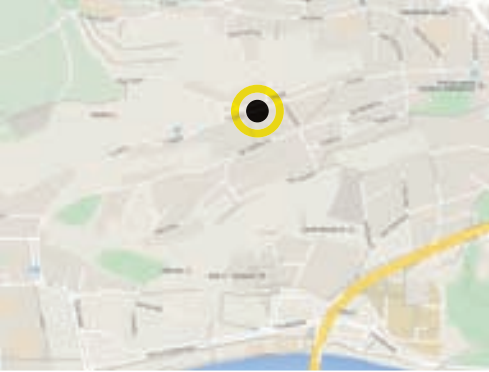




Havarie des Kanalisationssammlers

in der Trojská-Straße





Havarie des Kanalisationssammlers in der Trojská-Straße

Aus der Geschichte

Im Jahre 1939 wurde der Bau des ersten Teils des Troja-Sammlers beendet. Im Verlauf der Strecke durch die Trojská-Straße wurden damals 695 m des Eikanals Typ Prager Normal (100/175 cm) sowie 236 m des Kanals 80/144 cm mit Anschluss an den Hauptabwasserkanal E ausgebaut.

Die nachfolgende Etappe des Ausbaus der Sammler im Bereich der Trojská-Straße, die Jahre 1972 – 1975. In dieser Zeit entstand nämlich der Bedarf, aus dem Grunde des geplanten Siedlungsausbaus im Gebiet Kobylyš die Kapazität der Sammler zu erhöhen. Die ingenieurgeologische Voruntersuchung sah jedoch ziemlich schwierige Realisierungsbedingungen vor, außer anderem die Kanaltiefe von 4-6 m, in einigen Abschnitten bis zu 12 m.

Im Oktober 1971 erteilte das zuständige Bauamt die Baugenehmigung für das wasserwirtschaftliche Werk und im März 1972 wurde dann der Bau aufgenommen. Die tatsächlichen Bedingungen bei der Umsetzung des Baus übertrafen jedoch sämtliche pessimistische Erwartungen. Obwohl man durch Eintiefung der Strecke den Kontakt mit den wassergesättigten Talablagerungen vermied, wurde der enorme Zufluss von Grundwasser in den Stollen nicht nur zur Ursache der mühsamen Arbeit, sondern beeinflusste auch die Verschlechterung der Stabilität von Gesteinen sowie die Erhöhung des Drucks auf die Laibung. In einigen Abschnitten wurde der Vortrieb im Bezug auf Richtung den lokalen Bedingungen angepasst, abweichend vom Projekt. Es ist verständlich, dass unter solchen Bedingungen beträchtliche Überprofile entstanden, die jedoch offensichtlich nicht in allen Fällen ausreichend ausgefüllt worden sind, wodurch kein guter Kontakt der Laibung mit dem Gestein geschafft wurde. Bis Oktober 1975 wurden ca. 1,9 km der Kanäle ausgebaut, die hinsichtlich der Abmessungen vor allem mit dem Kanal 100/175 cm in einer Länge von 1.215 m sowie dem Kanal 120/200 cm in einer Länge von 364 m vertreten sind. Einen Bestandteil des Baus bildeten auch 33 Einsteigschächte, 27 davon auf gemauerten Kanälen. Das Gefälle des neu ausgebauten Troja-Sammlers beträgt in 54 % der Streckenlänge von 2,2 bis 5 %, in 27 % der Streckenlänge von 5 bis 6,5 % und in den restlichen 11 % der Länge erreicht es die Extremwerte von 9,1 bis 9,8 %. Im niedrigsten Teil des Sammlers betrug der entworfene Regenwasserdurchfluss 10,404 m³/sec.

Bautechnisch wurde der Sammler als gemauerter Kanal aus üblichen Kanalisationsziegeln ausgebaut, im Boden wurde er mit kreisförmigen Steinzeugsegmenten versehen, der Vortrieb wurde mit der Methode der Prager Balken ausgeführt.

Der Bau wurde im Juni 1976 abgenommen und nachfolgend in Betrieb gesetzt. Es ist wahr, dass der damals geplante Ausbau des Austrittsweges Trojská nicht verwirklicht wurde, so dass der überwiegende Teil des Sammlers mitsamt den Eintrittsschächten auf schwer zugänglichen Privatgrundstücken blieb. Vor allem diese Tatsache führte dazu, dass die Kontrollen des Bauzustands nur selten durchgeführt wurden, ungeachtet ihrer Schwierigkeit in Folge des gegebenen Gefälles und der Durchflüsse.

Havarie des Troja-Sammlers

Der Prozess der Havarie im ganzen Abschnitt des Sammlers verlief in einer sehr kurzen Zeit am Anfang Juli 1996. Ende Juni wurden bei der regelmäßigen Untersuchung des Regenüberlaufs in der Trojská-Straße Kanalisationsziegeln gefunden. Der nachfolgende Regen von hoher Intensität verhinderte jedoch die Untersuchung des Sammlers und war offenbar eine der maßgeblichen Ursachen der Havarie des Sammlers, die im Prager Kanalisationsnetz ohne Beispiel ist. Die erste Äußerung der Havarie war sehr dramatisch und schnell. In der Nähe der Straßenbahnstation, ca. 20 m von den Straßenbahnschienen, bildete sich am 4. 7. 1996 eine trichterförmige Vertiefung mit einem Durchmesser auf Geländeneiveau von ca. 16 m und einer Tiefe von ca. 12 m heraus, auf deren Boden Abwässer durchflossen. Die Konstruktion des Kanals wurde völlig zerstört und weggespült. Unmittelbar an diese Vertiefung (nachstehend als P1 bezeichnet) grenzte in Richtung der Strömung eine Kaverne mit einer Länge von ca. 10 m und Höhe bis 3 m.

Die äußeren Zeichen der Havarie führten jedoch weiter. Am 14. 7. 1996 kam es im Garten eines nahestehenden Einfamilienhauses Nr. 256 zur Kaminbildung im Hangenden des Kanals, was zur Entstehung der kreisförmigen Vertiefung P2 mit einem Durchmesser von 2,5 m führte. Diese Vertiefung hingte mit der Verwerfung des gesamten Seitenteils des Kanals eng zusammen.

Es folgte eine detaillierte Untersuchung des Sammlers mit den modernsten geotechnischen Untersuchungsmethoden mit dem Ziel, so ausführliche Informationen wie möglich nicht nur über den Umfang der Beschädigung des Sammlers selbst, sondern auch über den Zustand des Gesteinsmilieus hinter der Rückseite der Ausmauerung zu gewinnen. Das Ergebnis der Untersuchung bewies eindeutig die Richtigkeit dieses Vorgangs, denn es wurden weitere Kavernen hinter der Rückseite der Ausmauerung identifiziert, die sich bisher weder im Durchflussprofil des Sammlers noch auf der Geländeoberfläche gezeigt hatten. Wären diese Kavernen ungeachtet gelassen, könnten sie potentielle Ursache weiterer Störungen im Sammler mit allen oberirdischen Begleiterscheinungen werden.



Zur Feststellung des tatsächlichen Umfangs der Kanalbeschädigung wurde in mehreren Schritten Untersuchung des gesamten Kanals in der Trojská-Straße durchgeführt, und zwar einschließlich der Fotodokumentation und Lageaufnahme der Kavernen. Diese Untersuchung, die in sehr schwierigen Bedingungen der instabilen Kavernen durchgeführt wurde, gewährte die grundlegenden Informationen über Zustand, geologische Bedingungen, Stufe der Stabilität und weitere Parameter, die für den Entwurf der Projektionslösung der Stabilisierung des gewachsenen Gesteins sowie der zeitlichen Folge durch den Projektanten nötig waren.

Die Ausgaben der Untersuchungen wurden mit Prof. Ing. J. Barták, DrSc. von der Baufakultät ČVUT konsultiert, der an den Besichtigungen und Bewertungen der Stabilität einzelner Kavernen teilgenommen hatte.



Projektdokumentation

Unmittelbar nach Anfang der Havarie und nach der Durchführung der ersten lokalen Ermittlung wurde für die Erarbeitung der notwendigen Projektdokumentation die Projektions- und Ingenieurfirma Ingutis s.r.o. gewählt, und zwar sowohl für die Durchführung der Sicherungsarbeiten, als auch der Endlösung. Die Wahl der Firma erfolgte vor allem mit Bezug auf ihre reichen Erfahrungen bei der Projektierung einer ganzen Reihe von bedeutenden Ingenieurtiefbauten auf dem Gebiet der Hauptstadt Prag.

Die nachfolgend erarbeitete abschließende Projektdokumentation berücksichtigte das unterschiedliche Maß der Beschädigung des Sammlers, von völliger Abwesenheit der Sammlerabschnitte bis zum teilweisen Verschleiß des Ziegelmauerwerks in den oberen Abschnitten des Sammlers. Die Einstiegsbedingungen für die Erarbeitung der Projektdokumentation vonseiten des Investoren und Betreibers waren anspruchsvoll, denn sie forderten:

- die hydraulische Kapazität möglichst wenig zu beeinträchtigen
- den Bodenteil des Sammler so zu lösen, dass er den Auswirkungen der Abrasion sowie den hohen Durchflussgeschwindigkeiten langfristig widersteht
- einen vollkommenen Kontakt zwischen der Kanalrückseite und Gestein zu erzielen
- die Baukosten zu minimieren
- den Bau mindestens innerhalb von zwei Jahren zu realisieren

Bei der Wahl von Baumaterialien wurden bevorzugt:

- Konstruktionselemente aus Schmelzbasalt, deren Eignung für die Abwasserleitung auf anderen Bauten vom Betreiber praktisch geprüft wurde. Die Verwendung von Bodenschalen mit eiförmigem Profil laut Prager Normal, weil er gute Ergebnisse bezüglich der Haftfähigkeit der Rückfläche an ausgewählten Betonmischungen aufweist, zugleich wird die Anzahl und Länge der Fugen gegenüber dem Ziegelmauerwerk beträchtlich reduziert sowie eine hervorragende Abreibungsfestigkeit erzielt, wurde zur grundlegenden Voraussetzung der Durchführung von Reparaturen und Rekonstruktion des Sammlers in der ursprünglichen Strecke bei den gegebenen Gefälleverhältnissen
- hochwertige Kanalisationsziegel für das Sammlergewölbe
- leicht verarbeitbare Betonmischungen mit der vorgeschriebenen Festigkeit und Körnung, die eine vollkommene Ausführung, insbesondere im Bodenteil des Sammlers, sichern

Zur Sanierung des Sammlers entwarf der Projektant vier Basistechnologien:

(a) In den stark beschädigten Abschnitten und in den Abschnitten mit völliger Destruktion des Kanals Durchstoß des Kanals in der ehemaligen Strecke mit Beseitigung der restlichen Sammlerkonstruktion und nachfolgender Aufbau der neuen Konstruktion. Im Bodenteil die Bodenschalen aus Schmelzbasalt verlegen und anschließend in den Seitenteilen des Kanals an die Bodenschalen mit Verbund-Seitenziegeln anschließen, ebenfalls aus Schmelzbasalt. Trotz der ausreichenden Haftfähigkeit von Basalt am Beton wurde deren Verankerung im umliegenden Beton durch Bolzenanker vorgeschlagen. Der übrige Teil der Konstruktion wurde als klassischer gemauerter Kanal gelöst.

(b) In den Abschnitten, in denen es sich überwiegend um Beschädigung des Sammlerbodens handelte, entwarf das Projekt Herausbrechen des gesamten Sammlerbodens, Unterfangung des bestehenden Mauerwerkes und Ausbau des gesamten neuen Sammlerbodens, wieder mit Verwendung von Basaltbodenschalen und Seitenziegeln. Die grundlegende Voraussetzung für den Erfolg der vorgeschlagenen Technologie war eine vollkommene Ausfüllung des Raumes zwischen den Basaltstücken und dem Gestein mit Betonmischung von vorgeschriebener Körnung und Festigkeit.

(c) Die Abschnitte des Sammlers mit einem Durchflussprofil von 100/175 cm mit dem größten Gefälle von 5 bis 98 % wurden zur Sanierung mit der Technologie Kanal im Kanal vorgeschlagen. Diese Technologie besteht in Ausfütterung des bestehenden Kanals mit Bodenschalen und Segmenten aus Schmelzbasalt, die miteinander durch Schlösser verbunden sind, und zwar im gesamten Durchflussprofil. Zur Ausfüllung des Raumes zwischen den Basaltsegmenten und der bestehenden Kanalkonstruktion wurde Gussbeton und im Gewölbeteil Spritzbeton vorgeschlagen. Obwohl diese Technologie das Durchflussprofil verkleinert, wurde sie aufgrund einer entsprechenden hydraulischen Begutachtung vorgeschlagen. Man muss aber bemerken, dass aufgrund einer genauen Vermessung der Ausführung



des ursprünglichen Sammlers hinsichtlich der Höhe und Richtung die vorgeschlagene Technologie zurzeit neu bewertet wird, weil die erhebliche Anzahl von Formen der Basaltelemente, die auf die festgestellten Richtungsbögen des Sammlers zurückzuführen sind, würde diese Technologie unerträglich komplizieren.

(d) Bei den oberen Abschnitten des Sammlers, die einen üblichen Verschleiß, ggf. geringe Mängel aufweisen, wurde Ausbesserung vorgeschlagen. Die Ausbesserung besteht im Neuverfugen des Ziegelmauerwerkes nach dem Ausfräsen der Fugen und im Austausch der beschädigten Bodenschalen aus Steinzeug.

Realisierung des Baus

Zum Einbau der Basaltbodenschalen mit einer Tiefe von 595 mm und Breite von 888 mm und anschließend der Seitenziegeln aus Basalt mit einer Höhe von 380 mm war es notwendig, zuerst das Ziegelmauerwerk sowie den umliegenden Füllbeton einschließlich der Unterbodenplatte und Drainage herauszubereiten. Ein Vorgang in kurzen Abschnitten, in der Größenordnung von Metern, erwies sich als unakzeptabel sowohl hinsichtlich des oft wiederholten Wechsels von Arbeitsoperationen mit Transport von kleinen Mengen von Betonmischung, als auch hinsichtlich des gesamten zeitlichen Aufwands des ganzen Baus. Es wurde deshalb vorgeschlagen, die beibehaltenen Teile des Ziegelmauerwerkes mit metallenen L-Profilen 60/100 mm abzustützen, die mit Bolzen mit einer Länge von 800 - 1000 mm in der beibehaltenen Kanalkonstruktion verankert wurden, was auch durchgeführt wurde. Erst mit dieser Abstützung geschützt, begann man mit Abbrucharbeiten, jedoch unter gleichzeitigem Einbau von senkrechten Stahlrohrstempeln mit \varnothing 40 mm. Der Zeitabstand zwischen den Abbrucharbeiten und der Errichtung der neuen Drainage mit der neuen Unterbodenplatte in teilweisen Arbeitsabschnitten betrug max. 24 Stunden. Es folgte der Einbau der Basaltbodenschalen in den Beton, die Montage von Basalt-Seitenziegeln in die Leihbögen in Form des Kanalquerschnitts, Einbau der metallenen Anker – Schrauben M 20, um die Position der Basalt-Seitenziegeln und ihren Zusammenhalt mit dem umliegenden Beton zu sichern. In der letzten Phase wurde die Betonierung bis in die Höhe der oberen Kanten der Seitenziegel vollendet, es folgte Demontage von L-Profilen sowie Ausmauerung des restlichen Raums mit Kanalisationsziegeln.

Abschluss

Die Havarie des Sammlers im Viertel Troja war in der Geschichte der Existenz der Prager Kanalisation vereinzelt, und zwar sowohl hinsichtlich des Umfangs und der Bedeutung, als auch bezüglich des technischen und finanziellen Aufwands ihrer Liquidierung. Sämtliche Kosten, die mit ihrer Liquidierung, einschließlich der Projekt- und Untersuchungsarbeiten, zusammenhängen, überstiegen 120 Mio. CZK.

Der Initiierungsmechanismus der Havarie ist nicht ganz klar. Als wahrscheinlich erscheint entweder die Zugbeschädigung des gemauerten Kanals im Folge des inneren Überdrucks oder eine rasante Erosion in der Stelle des Mauerwerks mit lokaler niedriger Qualität, das sich bei sehr starken Durchflüssen, zu denen es in der Zeit der Entstehung der Havarie kam, plötzlich gelockert hat. In beiden Fällen beteiligten sich jedoch an der Entstehung der außerordentlich großen Havarie und ihrem weiteren Verlauf zweifellos auch die freien Räume hinter der Rückseite der Laibung, entweder durch Abwesenheit des Laibungsträgers bei der Beschädigung durch Überdruck oder in Form von „Taschen“, die nach dem ersten Aufbrechen der Laibung weitere zerstörende Erosion und Destruktion ermöglichten.

Nach der Entstehung der ersten großen Kaverne und Vertiefung, wo es durch den Kanal eine große Menge Material transportiert wurde, bildeten sich in den Seiten und im Boden des Kanals Schlaglöcher heraus, ggf. wiederholte sich der Ablauf Verstopfung – Druckaufbau – anschließendes Zerplatzen der Konstruktion und Herausbildung der Kaverne, wobei die Bewegung des ausgespül-

ten Gesteins in den oberen Teilen des Kanals den Verlauf der Destruktion erheblich beschleunigte.

Es gibt jedoch auch weitere Einflüsse, die sich an der Entstehung der Havarie mehr oder weniger beteiligen könnten:

- Situative Führung der Strecke des Sammlers in Einklang mit der Gebietsplanungsdokumentation ohne Rücksicht auf sehr ungünstige bestehende geologische und hydrogeologische lokale Bedingungen, auf die aber im Rahmen der geologischen Untersuchung aufmerksam gemacht wurde.
- Die Höhenentfaltung der Strecke, die der Geländemorphologie entspricht, und die daraus resultierende Zulassung der hohen Geschwindigkeit größerer Durchflüsse.
- Verwendung von üblichen Baumaterialien, die sich in Standardbedingungen des Prager Abwassernetzes bewiesen, waren jedoch für extreme Durchfluss- und Geschwindigkeitsverhältnisse nicht geeignet. Die Verwendung der gewöhnlichen Vortriebstechnologie und einer zeitweiligen Ausrüstung des Tiefbaus mit Belassung der Verschalungsbretter im Stollen auch nach der Ausmauerung des Kanals.
- Eine inkonsequente Ausfüllung der Überprofile, die in den gegebenen Bedingungen naturgemäß entstehen.
- Nichtausnutzung der Möglichkeit, die Verbindung des parallelen alten Sammlers mit dem neuen Sammler für die Zwecke der Revisionen im Rahmen des Baus auszubauen, wodurch eigentlich schon im Voraus die Möglichkeit ihrer gefahrlosen Durchführung eingeschränkt wurde.

Weil im Verlauf der nächsten zwei Jahre zwar kleinere, aber ähnliche Havarien mit Vertiefungen im Gelände und Destruktion des Kanals im Prager Abwassernetz vorkamen, die einen ähnlichen Ursprung wie die Havarie des Troja-Sammlers hatten, hat PKVT, Staatsbetrieb, folgende Maßnahmen getroffen und Grundsätze festgelegt, hat sie schrittweise realisiert und hat vor, diese in Zukunft bei Bauarbeiten am Prager Abwassernetz anzuwenden:

Bei der Projektvorbereitung der Kanalbauten des Prager Normals oder bei ihrer Rekonstruktion wird eine außerordentliche Aufmerksamkeit gewidmet:

- den Gefälle- und Geschwindigkeitsverhältnissen
- der Wahl von Baumaterialien mit Begünstigung von Basaltelementen, für die vom Hersteller Eutit s.r.o. und von PKVT, Staatsbetrieb, technische Dokumentation erarbeitet wurde, die einzelne dimensionale Kanalklassen umfasst
- allen Maßnahmen, die auf Ausführung des Bodenteils der Kanäle gerichtet sind und das Gefälle sowie Lockerung der Strossen bestimmen
- Verwendung der Aussteifung zur Erhöhung der Haftzugfestigkeit des Gewölbes für den Fall der Druckströmung

Um Liquidierung der Havarie haben sich diese Firmen und Institutionen verdient gemacht:

- Ingutis s.r.o.
- Inset s.r.o.
- Kankol s.r.o.
- ČVUT
- Eutit s.r.o.
- PKVT s.p.
- MHMP
- OBÚ Kladno

Im Autorenkollektiv waren:

- Prof. Ing. Jiří Barták, DrSc.
- Ing. Štěpán Moučka
- Ing. Ludvík Hegrлік
- Josef Pastor
- Ing. Jiří Šejnoha



EUTIT s.r.o.
Stará Voda 196
353 01 Mariánské Lázně
Czech Republic

ISO 9001

