. Tlakové síly již nejsou přenášeny celým profilem a zároveň s postupným poklesem se boky stoky postupně svírají (obr. 5). Tyto skutečnosti jsou často doplněny vznikem tahových trhlin, které jsou způsobeny samotným poklesem spodní části profilu stoky.

Vznik kaveren je ve své podstatě i přirozeným procesem, kterému nelze zcela zabránit, ale lze tento jev umocnit ne zcela správným počínáním ve stokové síti. Každá liniová podzemní stavba se chová jako drenáž, která odvádí vodu podél své trasy. V tomto případě dochází ke zcela neovlivnitelnému rozvolňování prostředí za ostěním stoky. Toto ovšem neplatí v místech zcela záměrného



Obr. 6 Nesprávné zaústění (přesazení hrdla) přípojky do stoky s obnažením horninového prostředí za ostěním
Fig. 6 Incorrect connection (socket overlapping) of a sewer service into the sewer with exposing the rock environment behind the lining



Obr. 5 Pokles žlábků stoky a vznik tahových trhlin v bocích stoky
Fig. 5 Drop of the sewer flume and development of tensile cracks in sewer side walls

can be completely open to corrosive effects of foul water. In case of unprofessional work on the connection of the service pipe to the sewer, water directly penetrates into surrounding soil and soil is washed out (see Fig. 7). Penetration of water from the ground environment into the sewer environment is a related defect. In case of water flowing into the sewer, the environment behind the lining can at the same time suffer from loosening. It may be a negative action of groundwater, as well as, for example, water from a damaged water main.

Another and not less serious possibility of breaking the total stability of the sewer is reaching the pressure flow regime, which can occur in the case of abruptly changed flow rate, for example in the case of torrential downpours or in the case of flow rates for which the capacity in a particular locality is already insufficient. Pressure flow regime is reached also in the case when the sewer profile is significantly reduced, for example, by installation of another utility network in it (see Fig. 8) or by total plugging of the sewer. If the structure has insufficient support by the surrounding environment, tensile stress can develop in the vault due to the pressure regime in



Obr. 7 Infiltrace vody z rubu obezdívky do stoky
Fig. 7 Water infiltration from the sewer extrados

bodového oslabení ostění stoky. Jedná se nejčastěji o napojení kanalizačních přípojek do uličního sběrače a jejich ne zcela vhodné zakomponování do stoky samotné (obr. 6). Prostředí za ostěním stoky v místech nesprávného napojení přípojky může být i zcela otevřeno agresivnímu působení odpadních vod. V případě neoborného provedení styku stoky a přípojky dochází přímo k pronikání vody do okolní zeminy a k jejímu vyplavování (obr. 7). Související poruchou je pronikání vody z horninového prostředí do stoky. V případě protékání vody do stoky může současně docházet k postupnému rozvolňování prostředí za jejím ostěním. Může se jednat o negativní působení podzemní vody, ale například i vody z havarovaného vodovodního řadu.

Další a neméně závažnou možností příčiny porušení celkové stability stoky je dosažení tlakového režimu proudění, ke kterému může docházet při náhlé změně průtoku, například v případě přívalových srážek, nebo při průtocích s již nedostačující kapacitou stoky pro danou lokalitu, také v případě, kdy je profil stoky výrazně snížen například vedením jiné inženýrské sítě (obr. 8), nebo prostým ucpaním stoky. Vlivem tlakového režimu ve stoce, pokud konstrukce stoky nemá dostatečnou oporu okolního prostředí, může dojít ke vzniku tahového namáhání klenby, nadzvednutí celého profilu stoky a jeho následné deformaci po opadnutí hladiny vody ve stoce (obr. 9). Současně dochází i vlivem tlakového režimu k zatékání vody do prostředí za stokou, které je tímto vymyláno.

Často se však objevují deformace, které přímo souvisejí i s oslabeným zeminovým či horninovým prostředím. Po deformaci, která vznikne tlakovým režimem ve stoce, původně uzavřený profil stoky zůstane neuzavřeným. V tomto případě pak vnitřní síly nejsou schopny se v místě nespojitosti profilu přenášet. Proto vlivem zemního tlaku dochází k postupnému svírání profilu a obezdívka samotná ztrácí stabilitu. Vzniká riziko havárie stoky s ohrožením její základní funkce.

Častým zdrojem poruch na stokové síti je navyšování svislého zatížení, které na klenbu stoky působí. Tento problém se víceméně netýká kanalizační sítě, která bývá poměrně hluboko uložena, ovšem v případě nízkého nadloží může mít tento jev velmi nepříznivé důsledky. Zvyšování míry zatížení je spjato například se zvyšováním intenzity dopravy na pozemních komunikacích, pod kterými stoky zpravidla vedou. Zděná klenba má sama o sobě velkou schopnost odolávat právě tlakovému zatížení. Problémem v pří-

the sewer, the whole sewer profile can be heaved and subsequently, after the water surface in the sewer falls, be deformed (see Fig. 9). At the same time water flows into the environment outside the sewer due to the pressure regime and the environment is scoured by its action.

But deformations directly associated also with the weakened soil or rock environment also often appear. After the deformation which originates due to the pressure regime inside the sewer, the originally closed sewer profile remains unclosed. In such the case the internal forces are not able to transfer themselves in the location of the profile discontinuity. For that reason, due to the ground pressure, the profile is gradually constricted and the lining itself loses stability. A risk of the sewer accident originates and its fundamental function is jeopardised.

A frequent source of failures on sewerage network lies in increasing the vertical loading acting on the sewer vault. This problem is more or less not related to sewerage network because it is usually placed relatively deep. But in case of low overburden this phenomenon may have very unfavourable consequences. Increasing the load rate is associated, for example, with increasing traffic volume on roads, under which sewers usually run. A masonry arch itself has an especially great ability to withstand pressure loading. A problem in the case of overloading is posed by originating horizontal forces acting on the sewer sides. In this case, even bending stress originates in addition to pressure stress and the masonry profile virtually cannot transfer it. The sewer geometry is gradually deformed until longitudinal cracks originate in the middle of the vault and the vault is subsequently destructed (see Fig. 10). Overloading of the sewer by loads acting from the road surface is hard to detect because first cracks originate on the external surface of pipes, which is not accessible.

7. GEOTECHNICAL INVESTIGATION AND GEOPHYSICAL SURVEY

Geotechnical investigation and geophysical survey on the Prague sewerage network is focused on localisation of risk places or risk sections of sewers. This investigation and survey are based on operator's requirements and annually covers roughly 8km of sewerage network in Prague or they may serve as detailed survey of the structural condition of the sewer where an emergency accident



Obr. 8 Zmenšení profilu stoky způsobené křížením s jinou inženýrskou sítí
Fig. 8 Reduction of the sewer profile caused by crossing with another network



Obr. 9 Příčný posun klenby stoky vlivem vnitřního přetlakového režimu ve stoce a následné svírání profilu
Fig. 9 Lateral shifting of the vault due to internal overpressure regime in the sewer and subsequent contraction of the profile

padě přetížení jsou však vznikající vodorovné síly, které působí na boky stoky a vzniká zde mimo tlakového namáhání i namáhání ohybové, které není schopen zděný profil prakticky přenést. Tvar stoky se tak postupně deformuje až do chvíle, kdy ve středu klenby vznikají podélné trhliny a posléze dojde k její destrukci (obr. 10). Přetížení stoky zatížením z komunikace se obtížně detekuje, protože první trhliny vznikají na vnějším líci, který není přístupný.

7. GEOTECHNICKÝ A GEOFYZIKÁLNÍ PRŮZKUM

Geotechnický a geofyzikální průzkum na pražské stokové síti je zaměřený na lokalizování rizikových míst případně rizikových úseků kanalizačních stok. Tento průzkum vychází z požadavku provozovatele a ročně pokrývá zhruba 8 km stokové sítě v Praze, případně může sloužit jako detailní průzkum stavebního stavu stoky, kde byla během pravidelné inspekce provozovatele zjištěna havarijní závada a je dále třeba určit rozsah poruch ohrožujících stabilitu stokové sítě. Výstupy z průzkumu slouží jako vstupní údaje pro návrh vhodného způsobu sanace.

Úkolem průzkumu je posouzení stavu zeminového či horninového prostředí v bezprostředním okolí kanalizační stoky a nad stokou do hloubky odpovídající úrovni založení stoky, vyhledání nehomogenních, rozvolněných a oslabených zón včetně případných dutin. Součástí průzkumu je dokumentace stavebně-technického stavu průchozích případně neprůchozích úseků stok a dalších kanalizačních objektů na stoce. Zároveň je geodeticky ověřována skutečná poloha inženýrské sítě, která se může od mapového podkladu provozovatele významně odchýlovat.

Základním nosným kamenem geotechnického průzkumu je podrobná pasportizace inženýrské sítě, která je podle možnosti přístupu dělena na prohlídky průchozích profilů a kamerové prohlídky trubních řadů. Na základě provedené pasportizace jsou veškeré dokumentované poruchy klasifikovány z hlediska jejich závažnosti a je určena jejich poloha na obvodu profilu pomocí analogického odkazu na hodinový ciferník a poloha v podélném směru, která je dána vzdáleností mezi revizními nebo vstupními šachtami. Tato část průzkumných prací je většinou doplněna o geofyzikální průzkum.

Jak již bylo zmíněno, dobrý stav zeminového či horninového prostředí v bezprostředním okolí stoky je nezbytný pro celkové spolupůsobení s její konstrukcí. Situace je ztížena samotným fak-



Obr. 10 Trhliny v klenbě způsobené nadměrným zatěžováním nadloží stoky
Fig. 10 Cracks in the vault caused by the action of excessive loading on the sewer overburden

was identified during regular inspection by the operator and it is further necessary to determine the extent of failures jeopardising the sewerage network stability. Investigation outputs serve as input data for the design for the rehabilitation technique.

The task of the investigation is to assess the condition of the soil or rock environment in the immediate surroundings of the sewer and above the sewer up to the level corresponding to the sewer foundation, to search for inhomogeneous, loosened zones, including any cavities. Documentation of the structural condition of sewer sections passable for persons or not passable for persons and other sewerage structures on the sewer are parts of the investigation. At the same time the actual location of the utility network is verified by surveyors. The location may significantly deviate from the map base used by the operator.

The basic cornerstone of geotechnical investigation is detailed condition survey of utility network, which is, depending on the possibility of access, divided into inspections of profiles passable for pedestrians and camera inspections of tubular lines. All documented defects are categorised into classes on the basis of the completed condition survey according to their severity. Their position on the profile circumference is determined by means of an analogical reference to a clock face and the location in the longitudinal direction, which is determined by the distance between revision and entrance shafts (manholes). This part of investigation is mostly complemented by geophysical survey.

As mentioned above, good condition of soil or rock environment in the immediate surroundings of the sewer is necessary for the overall interaction with the structure. The situation is made more difficult by the very fact that it is not possible to simply look behind the lining. Even various non-destructive geophysical methods capable of relatively reliably revealing the loose environment are used.

Ground Penetrating Radar (GPR) measurement is based on the principle of emitting high-frequency electromagnetic waves into the soil or rock environment and monitoring of the time behaviour of passing through and reflected waves in radar sections originating by gradual shifting of the system of transmitting and receiving antennas along individual profiles. Anomalies of the type of free or filled with water voids, metal objects, water-bearing or strongly clayey material etc. can be determined using GPR measurements. Direct verification of loosened environment based on GPR measurement is conducted by boreholes through the sewer lining.

GPR measurements are conducted both from the sewer and from the terrain surface. On the surface, the GPR measurement is often complemented by other geophysical methods, mainly by microgravity survey. Microgravity survey of gravitational acceleration at a given point and time helps to locate places signalling loss of mass. With respect to the accuracy of this method it is possible to determine also the volume of the lost material or the loosened material in the surroundings of the sewerage or water supply network. In addition, it is possible to use penetration sounding where inhomogeneities in the overburden and surroundings of the utility network being monitored are detected using rods driven into the soil and measuring the penetration resistance of the sounding rod.

Development of geological search of the particular area proposed for the prospective construction is very appropriate within the framework of the investigation for determination of the assumed behaviour of the soil or rock massif and determination of geotechnical conditions. The search is in this case bound to assessing archive data available from previously carried out boreholes and geological maps. The data can be further refined on the basis of additional requirements. This step is important at the moment where the sewer alignment runs through varied and changing geological structure and it is possible to expect, for example, significant tectonic faults.

tem, že za ostění stoky nelze jednoduše nahlédnout. Pro tyto účely jsou využity i různé nedestruktivní geofyzikální metody, které mohou rozvolněné prostředí relativně spolehlivě odhalit.

Georadarové měření je založeno na principu vysílání vysokofrekvenčního elektromagnetického vlnění do zemního, případně horninového prostředí, a sledování časového průběhu procházejících a odražených vln v radarových řezech, které vznikají postupným posunem systému vysílací a přijímací antény podél jednotlivých profilů. Za pomoci georadarového měření lze určit anomálie typu volné nebo zvodnělé dutiny, kovové objekty, zvodnělý nebo silně jílovitý materiál apod. Pro přímé ověření rozvolněného prostředí na základě georadarového měření jsou prováděny vrty skrz ostění stoky.

Georadarové měření je prováděno ze stoky i z povrchu. Na povrchu bývá radarové měření často doplňováno dalšími geofyzikálními metodami, zejména mikrogravimetrií. Mikrogravimetrické měření tíhového zrychlení v daném bodě a čase pomáhá lokalizovat místa s úbytkem hmot. Vzhledem k přesnosti této metody lze stanovit i množství chybějícího materiálu rozvolněného prostředí v okolí sledované kanalizační nebo vodovodní sítě. Dále lze využít penetrační sondování zeminového prostředí, kdy jsou za pomoci zaráženého součty a měřeného penetračního odporu sondy detekovány nehomogenity v nadloží a okolí sledované inženýrské sítě.

Pro určení předpokládaného chování zeminového či horninového masivu a určení geotechnických podmínek je velmi vhodné v rámci průzkumných prací nejprve zpracovat geologickou rešerši daného území pro případnou výstavbu. Zpracovávání je v tomto případě vázáno na vyhodnocení dostupných archivních údajů z dříve provedených vrtů a z geologických map. Tyto údaje mohou být na základě dalších požadavků dále upřesňovány. Tento krok je důležitý ve chvíli, kdy trasa kanalizace vede pestrou a proměnlivou geologickou stavbou a lze zde očekávat například významné tektonické poruchy.

8. UŽITÍ METOD PRŮZKUMU A MONITORINGU PŘI HAVÁRII NA VODOVODNÍ A KANALIZAČNÍ SÍTI

Každá havárie na stokové nebo vodovodní síti má specifický průběh v závislosti na rozsahu poškození a míře ovlivnění okolních objektů a omezení chodu běžného života v zájmové lokalitě. Obecně lze sled událostí z pohledu prací při havárii rozdělit na následující úkony:

- zajištění bezpečnosti okolí zjištěné havárie – uzavření vodovodních řadů, převedení splašků mimo havarovanou část stoky (je-li to z provozních důvodů možné), zastavení provozu na komunikacích, oplocení míst havárie, atd.;
- včasné vymezení rozsahu poškození a zóny ovlivnění, předání výsledků ke stanovení postupu opravy;
- použití souboru vhodných metod pro sledování vlivů havárie na okolí, vlivů stavebních prací na havárii dotčené objekty, nastavením procesů včasného varování a průběžné vyhodnocování dat měření se zástupcem provozovatele, projektantem a zhotovitelem opravy;
- zhodnocení stability díla a zájmového okolí, ukončení plnění služeb zprávou z měření.

Vymezení rozsahu poškození je třeba provést po zjištění vzniku havárie co nejdříve. V blízkosti havárie je mimo vizuální dokumentace proveden soubor vhodných průzkumných metod jako například plošná georadarová měření, mikrogravimetrické měření, penetrační sondování za účelem určení skutečného rozsahu narušeného zemního prostředí v okolí havarované inženýrské sítě, které nemusí být pouhým okem patrné.

Vhodné metody sledování havárie a blízkého okolí v zóně ovlivnění vycházejí ze souboru observačních metod geotechnického

8. USE OF SURVEY METHODS AND MONITORING IN CASE OF EMERGENCY ON WATER SUPPLY AND SEWERAGE NETWORK

Each emergency on sewerage of water supply network has a specific course depending on the extent of damage and the degree of affection of surrounding buildings and restriction of the routine life in the locality of interest. In general, the sequence of events viewed from the aspect of the operations during the emergency can be divided into the following operations:

- securing safety of the neighbourhood of the emergency event – closing water mains, diverting foul water outside the damaged part of the sewer (if it is possible for operational reasons), stopping traffic on roads, fencing the emergency locations etc.;
- timely definition of the scope of damage and the affected zone, forwarding the results to determine the repair procedure;
- application of a set of methods appropriate for monitoring of the emergency impacts on the surroundings, monitoring of effects of construction operations on structures affected by the emergency, setting the processes of early warning and continuous assessing of measurement data together with representatives of the operator, designer and contractor for the repair;
- assessment of the stability of the structure and the area of interest, termination of performing services by means of a measurement report.

Determination of the extent of the damage has to be carried out as early after the origination of the damage as possible. A package of appropriate investigation and survey methods, for example areal GRP measurements, microgravity measurements, penetration sounding into the disturbed soil in the surroundings of the damaged utility network environment are carried out to determine damage which does not have to be visible to the naked eye.

Methods suitable for monitoring the accident and its close surroundings in the affected zone are based on the set of geotechnical monitoring observational methods which is today known rather by its comprehensive use in underground construction and in the application of modern tunnelling methods, for example the New Austrian Tunnelling Method.

It is first of all necessary to focus on monitoring of possible manifestations of the accident, such as deformations of terrain surface and buildings in close proximity to the accident itself, often with daily repeated measurements. For this purpose it is advisable to use a network of stabilised levelling points for monitoring of settlement in combination with monitoring of the development of the width of cracks in load-carrying structures of buildings and monitoring of tilting and dimensional stability of structural parts of interest. On the basis of capturing and prediction of negative trends and impact of deformations on buildings in the vicinity, it is possible to effectively proceed to measures in the meaning of reinforcing openings in selected structures, reinforcing of parts of damaged buildings, immediate underpinning of foundations of buildings, closing or restricting traffic on roads in non-stabilised settlement zones and in this way to prevent other damage to buildings in the accident surroundings, in extreme cases even to prevent losses of human lives.

It is advisable in the course of initial operations to document the structural condition or the parts of selected buildings, it means to carry out a structural condition survey, so that the condition of damaged buildings or condition of the buildings which will be affected by the method chosen for the rehabilitation is captured.

It is advisable to use some of monitoring information systems accessible on line through a web interface for rapid transmission of information and results of measurements to authorised persons. Authorised persons can, owing to the applied early warning system, make immediate decisions on prospective measures and selection of the appropriate procedure of repair.

monitoringu, který je v dnešní době znám spíše svým komplexním využitím při výstavbě podzemních děl a při použití moderních tunelovacích metod, například Nové rakouské tunelovací metody.

Nejprve je třeba zaměřit pozornost na sledování možných projevů havárie, jako je sedání a deformace povrchů a objektů v blízkém okolí havárie samotné, často s denním opakováním prováděných měření. Pro tento účel je vhodné použít síť stabilizovaných nivelačních bodů pro sledování poklesů v kombinaci se sledováním rozvoje šířky stávajících trhlin v nosných konstrukcích objektů a sledování náklonů a tvarové stálosti zájmových částí konstrukcí. Na základě zachycení a predikce negativního trendu poklesů a vlivu deformací na okolní objekty lze efektivně přistoupit k opatřením ve smyslu ztužení otvorů vybraných konstrukcí, ztužení částí narušených objektů, okamžité podchycení základů objektů, uzavření nebo omezení dopravy na komunikacích v nestabilizované poklesové zóně, a tím předejít dalším škodám na objektech v okolí havárie, v krajním případě i předejít ztrátě lidských životů.

V průběhu prvotních úkonů je vhodné provést i dokumentaci stavebně-technického stavu vybraných objektů nebo jejich částí, tedy pasportizaci, tak aby byl prokazatelně zachycen stav poškozených objektů, nebo stav objektů, které budou ovlivněny zvolenou metodou sanace havárie.

Pro rychlý přenos informací a výsledků měření k oprávněným osobám je vhodné využívat některý z informačních systémů monitoringu přístupný online přes webové rozhraní. Oprávněné osoby mohou díky aplikovanému systému včasného varování z informačního systému monitoringu činit okamžitá rozhodnutí o případných opatřeních a volbě vhodného způsobu opravy.

Pro sledování stavebních prací spojených se sanací havárie jsou dále využívány a doplněny body geotechnického monitoringu použité pro určení prvotních vlivů havárie na okolí, ale zpravidla již nejsou prováděna průběžná měření s četností v řádu jednotek dnů. Pokud však vývoj negativních účinků na okolí havárie neustává ani během sanace havárie, lze naopak pro vybrané metodiky geotechnického monitoringu použít systém měření s kontinuálním odečtem dat s prakticky okamžitým zobrazením na webovém portálu informačního systému monitoringu. V případě, že sanační zásah do poškozené konstrukce stoky zahrnuje i úpravy vlastností prostředí za jejím ostěním, např. výplňovou nebo nízkotlakou injektáží, umožňuje georadarová metoda provedení kontroly účinnosti těchto zásahů, kontrolu vyplnění dutin nebo zpevnění horninového masivu a směřovat případný doplňkový sanační zásah tak, aby účinnost opravy byla dlouhodobá a stabilní.

Ukončení geotechnického monitoringu po dokončení opravy je možné pouze v případě, jsou-li sledované poklesy a deformace ustáleny.

Samotný geotechnický monitoring lze využít i v případě požadavku na sledování vybraných úseků rizikových stok, jejichž stavební stav nedosahuje kritéria pro zařazení do plánu sanací, ale je zde velký potenciál pro dynamický rozvoj poruch.

9. PŘÍKLAD – HAVÁRIE DEŠŤOVÉ KANALIZACE V PRAZE

Při běžné prohlídce prováděné v květnu roku 2018 provozovatelem stokové sítě v Praze, společností Pražské vodovody a kanalizace, a.s., byly odhaleny vážné stavební závady s možným havarijním dopadem. Stoka vede pod železobetonovou pozemní stavbou a pod ochrannou betonovou konstrukcí, která tento objekt podchází. V návaznosti na výsledky kamerové prohlídky byl společností INSET s.r.o. prováděn podrobný průzkum kanalizační stoky i v navazujících úsecích. Cílem průzkumných prací bylo prověřit stav zemního prostředí v okolí trasy kanalizační stoky. K tomuto

Monitoring of construction operations connected with the rehabilitation is carried out by application of geotechnical monitoring points used for determination of initial effects of the accident on surroundings, but continuous measurements with the frequency in the order of single days are no more carried out. On the contrary, if the development of negative effects on the accident surroundings does not cease even during rehabilitation of the accident, it is possible for selected methodologies of geotechnical monitoring to use a measurement system with continual reading of data with virtually immediate presentation on the web portal of the monitoring information system. In the event that the corrective intervention into the damaged sewer structure comprises even improvement of properties of the environment behind the lining, e.g. back grouting or low-pressure grouting, the GPR method allows for checking on effectiveness of the interventions, checking on filling of cavities or strengthening of the rock massif and focusing a prospective supplementary intervention to ensure that that effectiveness of the repair is long-term and stable.

The termination of geotechnical monitoring is possible only when the settlement values and deformations being monitored are stabilised.

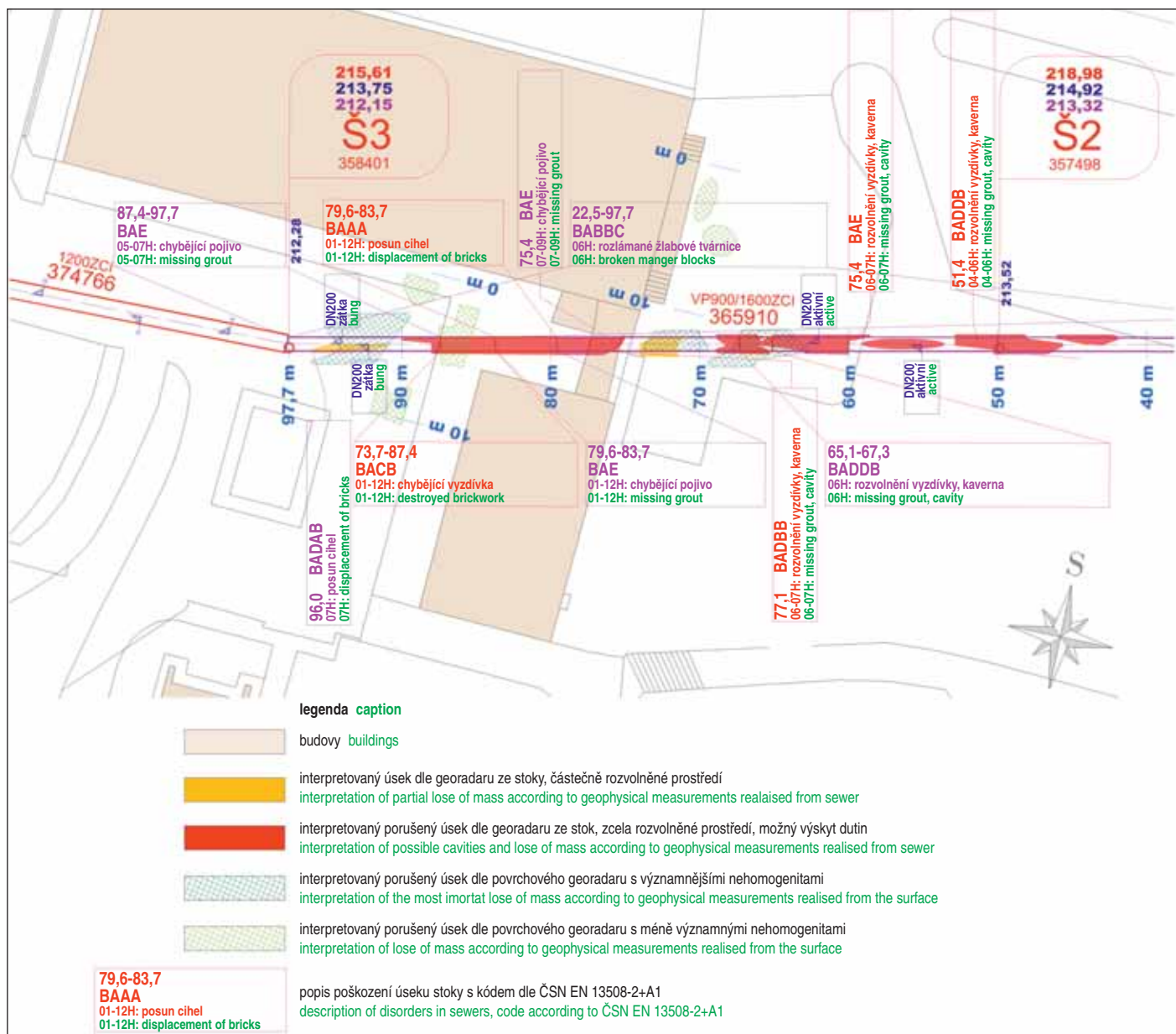
The geotechnical monitoring itself can be used even in the case that it is required to monitor selected sections of risk sewers, the structural condition of which does not reach the criteria for incorporation into the rehabilitation plan, but there is great potential for dynamic development of defects.

9. EXAMPLE – COLLAPSE OF STORM SEWER IN PRAGUE

Serious structural defects with a possible accidental impact were revealed during a routine inspection in May 2018 by the operator of the sewerage network in Prague, the company of Pražské Vodovody a Kanalizace, a.s. (Prague Water Supply and Sewerage Company). The sewer runs under a reinforced concrete underground structure and under a protective concrete structure passing under this structure. Detailed survey of the sewer and the adjoining sections was conducted as a follow-up of the results of the camera inspection carried out by the company of INSET s.r.o. The objective of the survey operations was to verify the condition of soil environment surrounding the sewer. Non-destructive geophysical methods were used for this purpose to inspect the sewer from the inside and from the surface above the sewerage line. The main emphasis was placed on finding sections with weakened soil and presence of caverns or smaller cavities in the vicinity.



Obr. 11 Porušení celistvosti stoky vedené v betonovém kanálu
Fig. 11 Broken integrity of a sewer running inside a concrete channel



Obr. 12 Výřez situace průzkumných prací se zakreslením poškození a interpretační schéma

Fig. 12 Cutout from a map of survey operations with the damage drawn in it and an interpretaion schéma

účelu byly využity nedestruktivní geofyzikální metody, které byly realizovány ze stoky i z povrchu nad vedením kanalizace. Hlavní důraz byl kladen na vyhledání úseků oslabení zemin a přítomnost kaveren či menších dutin v jejich blízkosti.

Nejzávažnější poruchou, která byla klasifikována jako havarijný stav, byla celková destrukce cihlové obezdívky a odhalení betonového kanálu, ve kterém byla stoka vedena (obr. 11). Prostor mezi ostěním stoky a betonovou chodbou bylo zcela nezaplněno. V rámci průzkumu byla dále označena místa, která vykazovala značný potenciál pro rozvoj k další destrukci cihlové obezdívky stoky samotné. Příčina havárie byla pravděpodobně kombinací několika mechanismů, které byly popsány výše. Vlivem postupné degradace docházelo k oslabování cihelného zdiva v blízkosti kynety, postupnému rozvolňování a tvorbě kaveren. V tomto případě tak dále docházelo k neustálému drcení žlábkových tvárníc a jejich posunu. Lokálně obnažené zeminové prostředí tak bylo postupně vymíláno. Velkou komplikací v tomto případě byl přítok balastních vod do stoky v místě havárie, který vyplavoval prostředí mezi betonovou konstrukcí a ostěním stoky. Takto oslabená stoka již nebyla schop-

The most serious defect, which was classified as an emergency state, was the total destruction of the brick lining and exposing of a concrete channel through which the sewer ran (see Fig. 11). The environment between the sewer lining and the concrete channel was completely without fill. Locations exhibiting significant potential for development leading to additional destruction of the brick lining of the sewer itself were marked within the framework of the survey. The cause of the accident probably lay in a combination of the several above-mentioned mechanisms. The brick masonry in the vicinity of the cunette got weaker, gradually loosened and caverns developed due to gradual degradation. In this case the continuous crushing of channel blocks and their movement continued. Thus the locally exposed soil environment was gradually scored. In this case, the inflow of ballast water into the sewer in the location of the accident was a great complication. It washed out the environment between the concrete structure and the sewer lining. The sewer weakened in this way was no more able to resist the pressure regime of the flow in the sewer. Complete destruction of the sewer happened probably at the moment of intense downpours.

na odolávat tlakovému režimu proudění ve stoce a k její kompletní destrukci došlo pravděpodobně ve chvíli intenzivních srážek.

Po vyhodnocení geotechnického a geofyzikálního průzkumu (obr. 12) byl projektantem navržen postup sanace kanalizační stoky v místě havárie i přilehlých úsecích. Bezprostředně po zjištění havarijního stavu byla stoka provizorně zajištěna stříkaným betonem a byla monitorována její tvarová stálost prostřednictvím měření deformací ostění stoky (konvergenčního měření). Návrh finální opravy stoky byl rozdělen do několika částí. V okolí objektu nadzemní zástavby, pod kterým stoka podchází, byla navržena její kompletní nová ražba a nová obezdívka z cihelného zdiva. V navazujících úsecích byla provedena výměna žlábků, oprava spárování zdiva a zajištění prostředí za ostěním stoky pomocí nízkotlaké injektáže. Současně byl prováděn geotechnický monitoring, jehož cílem bylo zejména určit vliv stavební činnosti na objekt nadzemní zástavby, pod kterou byla kanalizační stoka sanována.

10. ZÁVĚR

Kanalizační a vodovodní síť je třeba neustále udržovat a obnovovat. Soubor průzkumných prací se zaměřením na zjištění stavebně-technického stavu této sítě a na stav zeminového nebo horninového prostředí v okolí stok pomáhá přesně lokalizovat rizikové úseky kanalizací a je vhodným podkladem pro návrh sanace. V případě mimořádné události na kanalizaci nebo vodovodu lze – za pomoci vhodně zvolených průzkumných metod – určit skutečný rozsah havárie a vymežit možnou zónu ovlivnění. Výsledky průzkumných prací jsou dále využívány pro návrh sanace. Rychlým nasazením metod geotechnického monitoringu v okolí mimořádné události spolu s nastavením procesů včasného varování za pomoci webového informačního systému monitoringu lze usměrňovat sanační práce tak, aby případné škody na okolních objektech byly co nejmenší. Soubor výsledků průzkumných a monitorovacích prací může dále sloužit jako podklad v případě řešení majetkoprávních sporů při řešení náhrad na havárii ovlivněných okolních objektech.

*Ing. BARBORA PAVELKOVÁ,
pavelkova.barbora@inset.com,
Ing. ZDENEK ŘEHÁK,
rehak.zdenek@inset.com, INSET s.r.o.*

Recenzoval Reviewed: Ing. Jan Frantl

After the assessment of the geotechnical investigation and geophysical survey (see Fig. 12) the designer proposed the procedure for rehabilitation of the sewer in the location of the accident and adjacent sections. Immediately after detecting the emergency condition, the sewer was temporarily stabilised by shotcrete and its dimensional stability was monitored by measuring deformations of the sewer lining (convergence measurements). The proposal for the final repair of the sewer was divided into several parts. Excavation of a completely new tunnel under the above-grade building which is passed under by the sewer and a new brick masonry lining was designed. In the following sections, the flume was repaired, the brick masonry was pointed and the environment behind the lining was stabilised by low-pressure grouting. At the same time, geotechnical monitoring was conducted with the objective first of all to determine the influence of construction activities on the above-ground building under which the sewer was being rehabilitated.

10. CONCLUSION

Sewerage and water supply networks have to be continuously maintained and renovated. The set of investigation and survey operations focused on determination of structural condition of the network and condition of the soil and rock environment in sewer surroundings helps to exactly locate risk sections of sewers and is an appropriate base for the proposal for rehabilitation. In the event of emergency on a sewer or water main, it is possible – using appropriately selected investigation and survey methods – to determine the actual extent of the accident and delimit the possible affected zone. Results of the investigation and survey operations are further used for the proposal for rehabilitation. It is possible by prompt application of geotechnical monitoring methods in the neighbourhood of the emergency event together with setting up early warning processes using the web monitoring information system to guide the rehabilitation operations so that the possible damage on neighbouring buildings is as small as possible. The package of results of survey and monitoring operations can further serve as a basis in the event of solving compensation of damage on neighbouring buildings affected by the accident.

*Ing. BARBORA PAVELKOVÁ,
pavelkova.barbora@inset.com,
Ing. ZDENEK ŘEHÁK,
rehak.zdenek@inset.com, INSET s.r.o.*

LITERATURA / REFERENCES

- [1] BRONCOVÁ, D. *Historie kanalizací: dějiny odvádění a čištění odpadních vod v Českých zemích*. Praha: Milpo media, 2002. Z historie průmyslu. ISBN 80-86098-25-7
- [2] *Odvádění a čištění odpadních vod. Pražské vodovody a kanalizace* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/o-spolecnosti/technicka-a-vyrobní-data/zakladní-informace/odvadení-a-cistení-odpadních-vod/>
- [3] *Výroba a dodávka vody. Pražské vodovody a kanalizace* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/o-spolecnosti/technicka-a-vyrobní-data/zakladní-informace/vyroba-a-dodavka-vody/>
- [4] RACLAVSKÝ, J. a kol. *Rekonstrukce vodohospodářských sítí (stud. opora)*. Brno: VUT v Brně, FAST, 2006. (CS)
- [5] Počet havárií na pražské vodovodní síti loni klesl, snížila se i doba přerušení dodávek pitné vody. *Pražské vodovody a kanalizace* [online]. 2020 [cit. 2020-02-24]. Dostupné z: <https://www.pvk.cz/aktuality/pocet-havarii-na-prazske-vodovodni-siti-loni-klesl-snizila-se-i-doba-preruseni-dodavek-pitne-vody/>
- [6] *Havárie kanalizačního sběrače Trojská: Příloha časopisu SOVAK*. Praha, 1997, (10)
- [7] PAVELKOVÁ, B., ŠIROKÝ, J. *Zaměření a monitoring při opravě dešťové výpusti, ul. Mochovská, P9. GTP a GFP průzkum dešťové výpusti v ul. Mochovská, úsek Š1 (214,66) / 357497 až Š3 (212,28) / 358401*. Praha. INSET s.r.o., 2018
- [8] BRONCOVÁ, D., JÁSEK, J. *Vodárenství v Čechách, na Moravě a ve Slezsku*. Praha: Milpo media, 2000. Z historie průmyslu. ISBN 80-86098-15-X
- [9] Městské standardy vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy. KANALIZAČNÍ ČÁST, VODÁRENSKÁ ČÁST, 2. aktualizace – leden 2014