

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA ZDRAVOTNÍHO A EKOLOGICKÉHO INŽENÝRSTVÍ



POUŽITÍ BEZVÝKOPOVÝCH TECHNOLOGIÍ PŘI VÝSTAVBĚ ODVODNĚNÍ TUNELU POHŮRKA

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Bc. JAN BRABEC

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Bohumil Šťastný, Ph.D.

Konzultant: Ing. Jiří Svoboda

Leden 2018



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Brabec Jméno: Jan Osobní číslo: 399100

Zadávací katedra: K144 - Katedra zdravotního a ekologického inženýrství

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Vodní hospodářství a vodní stavby

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Použití bezvýkopových technologií při výstavbě odvodnění tunelu Pohůrka

Název diplomové práce anglicky: The use of trenchless techniques for the construction of drainage of tunnel Pohůrka

Pokyny pro vypracování:

1- rešerše zadané problematiky, 2- obecný popis řešené problematiky, 3- zpracování podkladů, 4- praktické řešení dané problematiky, 5- vyhodnocení dané problematiky, 6- závěry

Seznam doporučené literatury:

Šrytr P. a kol.: Městské inženýrství (1) a (2), Praha, ACADEMIA, 1998

Klepsatel F., Raclavský J.: Bezvýkopová výstavba a obnova podzemního vedení. Jaga Group, Bratislava, 2007

SOVAK: Zásady pro využití bezvýkopových technologií v oboru vodovodů a kanalizací. Medim, Líbeznice, 2008

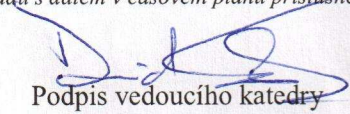
Jméno vedoucího diplomové práce: Doc. Ing. Bohumil Šťastný, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 2.10.2017

Termín odevzdání diplomové práce: 7.1.2018

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

9.10.2017

Datum převzetí zadání



Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem předloženou diplomovou prací vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne 7.1. 2018

.....

Jan Brabec

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Bohumilu Šťastnému, Ph.D., za jeho odborné vedení, cenné rady a za jeho trpělivý a vstřícný přístup. Další poděkování náleží Ing. Jiřímu Svobodovi za čas věnovaný konzultacím k problematice diplomové práce.

ABSTRAKT

Cílem této diplomové práce je detailní prozkoumání a následné vyhodnocení možných variant a subvariant bezvýkopových technologií při výstavbě odvodňovací stoky v lokalitě připravovaného úseku na dálnici D3. Z hlediska formy je tato práce rozdělena na čtyři hlavní kapitoly.

Teoretická část diplomové práce je rozdělena do dvou hlavních bloků. První blok je zaměřen na důkladné vyhledání informací o bezvýkopových technologiích pro výstavbu nových podzemních vedení. Jsou zde popsány v současnosti nejpoužívanější technologie, které se uplatňují nejen na českém trhu, ale i v zahraničí. V druhém bloku se čtenář dozví základní informace z oblasti stokování. Tento blok zahrnuje uvedení do dané problematiky, popisuje stokové systémy a soustavy, objekty na stokové síti, odvodňovací zařízení a také dimenzování těchto objektů.

V úvodu praktické části diplomové práce, která je dělena do pěti bloků, jsou stručně popsány údaje o stavbě. Ve druhém bloku je definován problém a jsou stanoveny cíle. V dalším bloku je tento problém řešen v podobě předložení různých technologických možností výstavby odvodňovací stoky na odvodnění severního předzářezu a části vlastního hloubeného tunelu Pohůrka na dálnici D3. V posledních dvou blocích jsou popsány vybrané varianty po stránce technické, přesněji řečeno bezvýkopová řešení v podobě ruční ražby a mikrotunelování.

Ve třetí kapitole jsou zhodnoceny navržené varianty po stránce technické a ekonomické. V poslední kapitole jsou stanoveny závěry a doporučení vycházející z diplomové práce. Teoretická i praktická část diplomové práce potvrzuje fakt, že nasazení bezvýkopových technologií je v mnohých případech levnější, časově výhodnější, ekologičtější a někdy i jediné možné řešení.

Klíčová slova:

bezvýkopové technologie
mikrotunelování
výstavba stoky
inženýrské sítě
podzemní vedení
odvodnění

ABSTRACT

The aim of this Master's thesis is to investigate in detail and evaluate different possible variants and sub variants of trenchless techniques used on a construction of drainage sewer that is going to be built in highway D3 located close to České Budějovice. According the form, the work is divided into four main chapters.

The theoretical part of diploma thesis is divided in two main blocks. The first block is focused on in-depth research of trenchless techniques used for construction of a new underground infrastructure. There are described the technologies that are being used the most frequently not just in Czech Republic but worldwide. In the second block, the reader can obtain the basic information about the sewer system. This block includes the introduction into the problem, then there are described the types of sewages, the objects on sewer, the drainage objects and the design of these objects.

In the beginning of the practical part of diploma thesis, which is divided into five blocks, there are briefly described the information about the construction. In the second block, the problem is defined and the aims are set. In the following block, the problem is being solved by the proposal of different technological variations of construction of the drainage sewer that drains the north notch and the own cut-and-cover tunnel Pohůrka on the highway D3. In the last two blocks, the selected variants are technically described respectively the trenchless solution in the way of open shield pipe jacking and microtunelling.

In the third chapter, the designed variations are technically and economically evaluated. The last chapter of diploma thesis is concluded with the recommendations that comes out of the work. The theoretical and the practical part of the thesis confirms the fact, that the application of trenchless techniques is in certain cases cheaper, more effective, ecological, and sometimes the only possible option.

Key words:

trenchless technology
microtunelling
construction of sewer
urban network
underground infrastructure
draining system

ABSTRAKT	5
ABSTRACT	6
ÚVOD	9
1. BEZVÝKOPOVÉ TECHNOLOGIE PRO VÝSTAVBU NOVÝCH PODZEMNÍCH VEDENÍ.....	10
1.1 REŠERŠE DANÉ PROBLEMATIKY	10
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY V DANÉ PROBLEMATICE	11
1.3 PRŮZKUM A PŘÍPRAVA STAVBY, GEOTECHNICKÝ MONITORING	12
1.4 ROZDĚLENÍ A POPIS BEZVÝKOPOVÝCH TECHNOLOGIÍ	14
1.4.1 <i>Propichování (krtkování, zemní rakety nebo kladiva)</i>	<i>16</i>
1.4.2 <i>Beranění</i>	<i>17</i>
1.4.3 <i>Vodorovné vrtání se šnekovým dopravníkem.....</i>	<i>18</i>
1.4.4 <i>Mikrotunelování</i>	<i>20</i>
1.4.5 <i>Řízené vrtání (Horizontal Directional Drilling (HDD))</i>	<i>23</i>
1.4.6 <i>Ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě (trubní protlak).....</i>	<i>25</i>
1.5 STOKOVÁNÍ	25
1.5.1 <i>Všeobecné pojmy a koncepce odkanalizování.....</i>	<i>25</i>
1.5.2 <i>Soustavy a systémy stokových sítí gravitační kanalizace</i>	<i>26</i>
1.5.3 <i>Speciální druhy kanalizace</i>	<i>29</i>
1.5.4 <i>Objekty na stokové síti</i>	<i>31</i>
1.5.5 <i>Odvodňovací zařízení</i>	<i>33</i>
1.5.6 <i>Dimenzování objektů pro nakládání s dešťovými vodami</i>	<i>34</i>
1.5.7 <i>Výpočet průtoku ve stokové síti.....</i>	<i>35</i>
1.6 LEGISLATIVA.....	36
1.6.1 <i>Odvodnění pozemních komunikací.....</i>	<i>36</i>
1.6.2 <i>Státní báňská správa</i>	<i>37</i>
2. VÝSTAVBA ODVODNĚNÍ TUNELU POHŮRKA (PRAKTICKÁ ČÁST).....	39
2.1 ÚVOD A ZÁKLADNÍ ÚDAJE O STAVBĚ	39
2.1.1 <i>Stavba D3 0310/I Úsilné – Hodějovice.....</i>	<i>39</i>
2.1.2 <i>Odvodnění severního předzářezu a části tunelu Pohůrka</i>	<i>42</i>
2.1.3 <i>Geologické a hydrogeologické poměry, geotechnický monitoring</i>	<i>46</i>
2.2 DEFINICE PROBLÉMU A STANOVENÍ CÍLŮ	47
2.3 VARIANTNÍ ŘEŠENÍ	49
2.4 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ ČÁSTI 2 - VARIANTA 2A – RAŽENÍ PROTlačOVÁNÍM S RUČNÍM ROZPOJOVÁNÍM ZEMINY NA ČELBĚ	53
2.5 TECHNICKÉ ŘEŠENÍ ČÁSTI 3 - VARIANTA 3A – MIKROTUNELOVÁNÍ	56
3. VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT A DISKUSE.....	60

3.1	TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ.....	60
3.2	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	61
4.	ZÁVĚR A DOPORUČENÍ.....	62
	SEZNAM LITERATURY A PODKLADŮ	65
	SEZNAM ROVNIC.....	67
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	67
	SEZNAM ZKRATEK	68
	SEZNAM PŘÍLOH.....	69

ÚVOD

Inženýrské sítě (IS) jsou speciálním druhem inženýrských staveb, které představují základní součást technického vybavení území. Postupem času se svým rozvojem a uplatněním staly zcela nezbytné pro fungování téměř všech aktivit v urbanizovaném území a jeho dalším růstu. Rozhodování o nich (ve fázi územně plánovací, projektové, realizační či provozní) je čím dál více komplikovanější a problematické. Mezi hlavní důvody patří zvětšování již tak velkého rozsahu IS, komplikující se struktury IS, zpřísňující a komplikující se podmínky výstavby a následného provozu, nepřehlednost základních legislativních, technických a dalších podkladů atd. Rozhodování musí proto být maximálně objektivní, homogenní, dostatečně operativní, efektivní a úměrné dané rozhodovací úrovni. V ČR lze současný stav IS považovat za zanedbaný, zaostalý, v mnohých případech se nacházející již za hranicí své životnosti, celkově jsou IS podfinancované apod. Představuje tím tak vážnou hrozbu pro základní fungování měst a obcí. Proto je velmi důležité začít tyto problémy řešit systémově – zabezpečit IS v provozu a předejít tak negativním vlivům na životní prostředí nebo zabezpečit efektivní obnovu, modernizaci a kompletaci IS. [30]

Cílem diplomové práce je informovat a propagovat existenci bezvýkopových technologií (BT) jako součást oboru městského inženýrství. Praktická část se zabývá různými technologickými možnostmi výstavby dešťové kanalizace na odvodnění připravovaného dálničního úseku D3 u Českých Budějovic. Následně jsou vybrány a detailněji popsány nejvhodnější varianty. Využití BT přináší velké výhody, které však veřejně nejsou dobře známy. Používají se zvláště v případech, kdy výstavba v otevřeném výkopu není technicky možná nebo by vyvolala nežádoucí projevy jako např. velké dopravní omezení v intravilánech měst, velké zábory veřejného prostoru, dále při křížení různých IS, při velké hloubce ukládaného podzemního vedení, ve složitých geologických či hydrogeologických podmínkách, z ekonomického hlediska aj. V dnešní době lze tímto způsobem výstavby konkurovat i klasickému způsobu ukládání IS v extravilánech měst, a to hlavně z ekonomických, ekologických a časových důvodů. Tento velmi rychle se rozvíjející obor nemá téměř žádné omezení nasazení. Své uplatnění nachází při realizaci veškerých sítí technické infrastruktury.

1. BEZVÝKOPOVÉ TECHNOLOGIE PRO VÝSTAVBU NOVÝCH PODZEMNÍCH VEDENÍ

1.1 Rešerše dané problematiky

Aplikace protlaků, podvrtů nebo mikrotunelází je v dnešní době nevyhnutelnou součástí téměř každého významnějšího projektu realizace liniových staveb. Výstavby či obnovy provozovaných podzemních sítí jsou nedílnou součástí trvale udržitelného rozvoje, který stojí na rovnováze ekonomického, sociálního a environmentálního pilíře. V současnosti se klade stále větší důraz na životní prostředí a hospodárnost projektů. Nasazení bezvýkopových technologií (BT) zažívá velký rozvoj. Je dnes téměř nemožné provést stavbu klasickým způsobem (tj. otevřeným výkopem) vzhledem k intenzitě dopravy v intravilánu a s ohledem na to, že většina podzemních vedení jsou situovány pod trasami městských komunikací. Ekonomický přínos BT je dalším významným faktorem při volbě způsobu provedení. [1,5]

Historicky patří obor BT mezi jeden z nejmladších stavebních oborů. Tento úzce specifický obor si na českém stavebním trhu získal nezastupitelné místo. První bezvýkopové aktivity lze datovat do období mezi světovými válkami. Počátkem 60. let minulého století se začíná rozvíjet v zemích západní a střední Evropy. Rychlý rozvoj oboru byl iniciován především již zmíněným zvýšeným důrazem na zjišťování a eliminaci vzniku ekologických škod. V Československu se tyto nové technologie začínají používat počátkem 70. let minulého století, hlavně ruční ražba. V dnešní době je na našem trhu skupina společností, které disponují prakticky všemi typy BT, které jsou celosvětově využívány. [1,5]

V současnosti se BT používají nejčastěji v případech, kdy z technického hlediska není možná jiná varianta (podzemní vedení pod silnicemi, křižovatkami, železnicemi, vodními toky, stávajícími objekty apod.). Užívají se ale i v některých případech, kdy by výkop vyvolal nežádoucí vedlejší vlivy (dopravní omezení, omezení pohybu lidí, nadměrnou hlučnost nebo prašnost, změny především v rušných městských aglomeracích apod.). Dále se uplatňují také v případech, kdy náklady na opravu, obnovu či pokládku nového vedení jsou výrazně nižší než u klasické výkopové metody, např. z důvodu hloubky výkopu, geologických podmínek atd. Z hlediska dalšího vývoje lze předpokládat pokračující nepřetržitý vývoj používaných a nových BT stejně jako trubních materiálů pro BT. [1]

1.2 Základní pojmy v dané problematice

Podzemní vedení jsou součástí technické infrastruktury, tj. inženýrských sítí (IS), jejichž úkolem je zásobovat obce a města vodou, plynem, teplem a elektrickou energií, zabezpečovat přenos informací, odvod odpadních vod (OV) aj. Tyto inženýrské sítě je možno do podloží ukládat:

- odděleně v samostatných trasách,
- ve společných trasách,
- ve sdružených trasách (kolektory, technické chodby, aj.).

Podzemní vedení jsou liniové stavby řešené dvěma základními způsoby:

- v otevřených výkopech (tj. s rozrušením nadloží),
- bezvýkopovými metodami.

Dle velikosti příčného profilu rozeznáváme podzemní vedení:

- neprůlezných průřezů ($DN \leq 800$),
- průlezných průřezů ($DN 800 - DN 1500$),
- průchozích průřezů ($DN \geq 1500$). [4]

Z důvodu lepšího pochopení dané tematiky je třeba popsat základní pojmy:

Bezvýkopové technologie jsou způsoby uložení podzemních vedení technického vybavení bez použití otevřené výkopové rýhy, při kterých se terén nad místem jejich uložení neporuší vůbec nebo se poruší jen minimálně. [3]

Chránička je ochranná konstrukce, jejímž účelem je ochrana podzemních sítí technického vybavení před mechanickým poškozením a jinými škodlivými účinky prostředí nebo ochrana okolí před následky havárií podzemních sítí, popř. možnost provedení jejich výměn nebo oprav bez porušení nadloží. [3]

BT však nejsou zcela bez výkopů. Většina těchto technologií si žádá stavební přípravu spočívající ve hloubení startovacích a cílových jam (šachet). Startovací šachty jsou určeny k umístění zařízení pro provádění BT. Zde začíná úsek trasy vrtu, protlaku, štítování nebo in-lineru, zatímco cílová šachta je na konci úseku s ohledem na technické možnosti strojního zařízení nebo trasové poměry. [2]

1.3 Průzkum a příprava stavby, geotechnický monitoring

Bezvýkopové technologie, stejně tak jako ostatní stavby na zemském povrchu a pod ním, musí pozitivně využít a respektovat geotechnické a další přírodní podmínky horninového prostředí a základových půd (ČSN 73 3050). Technologie stavby by se měla vždy přizpůsobit těmto podmínkám. Stavba by neměla v nadkritické míře způsobovat negativní důsledky na životní prostředí. Z toho důvodu je důležitou součástí podrobné prozkoumání pevnostních a deformačních charakteristik hornin, přírodní i antropogenní překážky výstavby, hydrogeologický režim v trase výstavby a další obecné geotechnické charakteristiky. Provedení kvalitního průzkumu by mělo být v zájmu každého investora, avšak v důsledku tlaku na co nejnižší možnou cenu projektu se tomu tak neděje. Pokud si objednatel zvolí za základní kritérium cenu, pak zpravidla průzkum není k ničemu. [1,5]

Úroveň průzkumu je dán úrovní přípravy stavby. Pro výběr trasy se používá orientační průzkum. Ve fázi zpracování dokumentace pro územní rozhodnutí se provádí průzkum předběžný. Ten spočívá v rekognoskaci trasy, rešerši archivních podkladů a získání stávající geologické, geotechnické a inženýrskogeologické dokumentace. V následné fázi se provádí podrobný průzkum, kde se zjišťuje detailní stanovení geologických, hydrogeologických a geotechnických podmínek s použitím dostupných složek průzkumu. Další doplňující průzkumy se mají provést v případech, kdy předběžný geologický průzkum a průzkum stanoviště ukazuje obtížné podmínky, např. střídané nebo skloněné geologické vrstvy či tlak výronů podzemní vody (ČSN EN 12889). Rozsah průzkumu se tedy odvíjí od složitosti zadání a rozmanitosti geologických podmínek. Pro dopravní stavby platí TP 76, kde jsou jednotlivé požadavky na stupně průzkumu podrobně popsány (pro tunelové projekty platí část „C“). Mezi nejběžnější průzkumy prováděné před zahájením stavby patří např. průzkumné vrty, penetrační sondování, laboratorní zkoušky, či hydrogeologický, geofyzikální nebo korozní průzkum. Součástí průzkumu musí být také vyhodnocení všech rizik. [1,6,24]

Před zahájením prací je nutné provést vytyčení křížených nebo souběžných IS s maximální možnou přesností tak, aby během vrtných prací nedošlo k jejich poškození. V případech s velkým množstvím již existujících IS je to nezbytnou podmínkou pro technické zvládnutí podvrtu. Nejsou-li k dispozici dostatečné podklady u správců sítí, je pak vhodné použít geofyzikální metody určení existujících

podpovrchových překážek, např. georadar. Přesnost vrtání následně umožňuje bez větších komplikací provést instalaci nového potrubí s bezpečným odstupem od stávajících souběžných i křížených IS. [7]

Součástí výstavby každého podzemního díla je i geotechnický monitoring (GTM), který zajišťuje bezpečnou a ekonomickou ražbu. Jeho povinnost je dána mimo jiné dnes i novelizovanými báňskými předpisy. GTM spočívá v systematickém a kontinuálním měření, sledování a vyhodnocování reakce horninového prostředí na realizaci vlastní stavby a sledování zejména negativních účinků v okolí stavby, v zóně ovlivnění (poklesů) a v zóně sledování. Tato měření se pravidelně vyhodnocují, ukládají a jsou pravidelně poskytovány všem oprávněným účastníkům výstavby. Základním účelem GTM je okamžité odhalení jakékoliv předvídané i nepředvídané anomálie a zajistit bezpečnost jak na vlastní stavbě, tak i v zóně ovlivnění. [9,24,31]

1.4 Rozdělení a popis bezvýkopových technologií

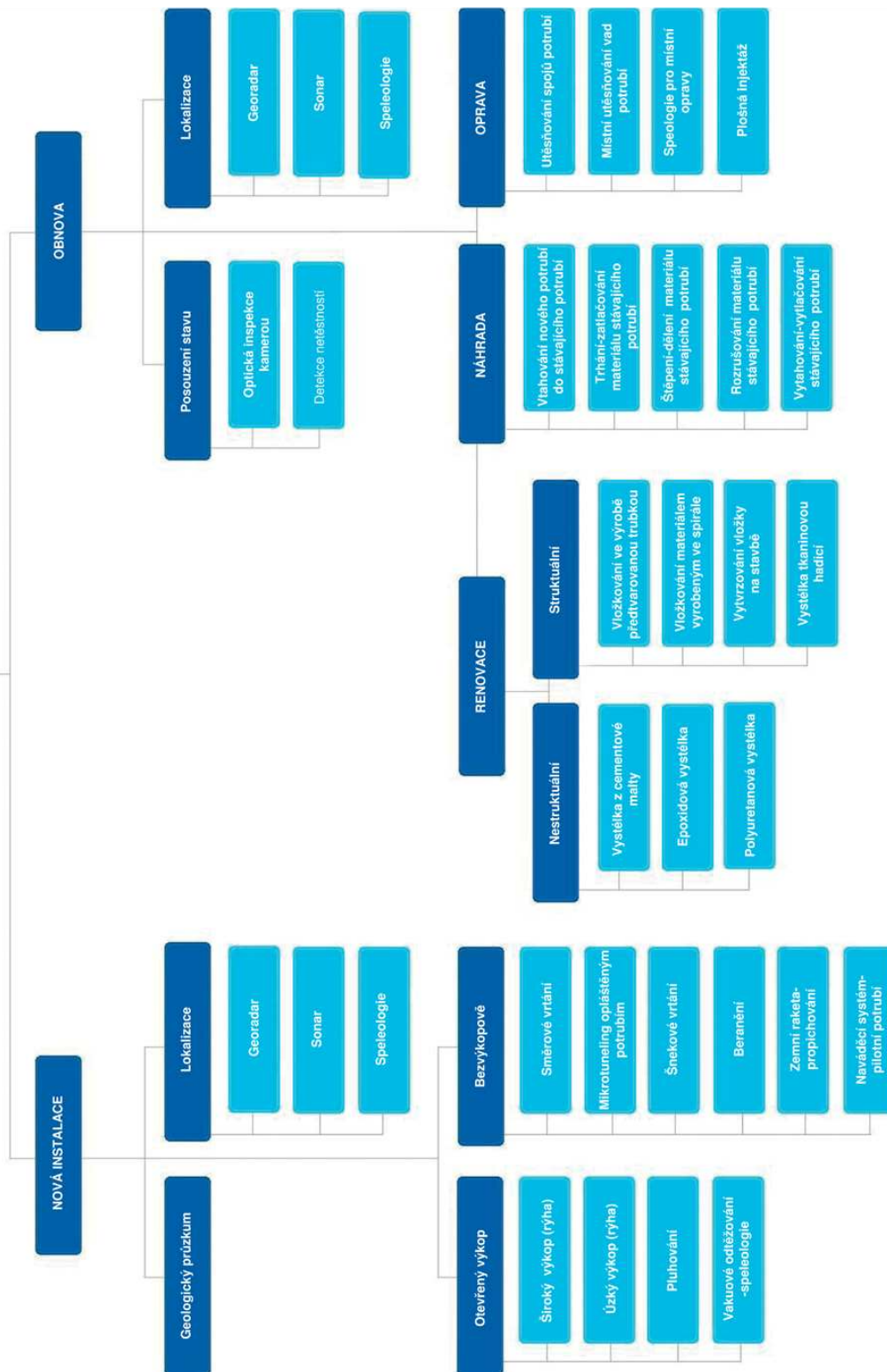
Při rozhodování o volbě technologie jsou důležité technické a další podklady. Současný stav těchto podkladů pro BT (firemních či normativních) je značně neuspokojivý. Vzhledem ke stavu těchto norem (ČSN, EN, ISO) je v této práci uvedeno rozdělení BT pro stavbu nových vodovodních řadů a stok podle pracovní skupiny pro příručku SOVAK:

- metody bez odběru zeminy (propichování, aj.),
- metody s odběrem zeminy (vodorovné beranění, horizontální vrtání),
- mikrotunelování,
- směrové vrtání,
- pluhování. [1]

Je třeba uvést i základní členění vycházející z ČSN 12889 Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení:

- bez obsluhy na čelbě,
 - A. *neřízené* (nelze provádět korekci směru),
 - propichování,
 - vodorovné beranění,
 - vodorovné vrtání,
 - B. *řízené* (progresivní soupravy možností provádět korekci směru),
 - mikrotunelování,
 - řízené horizontální vrtání (HDD),
- s obsluhou na čelbě,
 - trubní protlak (ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě),
 - štítování,
 - štolování hornickým způsobem. [8]

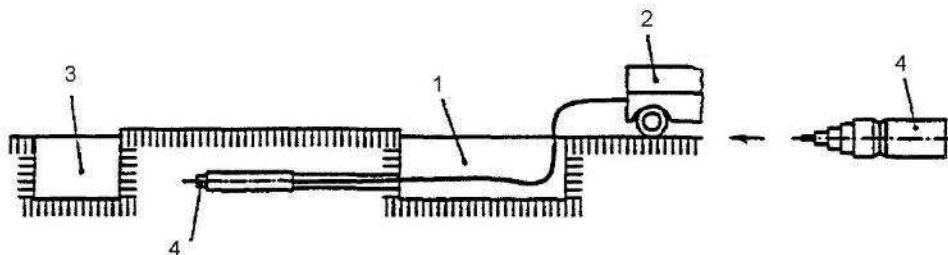
PODZEMNÍ STAVEBNÍ TECHNOLOGIE



Obrázek 1.1 - Rozdělení podzemní stavební technologie dle CzSTT [8]

1.4.1 Propichování (krtkování, zemní rakety nebo kladiva)

Tato metoda používá zařízení, zvané zemní raketa nebo krtek, které dynamicky proráží otvor, do kterého se současně nebo dodatečně zatahují trouby (nejčastěji plastové), popř. kabely. Zemina je roztlačovaná do stran a zhutňuje se. Odpor zeminy třením určuje rychlost pohybu kladiva. Pneumatická propichovací kladiva mají také zpětný chod, díky tomu v případě velkých směrových odchylek je umožněno kladivo z nedokončeného vrtu vytáhnout. [2,4,5,6,8,10]



- Legenda: 1 startovací šachta
2 hydraulický agregát/vzduchový kompresor
3 cílová šachta
4 propichovací kladivo

Obrázek 1.2 - Metoda s propichovacím kladivem (krtkem) [5]

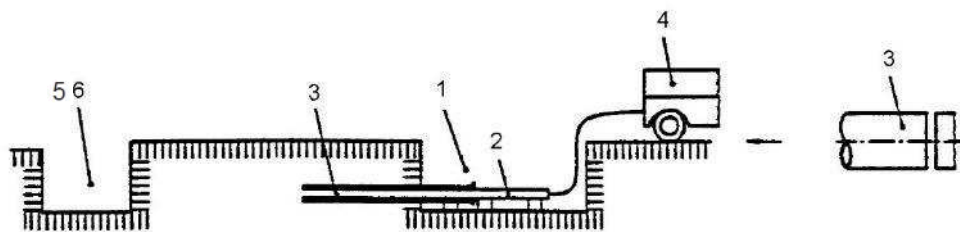
Zemní rakety se podílí zhruba na 70 % všech protlaků. Metoda nevyžaduje velkou investici do strojního vybavení, takže touto technologií disponuje převážná část stavebních firem zabývajících se pokládkou kabelových sítí, vodovodních a plynovodních přípojek. Přesnost realizace je značně závislá na použitém strojním vybavení, běžně se však pohybuje v přesnosti 2 - 5 % délky protlaku. Použití je vhodné pro profily v rozsahu 60 mm - 160 mm, zaleží však na deformačních vlastnostech zeminy (ve vhodných geotechnických podmínkách až do 200 mm). Limitující délka je (vzhledem k značné nepřesnosti) vzdálenost okolo 30 m. Dle pracovního principu se rozlišuje propichování: *pneumatické, hydraulické, vibrační a vodorovným beraněním*. [2,4,5,6,8,10]



Obrázek 1.3 - Zemní raketa ZRO 130 [5]

1.4.2 Beranění

Metoda beranění instaluje ocelové potrubí (chráničku) pomocí energie pneumatického beranidla, které je umístěné ve startovací jámě. Zemina se z prostoru potrubí roztláčí do okolí (jen v ojedinělých případech), nebo vtlačí přes otevřené čelo a odtud se současně s beraněním, nebo po ukončení vytlačí stlačeným vzduchem (u větších profilů) či vystříká vysokotlakou vodou. [2,5,6,8,10]



- Legenda: 1 startovací šachta
 2 vodorovné beranidlo
 3 zatlačovaná chránička
 4 vzduchový kompresor
 5 cílová šachta

Obrázek 1.4 - Metoda vodorovného beranění s otevřeným čelem [6]

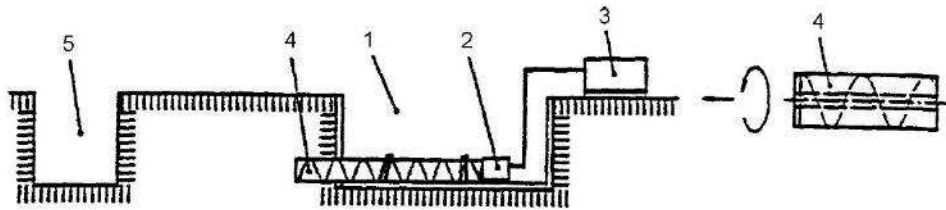
Beranění lze uplatnit i v tvrdších horninách nebo v horninách s výskytem zrn do velikosti 0,8 profilu chráničky, které je však možné rozlamovat. Běžná aplikace je pro profily v rozmezí DN 100 - DN 1200 o délkách do 100 m. Při beranění není zapotřebí opěrný blok. Z důvodu obtížnosti monitorování překážek před zaberaněnou chráničkou, je znalost uložení křížovaných podzemních sítí nezbytnou podmínkou pro úspěšné dokončení stavby. Mezi hlavní nevýhodu metody patří vysoké nároky na svařování (nastavování) chrániček, což značně prodlužuje dobu realizace. V případě destrukce sváru v zemině totiž již není možné pokračování protlaku touto technologií. Přesnosti se pohybují v rozmezí 0,5 - 1,0 % délky protlaku, při denním výkonu 10 – 50 m (v závislosti na dané geologii). [2,5,6,8,10]



Obrázek 1.5 - Vodorovné beranění s otevřeným čelem, 500 Evos (Grundoram Koloss) [5]

1.4.3 Vodorovné vrtání se šnekovým dopravníkem

Vodorovné vrtání patří mezi neřízenou metodu, při které je zemina rozpojována rotující vrtnou hlavou (navrženou dle geologických podmínek) a je plynule transportována šnekovým dopravníkem. Pohon vrtné hlavy se nachází ve startovací jámě, přenos je zajištěn šnekovým dopravníkem. Ocelová chránička je instalována pomocí tlačného zařízení současně s vrtáním, nebo dodatečně (v soudržných zeminách, nepříliš časté použití). [2,5,6,8,10]



- Legenda: 1 startovací šachta
 2 tlačné a vrtné zařízení
 3 hydraulický agregát
 4 vrtná hlava a šnekový dopravník
 5 cílová šachta

Obrázek 1.6 - Metoda vodorovného vrtní se současným zatlačováním potrubí [6]

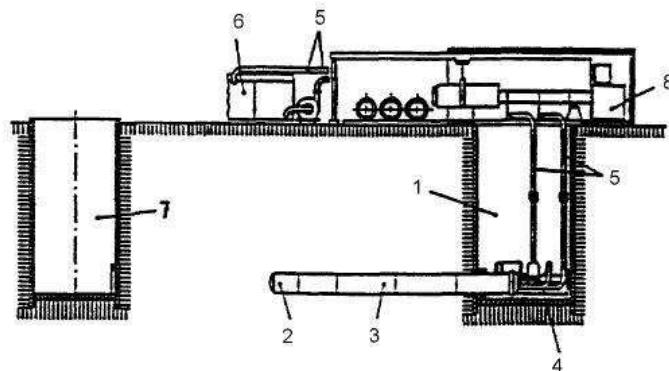
V dobrých geologických podmínkách je to rychlá a efektivní metoda. Aplikace je vhodná pro různé profily a délky podle strojního vybavení. V tuzemských geologických podmínkách není vhodná pro profily menší než DN 300 z důvodu častého výskytu zrn, která neprojdou mezi vřetenem šnekovnice a stěnou protlačované chráničky. Limitující profily jsou okolo DN 1800, nebo délky okolo 60 m. Běžně dosahovaná přesnost se pohybuje okolo 1 % délky protlaku. Hlavní nevýhodou mohou být poměrně velké požadavky na startovací jámu dosahující rozměrů často větších než 2,5 x 7,0 m. [2,5,6,8,10]



Obrázek 1.7 - Transport vytěžené zeminy, vrtná souprava American Augers 60-120 Turbo [5]

1.4.4 Mikrotunelování

Mikrotunelování, nebo též mikrotuneláž, je plně mechanizovaná, říditelná a dálkově ovládaná metoda protlačování podzemních vedení různých profilů. Mikrotunelování umožňuje instalovat podzemní vedení přesně do požadované trasy a v případě potřeby vyrovnat vzniklé směrové a výškové odchylky. Trouby se vkládají postupně za razící stroj a jsou zatlačovány tlačným zařízením umístěným ve startovací šachtě. Tlačné síly se přenáší do opěrného bloku a jsou předem navržené, v případě potřeby jsou vloženy mezitlačné stanice. Razící štíty jsou vždy uzpůsobeny pro konkrétní geologické podmínky, materiál potrubí, hladinu podzemní vody (HPV) aj. Materiály vhodné pro protlačování jsou kamenina, železobeton, beton či drátkobeton, ocel, sklolaminát a v poslední době pak polymerbeton. Jedná se o jednu z nejrychleji se rozvíjejících metod ukládání IS, která nemá prakticky žádné technické omezení. Možnost použití je pro profily DN 400 až DN 4000. [2,9,10,12]



- Legenda: 1 startovací šachta
2 vrtná hlava
3 protlačovaná trouba
4 tlačná stanice
5 přítokové a odtokové potrubí hydraulické dopravy
6 usazovací nádrž pro vyplavování
7 cílová šachta
8 agregáty

Obrázek 1.8 - Metoda mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy [6]

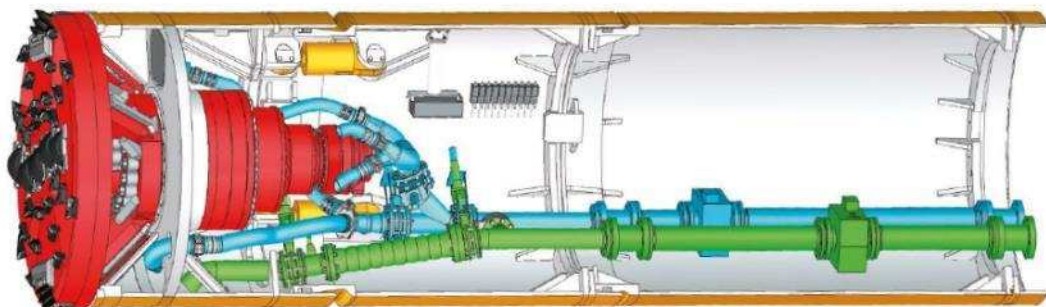
Mikrotunelování lze rozdělit do tří skupin:

- mikrotunelování se šnekovým dopravníkem – kontinuální doprava vytěžené zeminy šnekovým dopravníkem,

- *mikrotunelování systémem EPB* – vytěžená zemina zůstává v blízkosti vrtné hlavy, slouží jako protiváha tlaku vnějšího prostředí a teprve pak je mechanickým způsobem odtěžována,
- *mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy* – vytěžená zemina je dopravována hydraulickým systémem na povrch, kde je následně odkalována v recyklaci výplachu (nejvíce využívaná metoda, viz. níže). [9]

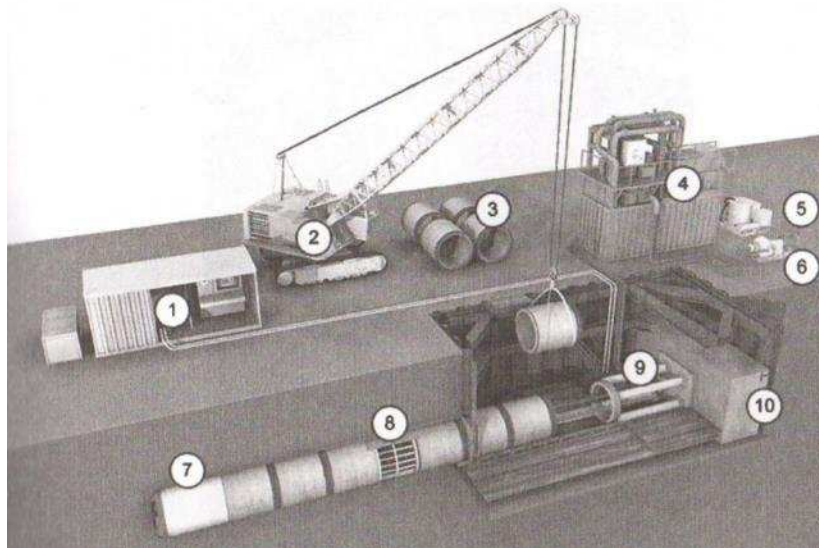
Princip metody spočívá v řízeném zatlačování trub ze startovací šachty do cílové šachty. Na čele ražby je mechanizovaný štít s vlastním drtičem, doplněn naváděcím systémem a systémem hydraulického odtěžování. Jedná se o cyklický proces, který je dálkově řízen operátorem z kontrolní a řídicí kabiny. Mikrotunelovací systém sestává z šesti následujících komponentů:

- *Mikrotunelovací stroj* – Rotující řezná hlava rozpojuje zeminu mechanicky. Rotace i rychlost řezné hlavy může být různá. Hlava rotuje po i proti směru hodinových ručiček. Zpětný chod se uplatňuje při přechodu přes složitou překážku nebo v případě složitých geologických podmínek. Zemina vytěžená na čele ražby je vytlačena skrze malé otvory do mísící komory umístěné za drtičem. Hlavní funkcí této komory jsou smíchání zeminy s čistou výplachovou směsí (nejčastěji bentonit s vodou a dalšími přísadami) a zajištění neustálé rovnováhy s tlakovým působením spodní vody a zeminy na čelbě. Prakticky je zde zajištěno aktivní pažení čelby i ve složitých geologických podmínkách. Tím jsou eliminovány nežádoucí vlivy jako např. sedání, kavernování, průvaly vod apod. Když se voda a zemina promísí a dosáhne určitou čerpatelnou konsistenci, zpravidla méně než 60 % pevných částic nebo 17 % jílu, tak je tato směs hydraulicky transportována na recyklaci výplachu. [9,10]



Obrázek 1.9 - Tunelovací stroj Herrenknecht AVN 800 XT [12]

- *Tlačný systém* – Tlačný systém sestává z tlačného rámu a hydraulických pístů. Tlačná síla se pohybuje v rozmezí asi 100 až 1000 tun. Je určena mnoha faktory, a to délkou a profilem mikrotuneláže, typem a množstvím použité lubrikační směsi, velikostí nadvýrubu (prostor mezi strojem a okolní zeminou), korekcemi směru, vlastnostmi protlačované trouby a půdními vlastnostmi. Tlačný systém určují dva hlavní faktory – celková síla hydraulického tlaku a míra penetrace trouby. Tyto dva hlavní faktory jsou velmi důležité pro kontrolu zpětné síly razicího stroje, z toho důvodu jsou i neustále zaznamenávány. [9,10]
- *Systém výplachu* – Zemina se mísí ve směs v mísící komoře za drtičem. Tato směs materiálu je následně transportována pomocí trubek pro odvedení výplachu do recyklace výplachu. Tento systém je uzavřený a umožňuje do jisté míry recyklovatelnost výplachové směsi. Rychlost přivedení a odvedení výplachu a jednotlivé tlaky jsou zaznamenávány a regulovány velmi opatrně, kvůli již zmíněnému tlaku v mísící komoře, který působí proti tlaku podzemní vody. Spoje tunelovacího stroje a tlačných trub jsou vodotěsné a zamezují tak průniku vody dovnitř. V recyklaci výplachu se separují pevné částice z výplachové směsi v separační jednotce. Již čistá výplachová směs je poslána do skladovací nádrže a dále se vrací zpět skrze recirkulační systém. [10,12]



Obrázek 1.10 - Schéma mikrotunelování [10]

Popis obrázku 1.10 - 1- kontrolní a řídicí kabina, 2- jeřáb, 3- protlačované trouby, 4- recyklace výplachu, 5- mazací jednotka, 6- systém čerpadel, 7- mikrotunelovací stroj, 8- mezitlačná stanice, 9- hlavní tlačná stanice, 10- opěrný blok [9]

- *Naváděcí a řídicí systém* – Laser je nejčastěji používán jako naváděcí systém. Ten dává přesné směrové i výškové informace o umístění instalované trouby. Laserový paprsek je vysílán ze startovací šachty směrem na laserový terč, umístěný na čele mikrotunelovacího stroje, ten je následně pomocí kamery přenášen do řídicí kabiny. Řídicí kabina obvykle obsahuje kontrolní panel, počítač a další vybavení, nutné k hlavním operacím (řízení stroje a tlačné stanice, směr a rychlost vrtné hlavy, množství lubrikantu a další). [10,12]
- *Protlačovaná trouba* – Trouby pro protlačování musí být kulaté, mít hladký a jednotný povrch, spoje musí být vodotěsné a umožňovat jednoduché napojení trub. Trouby musí být schopné přenést maximální tlačnou sílu navýšenou bezpečnostním faktorem. Materiály používané pro protlačování jsou zmíněné v úvodu. [10]

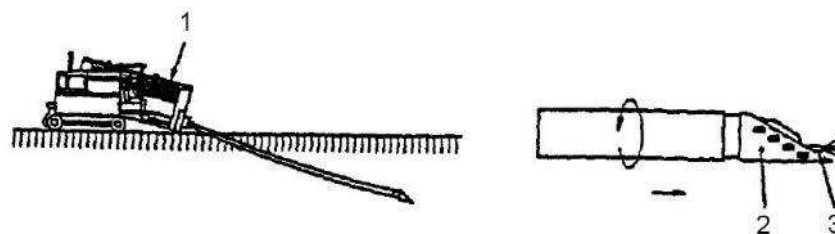


Obrázek 1.11 - *Bezhrdlová kameninová trouba pro protlačování (KTP) – Keramo Steinzeug DN 300, použité na stavbě DIS Brno Tábor [5]*

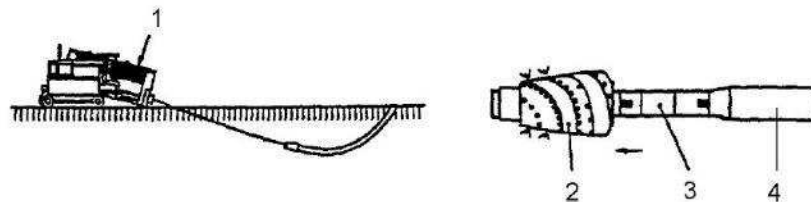
1.4.5 Řízené vrtání (Horizontal Directional Drilling (HDD))

Další řízená metoda pro ukládání potrubí, chráničky nebo kabelů (PCHK) využívá vrtné soupravy. V první fázi se provede tzv. pilotní vrt, který směřuje k cílové jámě. Kontrola hloubky a směru je zajištěna v průběhu celého vrtání vysílačem umístěným ve vrtné hlavě. Vrtná hlava je umístěna na čele vrtného nástroje. Ta zeminu mechanicky rozpojuje a zhutňuje jí do okolí, nebo je vyplavována vrtnou výplachovou směsí (nejčastěji bentonit) do startovací nebo cílové jámy. Výplachová směs má také

stabilizační a lubrikační funkci při vrtání. Po dosažení cílové jámy je pilotní vrtná hlava zaměněna za rozšiřovací vrtnou hlavu a opět za podpory bentonitového výplachu se zpětným vrtáním směrem k vrtné soupravě provede rozšíření vzniklého otvoru. Proces rozšiřování vrtu probíhá opakovaně až do dosažení požadovaného rozměru umožňujícího vtažení PCHK do vrtu. Posledním krokem je vtažení potrubí do vrtu, které probíhá za současného rozšiřování vrtu na výsledný rozměr. Proces vtažení PCHK lze u menších profilů provádět i současně při provádění pilotního vrtu. Po ukončení vrtných prací je nutné vyčerpat výplach a vyčistit jámy pro následné montážní práce. [6,7,10]



- Legenda: 1 agregát s vrtným zařízením
 13a 2 vrtná hlava
 3 vyplavování



- Legenda: 1 agregát
 2 rozšiřovací hlava
 13 b 3 spojka
 4 potrubí produktovodu

Obrázek 1.12 - Metoda řízeného vrtání (HDD) [6]

V ČR je tato metoda hojně rozšířená, a to i přes náročnější investice do strojního vybavení. Je vhodná pro většinu geologických podmínek, hodí se i pod úroveň HPV. Nehodí se v místech s výskytem balvanů. Spektrum nasazení je v ČR do DN 700 (v zahraničí do DN 1600) o délkách do 300 m (v zahraničí do 2000 m). Tak jako u

ostatních metod je velmi důležitou součástí dokonalé zmapování podzemních vedení a konstrukcí. [4,5,7]

1.4.6 Ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě (trubní protlak)

Při této BT se v podzemí pohybují pracovníci jako součást technologie provádění. Trouby se protlačují pod působením tlaku ze startovací jámy. Zemina se z čela trouby odstraňuje ručně (sbíjecími kladivy), popřípadě s využitím trhacích prací. Poté je nakládána na vozíky a dále je dopravována k těžním jamám. Do vyraženého prostoru se následně ukládají potřebné trubní rozvody a zbylý prostor lze vyplnit pomocí cemento – popílkové směsi (CPS), popř. jiné výplňové směsi. Technologie se využívá hlavně ve složitých geologických podmínkách, při protlacích větších než DN 1000. Z důvodu výšky čelby je vhodný pro průměry do DN 2500. Z důvodu velké pracnosti se vyznačuje zvýšenou časovou i cenovou náročností. Denní kapacita se pohybuje v rozmezí 1–5 m vyraženého protlaku při poměrně vysokých přesnostech okolo 0,5 % délky protlaku. Tato technologie se často používala v Německu pro dohledání nevybuchlých bomb z druhé světové války. [5,6,8,10]

1.5 Stokování

1.5.1 Všeobecné pojmy a koncepce odkanalizování

Koncepce odkanalizování územních celků vychází z podkladů a údajů územních plánů, typu a charakteru zástavby, občanské vybavenosti, charakteru a kapacity výrobních provozů aj. Obvykle se navrhuje pro výhledový stav 15-25 let. Dle současné legislativy je nutno zajistit návrh a realizaci tak, aby neovlivňoval životní prostředí, byla zabezpečena kapacita odvádění a čištění odpadních vod z odkanalizovaného územního celku a aby bylo zajištěno nepřetržité odvádění odpadních vod od odběratelů této služby. [14,15]

Kanalizace je definována jako samostatný soubor staveb a zařízení obsahující:

- kanalizační stoky k odvádění odpadních vod,
- kanalizační objekty, včetně čistíren odpadních vod (ČOV),
- stavby k čištění odpadních vod před jejich vypouštěním do kanalizace. [14]

Stokování je obor zabývající se návrhem, výstavbou a provozováním kanalizačních stok. [15]

Stoková síť je soustava stok a objektů na nich. [15]

Odpadní vody jsou vody použité v obytných, průmyslových, zemědělských, zdravotnických a jiných stavbách, zařízeních nebo dopravních prostředcích, pokud mají po použití změněnou jakost (složení nebo teplotu), jakož i jiné vody z těchto staveb, zařízení nebo dopravních prostředků odtékající, pokud mohou ohrozit jakost povrchových nebo podzemních vod. [14]

Odpadních vody lze rozdělit na:

- splaškové,
- průmyslové,
- srážkové (znečištěné, neznečištěné),
- infekční,
- podzemní,
- odpadní vody ze zemědělské výroby,
- ostatní odpady. [15,23]

1.5.2 Soustavy a systémy stokových sítí gravitační kanalizace

Stokové soustavy lze dělit podle způsobu odvádění OV na:

- soustavu jednotnou,
- soustavu oddílnou,
- soustavu modifikovanou. [2]

Jednotná stoková soustava odvádí všechny druhy odpadních vod jednou stokovou sítí. Rozhodující pro návrh těchto stokových sítí jsou extrémní průtoky srážkových vod, z ekonomických důvodů se síť ale navrhuje na menší průtoky, a to z důvodu umístění tzv. odlehčovacích komor. Ty od určitého poměru nařazení odlehčí průtok v kmenové stoce přímo do recipientu. Voda je dopravována převážně gravitačně. V nově odkanalizovaných oblastech je však vhodné volit soustavu oddílnou. Splaškové OV se napojí do splaškové kanalizace a srážkové vody jsou nejprve zasakovány, retenovány a využívány pro závlahy, na splachování nebo jako krajínotvorný prvek, až poté jsou odváděny povrchově nebo kanalizací do vodního toku. [15,16]

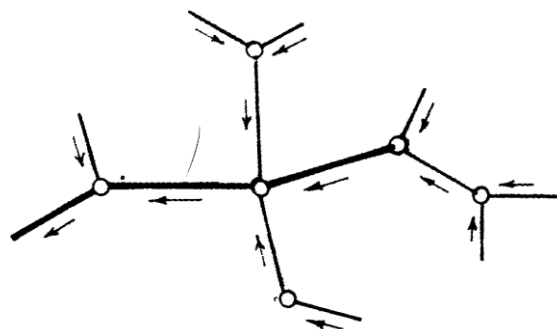
Oddílná stoková soustava odvádí jednotlivé OV samostatnými sítěmi, a tím se tak jednotlivé OV vzájemně nemísí. Splaškové, průmyslové či ostatní OV jsou odváděny splaškovou sítí přímo na ČOV. Srážkové vody jsou odváděny vlastní sítí přímo do

recipientu. Hlavní výhodou je menší rozkolísanost průtoků a koncentrace znečištěných látek přiváděných na ČOV. Nevýhodou mohou být větší investiční náklady a větší prostorové nároky. [15]

Soustava modifikovaná sestává z kombinace jednotné a oddílné stokové soustavy v rámci odvodnění jednoho urbanizovaného celku. Jedna stoka odvádí splaškové a průmyslové OV, druhá stoka odvádí zbylý podíl neznečištěných vod, které se vypouští přímo do recipientu. Tyto stoky jsou navzájem propojené. Splaškové vody jsou odváděny hluboko uloženými stokami, dešťové vody mělce uloženým potrubím. V ČR je tato soustava realizovaná hlavně k odvodnění menších obcí. [15]

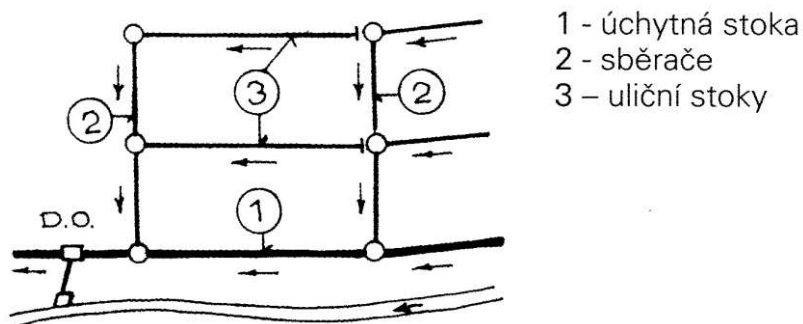
Uspořádání jednotlivých stok v zájmovém území (stokové sítě) je navrženo v závislosti na konfiguraci terénu, tvaru odvodňovaného území, či charakteru zástavby. Hlavním cílem návrhu je odvedení OV na ČOV, pokud možno gravitačně, v co nejkratším čase a vzdálenosti, přímo a provozně spolehlivě. Základními systémy stokových sítí jsou systém větevný, úchytný, pásmový a radiální. [15]

Větevný systém se navrhuje v členitém území s nepravidelnou zástavbou. Dílčí hlavní stoky jsou vedeny nejkratším směrem do hlavní kmenové stoky. Tato stoka je vedena nejnižšími místy odvodňovaného území a následně ústí do ČOV. [17]



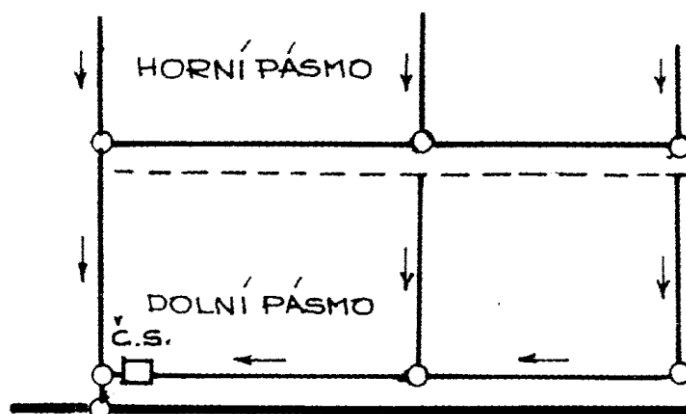
Obrázek 1.13 - Větevný systém [15]

Úchytný systém se používá při pravidelném uspořádání území, např. v plochých říčních údolích s mírným sklonem k vodnímu toku a zároveň podél vodního toku. Kmenová stoka je vedena podél recipientu a do ní ústí jednotlivé sběrače s uličními stokami. [15]



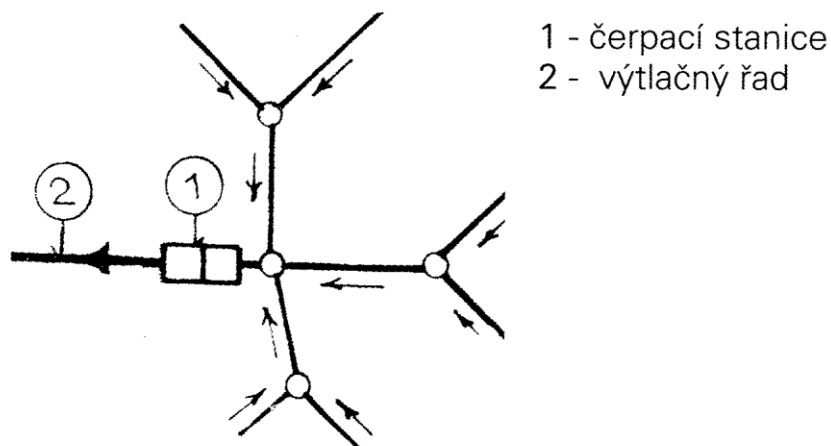
Obrázek 1.14 - Úchytný systém [15]

Pásmový systém se využívá k odvodnění území s většími výškovými rozdíly. Odvodňovaná oblast je rozdělena do několika výškových pásem s ohledem na konfiguraci terénu. Například v třípásmové uspořádání, z nejvyššího pásma odtékají OV gravitačně bez ohledu na vodním stavu toku, ze středního pásma bude gravitačně odtékat pouze za nízkých vodních stavů, za vyšších bude nutné přečerpávání. OV z nejnižšího pásma bude nutné přečerpávat vždy. [15,17]



Obrázek 1.15 - Pásmový systém [15]

Radiální systém se využívá pro odvodnění území ve tvaru kotliny. Odvodnění je gravitační nebo přečerpáváním OV na ČOV, případně do nejbližšího objektu gravitační kanalizace. Uspořádání stok je obvykle větvovým způsobem. [15]



Obrázek 1.16 - Radiální systém [15]

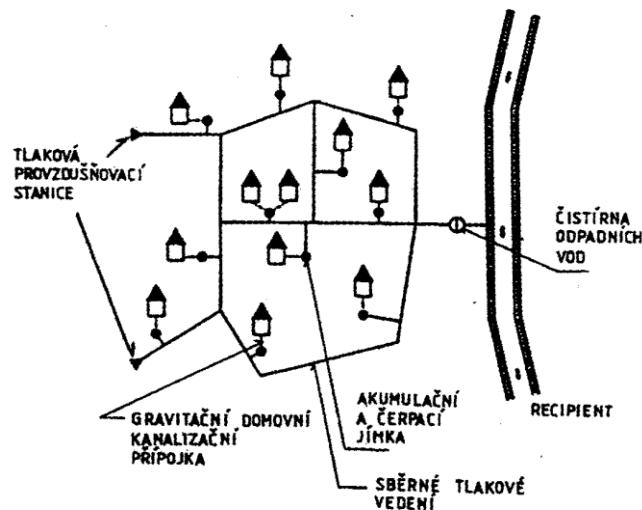
1.5.3 Speciální druhy kanalizace

Speciální druhy kanalizace se využijí při například nepříznivých geologických či hydrogeologických podmínkách (kompaktní skalní horniny, tekoucí písky, vysoká HPV), při stísněných prostorových podmínkách (úzké ulice s velkým množstvím stávajících sítí), nebo v plochých územích, kde by nebyla možnost zajištění minimálního sklonu pro gravitační kanalizaci. Z těchto speciálních druhů kanalizací se nejčastěji používají kanalizace tlakové, podtlakové (vakuové) a pneumatická doprava splašků. [15]

Gravitační kanalizace využívá proudění s volnou hladinou. Dochází zde k proudění vlivem zemské tíže. Navrhuje se zvláště v centralizované zástavbě, v místech se svažitém terénem, při příznivých geologických podmínkách pro zemní práce aj. Gravitační doprava klade důraz na jednoduchost a spolehlivost. Tento druh kanalizace se vyznačuje vysokými kapacitními výkony, které vyplývají z potřeby odvést velké množství dešťové vody ze zájmového území. Pokud nelze odvést OV na čistírnu tímto způsobem, navrhují se speciální způsoby dopravy. [18,19]

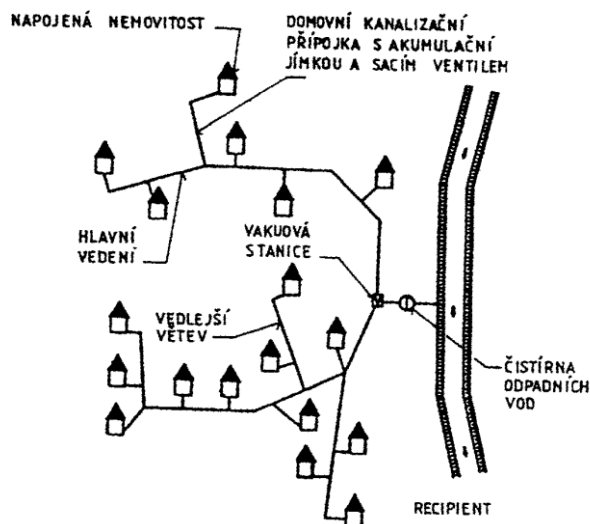
Tlaková kanalizace se používá tam, kde by bylo ekonomicky či technicky náročné zajistit odvádění OV gravitačně, především pak v oblastech malých sídelních celků, v oblastech s občasným odtokem splaškových vod (např. sezónní rekreační zařízení), či v oblastech s nepříznivými podmínkami pro zakládání stok klasickým způsobem. Princip spočívá v tlakové dopravě OV tlakovou okružovou nebo větvovou stokovou sítí na ČOV. Splašky z jednotlivých nemovitostí jsou svedeny většinou

gravitačně do domovních čerpacích stanic s akumulčními jímkami, kde jsou následně čerpány tlakovým potrubím malého profilu (při provozním tlaku v rozmezí 0,5 - 3,0 MPa) na ČOV. K zajištění průchodnosti potrubí se používají proplachovací (provzdušňovací) stanice pro občasné propláchnutí potrubí směsí vody a vzduchu. [15]



Obrázek 1.17 - Tlaková kanalizace [15]

Podtlaková kanalizace je stojí na principu vyvození podtlaku ve stokové síti, ve které se nasávají OV z jednotlivých nemovitostí přes domovní sací ventily na přípojkách. Systém využívá centrální vakuovou stanici, kde se pomocí vakuových čerpadel (vývěv) vytváří podtlak ve sběrné tlakové nádobě. OV se pak vlivem udržovaného podtlaku v systému nasávají do zásobníku při každém otevření sacího ventilu na některé z domovních přípojek. Provoz ventilů je ovládán automaticky v závislosti na stavu hladiny ve sběrných šachtách. Z vakuové stanice se OV dopravují buď gravitačně, nebo se přečerpávají. Tato stanice bývá umístěna v nejnižším možném místě území. Provozní sací tlak se pohybuje v rozmezí 0,06 - 0,08 MPa. Nejčastěji se navrhuje se jako síť větvěná z PVC nebo PE tlakového potrubí DN 80 - 250. Také by měl být zajištěn minimální sklon 2 ‰ ve směru toku. Podtlaková kanalizace je provozována i v Praze, pro odvodnění průsakových vod v kolektorové síti v centru města. Byla navržena z důvodu složitého výškového vedení jednotlivých podzemních chodeb kolektoru. [15]



Obrázek 1.18 - Podtlaková kanalizace [15]

Pneumatická doprava splašků je poslední variantou tlakové dopravy OV, která je zajištěna přetlakem vzduchu vzniklý vyvozeným kompresorem. Tímto způsobem lze dopravovat i velmi znečištěné médium, má minimální nároky na údržbu a může takto dopravovat splašky i na velké vzdálenosti. [15,19]

1.5.4 Objekty na stokové síti

Stoková síť je tvořena stokovými úseky a objekty. Tyto objekty se navrhují pro zajištění správné funkce stokové sítě a pro bezpečné provádění potřebných prací při kontrole, čištění a údržbě. [20]

Podle účelu lze objekty rozdělit na vstupní a revizní šachty, spojné šachty a komory, větrací šachty, proplachovací šachty, spadiště, skluzy, křížení stok a jiných vedení, kanalizační shybky, dešťové oddělovače (odlehčovací komory) a separátory, dešťové vpusti a lapáky splavenin, dešťové nádrže, kanalizační přípojky, čerpací stanice, měrné a kontrolní objekty. Pro návrh, výstavbu a provoz objektu slouží ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky, případně další ČSN a předpisy různých provozovatelů. Všechny tyto objekty se navrhují jako vodotěsné konstrukce. [15]

Revizní šachta je objekt na stoce nebo přípojce umožňující kontrolu z povrchu nebo vstup za účelem revize, čištění, opravy a větrání. Navrhují se všude tam, kde se mění směr nebo sklon přímých úseků, příčný profil nebo materiál stoky, na horním konci každé stoky a v místě spojení dvou nebo více stok. Dále pak dělí přímé úseky,

jejich vzájemná vzdálenost je dána pro neprůlezné a průlezné stoky 50 m, pro průchozí stoky 100 m a více. Vstupní šachta sestává z vstupní části, manipulační části a monolitického základu. Osazení šachet v extravilánu a na dálnicích by mělo být mimo vozovku. [15,18]

Spojná šachta *spojuje dvě a více stok nebo přípojek*. Do jmenovité světlosti DN 400 se připojení nebo spojení provádí ve vstupní šachtě, pro spojení jmenovité světlosti DN 500 a více se budují spojné komory. [18]

Spadiště *je objekt propojující stoky nebo potrubí v různých výškových úrovních se svislou troubou vyústěnou do dna nebo bezprostředně nad dno nejnižše ležící stoky potrubí*. Navrhují se tam, kde je sklon terénu větší než sklon stoky při maximální možné průtočné rychlosti. Návrh řešení by měl také být v souladu s ČSN EN 1610 provádění stok a kanalizačních šachet a jejich zkoušení. [15,18]

Skluz *je strmý úsek potrubí nebo žlabu mezi dvěma šachtami* a obdobně jako spadiště slouží k překonání velkého sklonu na stokové síti. Navrhují se tam, kde by bylo vybudování spadišť obtížně proveditelné či ekonomicky nevýhodné. Skluz sestává z vlastní skluzové stoky s průtočnou rychlostí do $10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. [15,18]

Křížení stok s vodními toky, dráhou a pozemními komunikacemi se považuje za objekty, ve kterých se profil a uložení stoky přizpůsobují daným podmínkám a požadavkům. Půdorysné řešení by mělo vést v nejkratším směru a je vhodné před a za křížením vložit revizní šachtu. Pod dráhou a komunikacemi se využívá nejčastěji křížení pomocí protlaku. Do tělesa komunikace je protlačena (zabírána) nejčastěji ocelová chránička, do které je následně vloženo kanalizační potrubí. Vzniklý meziprostor je vyplněn cementopopílkovou suspenzí, kanalizační potrubí je však třeba řádně upevnit proti posunutí. V případě, že nelze převést OV pod překážkou s dostatečným snížením nivelety tak, že by voda protékala samospádem s volnou hladinou, se řeší toto křížení shybkou. [15,18]

Dešťové oddělovače (odlehčovací komory) a separátory se umísťují na jednotné stokové síti za účelem odlehčení směsi splaškových a dešťových vod. Tyto separátory (kruhové, vírové, obloukové) rozdělují nejen průtok OV, ale také jejich znečištění. Návrh těchto objektů souvisí s celkovou koncepcí kanalizační sítě a s požadavky na kvalitu vody, která je odlehčována do recipientu. Každý objekt je navržen individuálně dle daných podmínek a svého umístění na stokové síti. [15]

Dešťové vpusti jsou objekty, které umožňují kontrolovaný vtok do kanalizačního systému. Běžně se používají při odvodnění dopravních staveb. Dle využití je lze dělit na vpusti uliční, chodníkové a horské. [15]

Lapák splavenin se umísťuje všude tam, kde jsou zaústěny otevřené příkopy do trubní sítě. Dochází zde k sedimentaci splavenin a zpomalení povrchového odtoku. [15]

Dešťové nádrže se využívají pro zamezení úniku znečištění za dešťových průtoků nebo pro zmírnění přívalové vlny zředených OV nebo dešťových vod retencí před jejím odváděním na ČOV. Využívá se tak přirozené nebo uměle vytvořené akumulace na stokové síti a její následné vypouštění na ČOV. [15]

Kanalizační přípojka je samostatnou stavbou tvořenou úsekem potrubí od vyústění vnitřní kanalizace stavby nebo odvodnění pozemku k zaústění do stokové sítě. Každá nemovitost má mít samostatnou domovní přípojku. Minimální profil přípojky je DN 150, obvykle však DN 200. Jmenovité světlosti větší než DN 200 je nutno doplnit projektovou dokumentaci hydrotechnickým výpočtem. Nejmenší dovolený sklon přípojky pro DN 150 je 2%, pro DN 200 je 1% a maximální dovolený sklon kanalizační přípojky je 40%. Revizní šachty domovní přípojky se umísťují na pozemku odvodňované nemovitosti. Kanalizační přípojka má být co nejkratší, v jednotném sklonu a profilu, v přímém směru a kolmá na stoku. Kanalizační přípojky se realizují i bezvýkopově (např. krtkování). [16,21]

1.5.5 Odvodňovací zařízení

Odvodňovací zařízení se využívají pro zachycení a bezpečné odvedení srážkových vod. Dle ČSN 73 6101 se dělí na otevřená a krytá.

- Otevřená:
 - rigoly – shromažďují povrchovou vodu, která přitéká z ploch pozemních komunikací;
 - *příkopy* – plní stejné úkoly jako rigoly, mají však zpravidla větší průtočnost, oddělují komunikaci od přilehlého terénu;
 - *odvodňovací proužky*;
 - *otevřené žlaby, odvodňovací žlábký a štěrbinové žlaby*;
 - *skluzy, kaskády, stupně, prahy a vývary* – svým opevněním odpovídají příkopům, to musí spolehlivě odolávat působení tekoucí vody;

- *uliční vpusti a horské vpusti* – přijímají povrchovou vodu, která přitéká rigoly nebo příkopy a odvádí ji prostřednictvím přípojek do sběrných stok; jsou obecně složeny z vtokové mříže a spodního dílu;
- *vsakovací jámy a vsakovací prostory*;
- *krytá*:
 - *odvodňovací potrubí, kryté žlaby a stoky* – jedná se o podzemní trubní vedení sloužící k odvádění srážkových vod do příslušného vodního recipientu;
 - *drenáže* – zachycují a svádějí podpovrchovou a podzemní vodu do vhodného místa. [22]

Při volbě a návrhu těchto zařízení je důležité zohlednit budoucí kontrolu a provádění údržby. Musí být dobře přístupné a při jejich údržbě a opravách by nemělo nedocházet k výraznému omezení provozu. Upřednostňují se otevřená povrchová odvodnění před zařízeními podzemními, pokud tomu nebrání stavebně technické, krajinářské, ekologické nebo jiné důvody. Tyto zařízení pro podchycení, zadržování a čištění vody, musí být prováděna v souladu s místními přírodními podmínkami. Snížení prostorových nároků, zvýšení účinnosti, hospodárnosti a bezpečnosti zařízení lze dosáhnout spojováním a kombinacemi různých funkcí (zadržování, oddělování pevných látek, oddělování lehkých kapalin, čištění filtrací či vsakem). [22]

1.5.6 Dimenzování objektů pro nakládání s dešťovými vodami

Zařízení pro nakládání se srážkovými vodami z odvodnění komunikace je navrhováno na průtoky vody:

- *A – pomocí návrhového deště* – používá se pro návrh podrobného odvodnění komunikace (vpusti, rigoly a příkopy), dále pro dimenzování stokových sítí a staveb pro vsakování či retenci odváděných vod z komunikace;
- *B – pomocí charakteristik povodí* – používá se pro všechny otevřené vodoteče sbírající vodu především z povodí mimo komunikace (vodoteče křížující komunikace, např. mostní objekty nebo propustky), metoda pracuje s periodicitami v úrovni od jednoletého do stoletého opakování povodně (hodnoty získané od ČHMÚ). [22,23]

Stavby pro nakládání se srážkovými vodami z odvodnění pozemních komunikací se nejčastěji navrhují pomocí racionálních metod. Racionální metody dle

návrhového deště vycházejí z obecného vzorce pro výpočet průtoku srážkových vod pro návrh odvodňovacích prvků (rovnice 1).

$$Q_{dim} = S_{red} \cdot q_s$$

Rovnice 1- Výpočet průtoku pro návrh odvodňovacích prvků [22]

Kde Q_{dim} ...průtok srážkových vod v l/s;

S_{red} ...redukováná plocha povodí stoky v ha;

q_s ...intenzita návrhového deště uvažované periodicity p v l/(s.ha).

Redukovaná plocha povodí S_{red} vychází ze součtu půdorysných průmětů odvodňovaných ploch, které jsou redukovány pomocí redukčních koeficientů. Ty jsou závislé na způsobu zástavby, druhu pozemku a konfiguraci území (rovnice 2).

$$S_{red} = \sum_{i=1}^n S_i \cdot \Psi_i$$

Rovnice 2- Výpočet redukové plochy [22]

Kde S_i ...půdorysný průmět odvodňované plochy určitého druhu v ha;

Ψ ...součinitel odtoku srážkových povrchových vod pro odvodňovanou plochu určitého druhu (hodnoty redukčních koeficientů jsou uvedeny v ČSN 75 6101);

n... počet odvodňovaných ploch určitého druhu. [22,23]

1.5.7 Výpočet průtoku ve stokové síti

Pro návrh stokové sítě jednotné soustavy nebo srážkové stokové sítě oddílné soustavy se používá nejčastěji výpočet podle návrhového deště. V případě, že kanalizací je převáděna voda z nějaké vnější vodoteče, tak se používá metoda dle charakteristik povodí. [22]

Pro výpočet dle návrhového deště se používají:

- *jednoduché empirické* metody – uvažují stacionární, rovnoměrný odtok; metoda se používá pro navrhování malých systémů stokových sítí;
- *hydrologické* metody – může být simulován stacionární nerovnoměrný odtok; uvažuje se retardace a retence na povrchu i ve stokách; jsou vhodné pro

navrhování velkých systémů stokových sítí a hlavně návrh objemů retenčních nádrží;

- *hydrodynamické* metody – založeny na matematicko-fyzikálním popisu nestacionárního, nerovnoměrného odtoku; jedná se o plný matematicko-fyzikální model dané odvodňované oblasti; [22]

Návrhový průtok pro dimenzování stokové sítě je počítán pomocí racionálních metod popsaných v kap. 1.5.6. Nejdříve se stanoví kanalizační okrsky v povodí pro každý výpočtový úsek stoky a dopočítají se redukované plochy S_{red} . V hustě zastavěném území do sklonu terénu 5 % se povodí stokových úseků se určují pomocí takzvaných ideálních střech. V terénu s větším sklonem hydrologickou metodou. Při větších sklonech terénu je nutno určit hranice povodí stokového úseku hydrologickou metodou. Plochy v extravilánu větší než 1 ha na 100 m stoky se nemají odkanalizovat stokovou sítí. Povrchové vody z nich se mají zachytit na hranici odkanalizované plochy záchytným příkopem, který je vyústěný přímo do recipientu. Při návrhu stokové sítě za použití racionálních metod se počítá s periodicitou návrhového deště, které uvádí tabulka návrhový déšť pro odvodňovací zařízení v technických podmínkách 83 (TP 83) – odvodnění pozemních komunikací. [22, 23]

1.6 Legislativa

1.6.1 Odvodnění pozemních komunikací

Návrh odvodnění pozemních komunikací musí být v souladu se zákony: Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) v platném znění; Zákon 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích); a normy: ČSN 75 6101 Stokové sítě a kanalizační přípojky; ČSN 75 9010 Vsakovací zařízení srážkových vod; ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic; ČSN 73 6110 Projektování místních komunikací; ČSN 75 6551 Odvádění a čištění odpadních vod s obsahem ropných látek; ČSN 73 6201 Projektování mostních objektů; TNV 75 9011 Hospodaření se srážkovými vodami; a dále: TKP-D 5 Odvodnění pozemních komunikací; TKP 3 Odvodnění a chráničky pro inženýrské sítě; VL 2.2 Odvodnění. Kapacity odvodňovacích zařízení vymezují ČSN 73 6101, ČSN 73 6110, ČSN 73 6201 a ČSN 75 6101 a TP 107. Umístění odvodňovacích zařízení nesmí ohrožovat, ani

omezovat bezpečnost a plynulost dopravy na pozemní komunikaci (PK). Podmínky pro křížení a souběhy melioračních zařízení s vodními toky a s komunikacemi stanovuje ČSN 75 4030 a ČSN 75 2130. Pro návrh kapacity odvodnění PK na území velkých měst jako Praha, Brno platí zvláštní předpisy. [22]

1.6.2 Státní báňská správa

Většina BT se svým charakterem řadí do tzv. „Činnosti prováděné hornickým způsobem (ČPHZ)“, které jsou dle Zákona 61/1988 Sb. - §3 ČPHZ dozorovány Státní báňskou správou a jedná v zásadě o následující případy:

- vrt nebo protlak delší než 30 m, nezáleží na sklonu vrtu ani na jeho průměru,
- protlak nebo velkopřůměrový vrt, ve kterém se mohou zdržovat osoby (od \varnothing 800 mm a výše) - jakkoliv dlouhý,
- tunel, tedy ražené dílo o větším průřezu než 16 m^2 (vždy),
- štola, tedy ražené dílo do průřezu 16 m^2 (vždy),
- jáma nebo studna (hloubené dílo) o hloubce větší než 3 m,
- jiný podzemní prostor o objemu nad 500 m^3 (komory, strojovny, zásobníky), aj. [5,8]

Pro všechny tyto práce popsané výše platí následující pravidla:

- projektovat je mohou jen osoby oprávněné k projektování ČPHZ (vystavují Obvodní báňské úřady),
- ke stavebnímu povolení těchto staveb se vždy vyjadřují i příslušné obvodní báňské úřady,
- práce mohou být prováděny jen organizacemi s oprávněním k ČPHZ a pod vedením oprávněných pracovníků (závodních),
- z hlediska bezpečnosti práce podléhají doзору Státní báňské správy,
- před zahájením je třeba ohlásit tyto práce na příslušném Obvodním báňském úřadu,
- zvláštní režim si vyžaduje například schvalování změn, vedení některých záznamů a provozních knih, vyšetřování a nahlašování úrazů a havárií, aj. [5,8]

Činnost Českého báňského úřadu je stanovena v § 40 zákona č. 61/1988 Sb., kam zejména patří:

- vykonávání vrchního dozoru nad veškerou hornickou činností a činností prováděnou hornickým způsobem,
- kontrola, zda dozorované organizace vykonávají tyto činnosti v souladu s horním zákonem, zákonem ČNR č.61/1988 Sb., o hornické činnosti, výbušninách a o Státní báňské správě, a předpisy vydanými na jejich základě,
- zajištění vydávání právních předpisů k provedení horního zákona, zákona o hornické činnosti a výbušninách a o státní báňské správě, krizového zákona, zákona o nakládání s těžebním odpadem, zákona o ukládání oxidu uhličitého do přírodních horninových struktur, a zajištění aproximace českých horních předpisů s právem EU,
- výkon inspekční činnosti v oblasti bezpečnosti práce a provozu u hornických organizací a organizací používajících a vyrábějících výbušniny,
- šetření závažných důlních havárií,
- řízení a kontrola činnosti obvodních báňských úřadů,
- zajištění výkonu činnosti odvolacího orgánu jako druhé instance státní báňské správy aj. [11]

2. VÝSTAVBA ODVODNĚNÍ TUNELU POHŮRKA (PRAKTICKÁ ČÁST)

Praktická část diplomové práce se nejdříve zabývá popisem lokality stavby dálnice D3 v oblasti Českých Budějovic, respektive připravovaného úseku dálnice. Dále je podrobněji vysvětlen samotný řešený úsek odvodňovací stoky na odvodnění tunelu Pohůrka a severního dálničního příportálového předzářezu. Následuje definice problémů, které jsou řešeny v dalším bloku v podobě předložení variantních řešení. V tomto bloku jsou stručně charakterizovány technicky realizovatelné varianty řešených úseků týkající se odvodnění tunelu. V dalších blocích jsou navržené varianty detailně rozpracovány, z pohledu konstrukčního řešení a stavebního postupu. V závěru jsou pak tyto varianty technicky a ekonomicky zhodnoceny, jsou uvedeny klady a zápory, ale i rizika z toho vyplývající.



Obrázek 2.1 - Severní (Pražský) portál tunelu Pohůrka – vizualizace [24]

2.1 Úvod a základní údaje o stavbě

2.1.1 Stavba D3 0310/I Úsilné – Hodějovice

Navržená trasa D3 leží na hlavním mezinárodním tahu E55 vedoucí ze Skandinávie až do Řecka. Hlavní význam budoucí dálnice D3 spočívá v propojení

hlavního města Prahy s oblastí jižních Čech. Celý tento úsek dálnice D3 a rychlostní silnice R3 mezi Prahou a státní hranicí s Rakouskem (dlouhý přibližně 171,4 km) je rozdělen na 12 stavebních úseků (0301 až 0312). Některé z těchto stavby jsou dále členěny na dílčí části z důvodu rychlejšího a přehlednějšího projednání a financování. To se týká i stavby 0310, která je rozdělena na úsek D3 0310/I Úsilné – Hodějovice a D3 0310/II Hodějovice – Třebonín. Diplomová práce se věnuje úseku D3 0310/I Úsilné – Hodějovice. Hlavním pozitivem výstavby dálnice D3 by mělo být zkvalitnění a urychlení silniční dopravy směřující z Českých Budějovic do Dolního Dvořiště na hraniční přechod do Rakouska. Dálnice se vyhýbá sídelním útvarům a tím tak přivodí celkové zklidnění sídel v trase stávající silnice I/3 převedením dopravního zatížení na novou dálnici. [24,25]

Zahájení výstavby je podmíněno majetkoprávním vypořádáním a získáním stavebního povolení. Následně musí proběhnout výběrové řízení na zhotovitele stavby, přičemž nelze vyloučit odvolání neúspěšných uchazečů a s tím spojené oddalování zahájení výstavby. Výstavbu lze rozdělit do čtyř základních etap. Před zahájením jednotlivých etap se provede ještě přípravná etapa, ve které se mimo jiné již dnes provádí geotechnický monitoring (GTM) v zóně sledování. Cílem je podchytit stávající stav dotčené okolní zástavby, pohyby HPV, chování horninového masivu před zahájením jakýchkoli prací apod. Práce budou zahájeny vybudováním zařízení staveniště a přístupových cest pro stavbu a přípravu území. V první etapě se provedou přeložky IS. Ve druhé etapě se zahájí výstavba tunelu (včetně odvodňovací stoky), mostů a zemní práce na levé polovině dálnice. Ve třetí etapě se dokončí výstavby většiny mostů a zahájí se zemní práce na pravé polovině dálnice. V poslední čtvrté etapě se budou realizovat hlavní trasy dálnice. Dokončení stavby se předpokládá čtyři roky od zahájení výstavby. Délku výstavby určují především technologické lhůty výstavby velkých objektů. Jedná se hlavně o hloubený tunel Pohůrka (délky 999,5 m), dále o mostní objekty (12 nových mostů), opěrné zdi (celkové délky 1873 m) či rozsáhlých zemních prací (výkopy o výměře 1 732 000 m³). O délce výstavby také vypovídá délka trasy úseku 7197 m v poměrně hustě osídleném území. Přesný postup výstavby bude s ohledem na použité technologické postupy, klimatické i jiné vlivy následně určen vybraným zhotovitelem stavby. Nad dodržováním těchto postupů výstavby a prováděním technologických řešení bude dohlížet technický dozor investora akce a autorský dozor projektanta (zpracovatel projektu pro stavební

povolení). Realizační projekt si zpracovává sám zhotovitel díla na základě zadávací dokumentace a souboru smluvních dohod. [24,25]

Na stavbu bylo vydáno kladné stanovisko Ministerstva životního prostředí. Potíže s průchodem stavby okrajem Českých Budějovic byly vyřešeny. V červnu 2009 byla zpracována nová dokumentace pro územní rozhodnutí, která byla projednána s dotčenými obcemi. V květnu 2011 bylo vydáno územní rozhodnutí, které nabylo právní moci v září 2011. Na stavbu je v současnosti zpracována dokumentace pro stavební povolení. Vykoupeno je cca 97 % potřebných pozemků, s nevykoupenými pozemky probíhá vyvlastňovací řízení. Probíhá inženýrská činnost pro získání stavebního povolení. Stavba je zařazena mezi prioritní stavby, a tím se tak dle Evropskou komise nebude muset opakovat proces posuzování vlivu na životní prostředí (EIA). V lednu 2017 vydalo Ministerstvo životního prostředí závazné stanovisko k vlivům prioritního dopravního záměru na životní prostředí. Byla zpracována dokumentace pro provedení stavby. Nyní probíhá dvoukolové výběrové řízení na zhotovitele stavby a přípravné práce před zahájením stavby. Předpokládané náklady na stavbu činí 7,813 miliardy korun. Předpokládané zahájení stavby je v dubnu 2018 a zprovoznění v květnu 2022. [26]



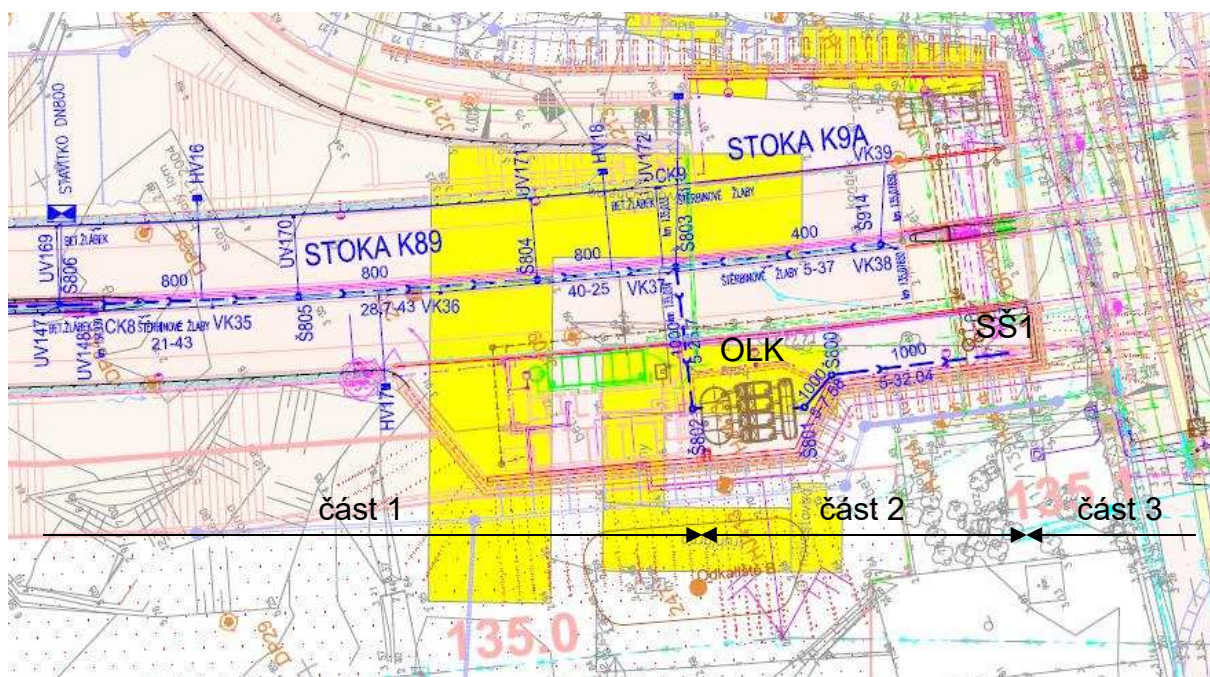
Obrázek 2.2 - Umístění stavby D3 0310/I Úsilné – Hodějovice [25]

Součástí stavby je mělký, **hloubený tunel Pohůrka** celkové délky 999,5 m. Příčně je tunel rozdělen do dvou obdélníkových tubusů pro obě jednosměrné třípruhové komunikace. Základní konstrukční systém je uzavřený rám. Stěny tunelů budou tvořeny podzemními stěnami. Ty budou realizovány z mělkého předvýkopu, zhruba na úrovni pracovní spáry stěny/strop. Budou vetknuty pod základovou spáru desky dna tunelu do hloubky cca 2,5 - 3,5 m. Na podzemní stěny bude následně vybetonován definitivní strop. Dalším postupem prací jsou zemní práce – výkopy pod stropem tunelů a mezi podzemními stěnami na úroveň základové spáry pro desky dna tunelů. Současně bude prováděno snižování hladiny podzemní vody (HPV) v prostoru budoucího tunelu a zejména v prostoru severního portálu a jižního předzářezu. Zemní práce se tedy kromě portálů podstatně omezí na zajištěné výkopy v prostoru budoucího tunelu. Ty ale musí být také prováděny po etapách, zejména s ohledem na stabilitu čela výkopu, opět za snížení HPV. Další výhodou je také to, že do prostoru výkopů pod zastropením bude podstatně omezen přítok podzemní vody. Pro odvodnění tunelu a přilehlých zářezů dálnice bude provedena gravitační odvodňovací stoka, která ústí do místního recipientu – do Dobrovodského potoka. Dílo je báňského charakteru, je projektováno a bude realizováno dle pravidel **observační metody**. Jednou z podmínek pro realizaci díla touto metodou je provádění a pravidelné vyhodnocování GTM. Jedná se o složitou stavbu 3. geotechnické kategorie ve smyslu ČSN EN 1997-1. Geotechnické riziko, které závisí na složitosti geotechnických podmínek, náročnosti konstrukce a možných následcích jeho selhání. V tomto případě jsou možné následky značné, mající významné vlivy na osoby a velmi významné vlivy na budované a sousední dílo. Vyhodnocení výsledků měření a pozorování musí být prováděno okamžitě tak, aby bylo možné reagovat na nastalou situaci a včas provést příslušná opatření. Na stavbě již dnes v předstihu pracuje skupina rada monitoringu, která zajišťuje a vyhodnocuje předstihový GTM (je poradním orgánem objednatele stavby). [24,31]

2.1.2 Odvodnění severního předzářezu a části tunelu Pohůrka

Celá stavba D3 0310/I Úsilné – Hodějovice je velmi rozsáhlé stavební dílo, na kterém se podílí skupina zkušených specialistů z různých oborů stavebnictví. Z toho důvodů je stavba rozdělena na části stavby, na stavební objekty a provozní soubory. V této diplomové práci se budu zabývat dvěma stavebními objekty (SO) - SO301

Dálniční kanalizace a SO310 Odvodnění tunelu. Pro lepší pochopení celého řešeného úseku jsou dále tyto dva stavební objekty rozdělené do tří částí. Hlavní účel těchto objektů spočívá v gravitačním odvodnění srážkových vod ze severního předzářezu tunelu Pohúrka a z části vlastního hloubeného tunelu Pohúrka do recipientu (Dobrovodský potok). **První část** se zabývá samotnou dálniční kanalizací až po odlučovač lehkých (zejména ropných) kapalin (OLK) spojený s dešťovou usazovací nádrží (DUN). Kanalizace zde bude uložena pomocí klasické metody otevřeného výkopu. Voda zbavená hrubých nečistot a ropných látek z komunikace je následně vedena asi 45 m dlouhým úsekem (situovaným na dně budoucí stavební jámy severního portálu) v těsné blízkosti opěrné zdi a ústí do startovací šachty SŠ1 (**druhá část**). Jedná se o úsek, kde je nutné navrhnout odpovídající řešení z hlediska časových, rizikových a technologických požadavků. **Třetí část** řeší odvodňovací stoku prováděnou technologií mikrotunelování. Jedná se o úsek mezi startovací šachtou SŠ1 umístěnou v rohu severního portálu po vyústění stoky do Dobrovodského potoka. [24]



Obrázek 2.3 - Severní portál tunelu Pohúrka, rozdělení stavebních objektů na jednotlivé části [24]

Výstavbou, respektive zpevněním ploch pro dálnici dojde ke zvýšení a urychlení povrchového odtoku z území. Předpokládá se i možné ovlivnění jednotlivých recipientů (vzhledem ke stávajícím průtočným poměrům). Z důvodu ochrany recipientů

a zejména okolní zástavby před zatopením jsou na vyústění kanalizace osazeny retenční dešťové nádrže s odpovídajícím objemem. Na Dobrovodském potoce je zřízen suchý poldr. Před vtokem do retenčních nádrží jsou dešťové vody čištěny v odlučovači ropných látek. Odvodnění je možné gravitačně zajistit pouze pomocí podzemního důlního díla. Akumulace takového díla je pouze omezená. Proto je zde, pro případ přívalů, navržena obrácená akumulace. V případě přívalu se omezí průtok v Dobrovodském potoce pomocí zatopení poldru. Nejdříve odteče voda z dálnice, pak následně odteče voda zadržaná v poldru. Tímto řešením je ochráněná východní část města Českých Budějovic před zatopením. Přívalové deště jsou v povodí Dobrovodského potoka velmi časté a nelze jejich účinek předvídat. K rychlým zátopám díky „špatnému“ profilu Dobrovodského potoka v zastavěné části města dochází velmi často už i nyní. [24]

Dešťová kanalizace je dimenzována v souladu s ČSN 73 6101 „Projektování silnic a dálnic“ a TP83 „Odvodnění pozemních komunikací“ (dle požadavků investora stavby Ředitelství silnic a dálnic ČR). Návrh je proveden racionální metodou. Návrhová srážka se uvažuje s periodicitou $n=1$, pro dešťoměrnou stanici České Budějovice $i=113,0$ l/s·ha při 15 min návrhovém dešti. Pro odtok z vozovky se uvažuje koeficient odtoku $k_v = 0,8$, pro odtok ze zatravněných svahů je koeficient odtoku $k_s = 0,5$. Odvodnění dálnice D3 dálniční kanalizací je navrženo pro kategorii D 27,5 (šířka zpevněné části 23,0+2x0,5 m). V úsecích předportálových zářezů tunelu Pohúrka je dešťová kanalizace dimenzována na návrhovou srážku s periodicitou $n=0,5$, pro dešťoměrnou stanici České Budějovice $i=190,0$ l/s·ha při 10 min návrhovém dešti (dle ČSN 73 7507 „Projektování tunelů pozemních komunikací“). Návrhový průtok na vyústění stoky K89 do OLK je 832 l/s a z toho vyplývá i dimenze potrubí, které je v tomto úseku z kameninových trub (KT) DN 1000. Hydrotechnické výpočty stoky K89 jsou součástí přílohy č.1. [24]

Jako protihavarijní opatření je vhodné koncové šachty jednotlivých stok odvodnění doplnit o stavítka, která v případě dopravní nehody s únikem nebezpečných látek do kanalizace minimalizují důsledky úniku. Umožní kanalizaci uzavřít bez nutnosti vstupu do šachet a následné odčerpání a likvidaci zachycených látek. [24]

- **Část 1** - Celkové odvodnění úseku 0310/I je řešeno stokami K1 až K14. Tato práce se však zabývá pouze stokami K89 (km 135,092 – 134,000) a K9A (km 135,035 – 135,075). Voda z povrchu komunikace je svedena do betonového monolitického

odvodňovacího žlábků, na kterém jsou osazeny uliční vpusti ve vzdálenosti 43 m. Tyto vpusti jsou následně zaústěny do šachet středové kanalizace pomocí plastového potrubí DN 200. Voda z rigolů není znečištěná a mohla by být zaústěna gravitačně přímo do recipientu, to je však v tomto případě technicky nemožné. Na těchto rigolech jsou osazeny horské vpusti, které odvádí dešťovou vodu do středové kanalizace přípojkami z potrubí plastového DN 250. V úseku s malým podélným sklonem je monolitický žlábek nahrazen štěrbínovými žlaby. Ty jsou také osazeny v úseku před tunelem. Stoka K89 je navržena z plastového potrubí v profilu DN 300, DN 400, DN 500, DN 600, DN 800 a DN 1000. Dále pak z bezhrdlých kameninových trub pro protlačování (KTP) DN 1000 v úseku mezi OLK a SŠ1 (část 2). Celková délka stoky K89 činí 1121,62 m. Stoka K9A, která odvodňuje část tunelu, je napojena do stoky K89 v nejnižším bodě středové kanalizace přes šachtu Š 803. Část 1 se bude provádět klasickou metodou otevřeného výkopu. [24]

- **Část 2** - Za účelem předčištění odpadních vod z dálnice před jejich odvedením do Dobrovodského potoka je ve zpevněné ploše na pražském portálu navržen OLK kombinovaný s DUN s koncentrací 2 mg/l NEL. Sestava DUN sestává z železobetonové montované nádrže s odlučovačem kalů, 4 koalescenčních odlučovačů a slučovací jímky. Směrem k odvodňovací stoce je odtokové potrubí z KTP DN 1000 v těsné blízkosti (asi 1,5 m) podzemní stěny kotvené trvalými pramencovými kotvami. Hloubka uložení potrubí je v tomto místě asi 4 m pod dnem jámy. Část 2 je tedy nutno označit za velmi rizikovou, neboť může vést k nepříznivému deformačnímu ovlivnění podzemní stěny (zajištění portálu), popřípadě stability. Tento problém je definován v následující kapitole a je také hlavním předmětem diplomové práce. [24]
- **Část 3** – Tato část sestává z gravitační odvodňovací stoky, začínající ve startovací šachtě SŠ1 (na severním portále tunelu Pohůrka) a je zaústěna do Dobrovodského potoka. Dílo má celkovou délku 918,4 m. Větší část je budována pomocí mikrotuneláže (778,3 m) a část je hloubená (139,3 m). Dále bude provedena i výšková úprava stávajícího koryta Dobrovodského potoka v celkové délce 284,0 m. Konfigurace stávajícího terénu určuje konečný sklon stoky - 2,5 ‰. Úsek se bude provádět technologií mikrotuneláže především z důvodů hloubky uložení

potrubí (přes 10 m), složitých geologických a hydrogeologických podmínek. Další část díla bude také prováděna klasickou metodou otevřeného výkopu, tj. uložením potrubí DN 1000 do aktivně pažené rýhy s omezeným čerpáním podzemní vody. V práci bude v následujících kapitolách předloženo variantní řešení možnosti výstavby k samotné navržené mikrotuneláži a také vysvětleny hlavní důvody pro výběr této technologie. [24]

2.1.3 Geologické a hydrogeologické poměry, geotechnický monitoring

Z geotechnického průzkumu vyplývá, že v oblasti tunelu se v úrovni založení budou vyskytovat nepravidelně střídající se jílovce a pískovce křídových nezpevněných hornin. Jedná se zejména o jemnozrnné horniny geotechnického typu K1 a písčité horniny geotechnické typu K2. Vzhledem k častému a nepravidelnému střídání hornin mohou být zastiženy i horniny mnohem proměnlivější. Základové poměry jsou velmi složité a agresivita prostředí je vysoce agresivní (XC3). [24]

V prostoru Dobrovodského potoka leží podzemní voda mělko pod povrchem v hloubce 1,0 - 2,8 m pod terénem a je v přímé hydraulické spojitosti s hladinou vody v potoce. V části území má dokonce napjatou HPV. S přihlédnutím ke složitosti hydrogeologické problematiky byl vypracován i hydrologický matematický model území. Ten upřesňuje rozsah snížení HPV v okolí a je tak umožněno přesnější zhodnocení vlivu konstrukce tunelu na přítoky do něj. [24]

Portál tunelu bude hlouben ve zvodnělém prostředí. Bude tedy nutné zabezpečit dlouhodobé snížení HPV čerpáním sítí čerpacích studní a systémem drenážních podzemních stěn a těsnících clon po celou dobu výstavby. Tento proces se však může negativně projevit na kvalitě a vydatnosti blízkých vodních zdrojů. Proto již v současné době probíhá předstihový GTM. Vybrané čerpací studně budou také plnit funkci pozorování změn režimu podzemních vod v okolí tunelu po dobu výstavby a také i po skončení, nejméně po dobu záruky díla. Čerpací a pozorovací studny jsou navrženy min. po cca 100 m. V jednom příčném profilu budou 4 studny (budou i uvnitř budoucího zářezu či vlastního tunelu). Sledování HPV bude součástí GTM v rámci pravidel observační metody. Podle povahy, rozsahu a tendence změn režimu podzemní vody počítá projekt v rámci řešení rizik i s dalšími sanačními pracemi (např. jílocementové a tryskové injektáže). GTM jako observační metoda se v těchto fázích výstavby soustředí především na sledování změn režimu podzemní vody na povrch zejména na okolní blízkou povrchovou zástavbu. To je řešeno pomocí geodetického sledování

povrchu terénu v zóně sledování/ohrožení a pasportizovaných objektů na povrchu. V rámci monitoringu bude také prováděno geodetické sledování deformací podzemních stěn a to ve všech fázích výstavby (měření v inklinometrických vrtech). Podrobně je i sledována povrchová zástavba a terén v potencionální zóně ovlivnění včetně stavu dotčených inženýrských sítí (kanalizace prosvětlováním, plyn čicháním, vodovod akusticky na šoupatech apod.). [24]

2.2 Definice problému a stanovení cílů

Při novostavbě pozemní komunikace a jejím následném provozu nesmí odváděná povrchová voda nepříznivě ovlivňovat kvalitu povrchových a podzemních vod. Z toho důvodu je v návrhu odvodnění důležité vyřešit její zachycení, předčištění a následné odvedení do vhodného recipientu. Návrh musí být také v souladu se zásadami ochrany přírody a péčí o krajinu. Při vydatných deštích s velkou intenzitou může tento nárazový přítok povrchové vody z pozemní komunikace způsobit velké škody na recipientu. Proto je nutné zajistit zadržení a následně postupné vypouštění nebo vsáknutí povrchové vody pomocí různých stavebních úprav. Dle vyhlášky ke stavebnímu zákonu č. 501/2006 Sb. je požadováno srážkové vody přednostně vsakovat. Není-li to možné, tak regulovaně srážkové vody odvádět do povrchových vod a až není-li ani toto možné, odvádět do jednotné kanalizace. Je také nutné vždy řešit znečištění těchto vod závadnými látkami pomocí zařízení k jejich zachycení. [14,22]

Diplomová práce se blíže zabývá odvedením již soustředěné vody (z odvodnění pozemní komunikace) do recipientu, v tomto případě Dobrovodského potoka. Přirozený odtok bez předchozího zadržování je nejjednodušší možností odstranění povrchové vody z pozemní komunikace. Voda si vyhledává cestu nejmenšího odporu, odtéká po povrchu a vsakuje se do podloží. V tomto konkrétním případě však není možné s dostatečnou spolehlivostí předpokládat absolutní a bezproblémové vsáknutí. Dobrovodský potok byl tak vybrán jako vhodný recipient a na jeho ochranu je navržena dostatečná retence vod před zaústěním. Mezi hlavní směrodatná kritéria pro návrh odvodňovacích zařízení patří především množství shromážděné povrchové vody a její znečištění, které vychází z dopravního zatížení pozemní komunikace. Všechna odvodňovací zařízení jsou navržena tak, aby je bylo možné snadno kontrolovat a provádět jejich pravidelnou údržbu. Při odvodnění tunelu Pohůrka nelze navrhnout

otevřené povrchové gravitační odvodnění ze stavebně technických důvodů. V navrženém podzemním odvodnění je třeba vyřešit hned několik zásadních problémů. [22]

Práce se blíže zabývá **částí 2** a **částí 3**, na kterých se jedná především o tyto hlavní problémy.

- **Část 1** – Celý úsek je navržený klasickým způsobem otevřené rýhy a není tak předmětem této práce.
- **Část 2** – Jak už bylo zmíněno v úvodu praktické části, geologické poměry v tomto území jsou velmi nepříznivé. Vyskytují se zde jemnozrnné a písčité horniny geotechnického typu K1 a K2, dále pak HPV je mělko pod povrchem (1,0 – 2,8 m). KTP DN 1000 stoky K89 je uloženo cca 3,5 m pod niveletou upraveného terénu (úroveň portálu). Výstavba části 2 a části 3 bude probíhat v první etapě výstavby, před zahájením prací na severním portálu a tím se tedy hloubka uložení potrubí značně zvyšuje. Potrubí je tak v okamžiku výstavby uloženo cca 13,5 m pod niveletou rostlého terénu. V místě severního portálu v současné době probíhá vyvlastňování posledních pozemků. Součástí stavebního povolení je jen startovací šachta SŠ1, samotná kanalizace části 2 (mezi OLK a SŠ1) se nachází na doposud nevyřešených pozemcích. Kanalizaci v části 2 je nutné realizovat před samotnou realizací opěrné zdi z důvodu možného nepříznivého deformačního ovlivnění podzemní stěny. Stoka o délce cca 45 m tak bude muset být provedena ze startovací šachty SŠ1 pomocí bezvýkopových technologií (BT) v předstihu, před realizací výkopu severního portálu. Tím dojde ke zmenšení rizik během výstavby zajištění stavební jámy severního portálu. Sklon stoky je 5 ‰. [24]
- **Část 3** – Stejně jako v části 2 jsou i zde geologické i hydrologické poměry velmi složité. Odvodňovací stoka je navržena z KTP o celkové délce 918,4 m. Sklon stoky je 2,5 ‰. První úsek bude ražený pomocí technologie mikrotunelování o délce 778,3 m, a to z důvodu hloubky uložení potrubí (13,5 – 6,5 m) a nepříznivých geologických a hydrogeologických podmínek. Druhý úsek bude hloubený, KT DN 1000 bude uloženo do aktivně pažené rýhy s omezeným čerpáním podzemní vody (pevné betonové dno, utěsněné stěny štětovnicemi a injektáží), aby nedošlo k pohybům (poklesům) HPV v okolí stavby. Nasazení technologie mikrotunelování

v tomto úseku již není vhodné z důvodu malé výšky nadloží. Mohlo by tak dojít k nadzdvížení povrchu či úniku výplachové směsi na povrch. [10,24]

Hlavním cílem v **části 2** je předložit řešení, které vychází ze zadaných podkladů a informací. Navržená varianta musí být technicky, ekonomicky a ekologicky přijatelná a v souladu s požadavky investora stavby. V **části 3** je cílem ukázat možné varianty k již navržené ražbě pomocí technologie mikrotunelování, dále pak popsat samotné technické řešení výstavby této varianty. Cílem celé práce je i informovat o BT a propagovat BT jako alternativu ke klasické metodě ukládání inženýrských sítí.

2.3 Variantní řešení

V následující kapitole jsou předloženy a stručně popsány technicky realizovatelné varianty možnosti výstavby kanalizace jednotlivých částí. Pro **část 2** to jsou technologie ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě (varianta 2a), vodorovného vrtání se šnekovým dopravníkem (varianta 2b) a klasické štolování hornickým způsobem (varianta 2c). Varianta mikrotunelování zde není vhodná z důvodu nemožnosti zhotovení cílové šachty v reálném čase pro vyjmutí mikrotunelovacího stroje. Pro **část 3** to jsou technologie mikrotunelování (varianta 3a) a klasické štolování hornickým způsobem (varianta 3b). Varianta trubního protlaku je zde zavržena z ekonomických a časových důvodů. Pro obě části nelze uvažovat s variantou klasické metody otevřeného výkopu vzhledem k hloubka uložení potrubí přes 10 m. Velmi složité geologické a hydrogeologické poměry tuto variantu zcela zavrhuje. Číselné označení značí číslo části a písemné označení určuje pořadí varianty.

- **Varianta 2a – ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě.** Pro **část 2** lze navrhnout technologii ražby pomocí trubního protlaku. V této variantě je možné instalovat přímo KTP, které jsou tlačeny ze startovací šachty. Jako první je tlačěn razící štít, který je navržen speciálně pro tuto metodu. Za ním jsou tlačeny speciální KTP pomocí hydraulického pístu. Po dokončení protlaku je nutné razící štít zaslepit a následné napojení bude probíhat v další etapě při výstavbě OLK. Oproti variantě 2b není potřeba měnit rozměry startovací šachty SŠ1. Rozměry šachty jsou dostatečně velké pro manipulaci pro obsluhu a nakládání rubaniny.

Z důvodu bezpečnosti je nutné navrhnout zvláštní opatření proti průvalu vod a zvodněných materiálů, porušení stability horninového masivu v okolí výrubu, případně jiným nebezpečím. To je řešeno tryskovou injektáží v trase vrtu, případně členěnou čelbou. Jedná o neřízenou metodu, kde přesnost ražby je ovlivňována vlastnostmi podloží a délkou protlaku. Případné odchylky směru lze však oproti technologii vodorovného vrtání částečně korigovat. [5,24]

- **Varianta 2b – vodorovné vrtání se šnekovým dopravníkem.** Dopravní protlačování ocelové chráničky DN 1420/12,5 ze startovací šachty SŠ1 a její následné zaslepení rovněž řeší problém s nevyřešenými pozemky. V následující etapě výstavby severního portálu by pak proběhlo vystrojení chráničky KTP DN 1000. Hlavní nevýhodou této varianty jsou relativně velké požadavky na startovací šachtu (10,5 x 4,5 m). Změna rozměrů startovací šachty SŠ1 by mohla být komplikací ze strany stavebních úřadů. Jsou zde i rizika spojená s vlastním vrtáním, neboť i zde se jedná o neřízenou metodu. V dané geologii bude mít ocelová chránička tendenci vybočovat ze směru (popř. sklonu) více než obvykle. Tato technologie je běžně používána na českém trhu a úspěšnost realizace se odvíjí výhradně od zkušeností realizační firmy. Výhodou chráničky je ale ochrana hotového díla před poškozením od následných stavebních prací (realizace podzemních stěn). [5,24]
- **Varianta 2c – klasické štolování hornickým způsobem.** Metoda umožňuje razit profily různých kruhových i nekruhových tvarů od 3 – 20 m², v přímé trase i obloucích, požadovaném stoupání i úpadu. Ražba štoly je zahájena ze startovací šachty. Pažení štoly se provádí ocelovými pažnicemi UNION (hnané pažení), výztuž štoly je provedena pomocí zvonkové výztuže, použití pražských rámu je zde především ze statických důvodů nevhodné. Po vyražení štoly se provede instalace KT a jejich následné obetonování (např. pomocí popílkobetonu). Výztuž štoly bude ponechána. Při provádění klasickou metodou ražení hrozí průval vod a zvodnělého materiálu vzhledem k ploše čelby a bylo by proto nutné navrhnout vhodné opatření k jejímu zajištění. I přes snížení HPV by bylo nutné zajištění nejen čelby pomocí např. tryskové injektáže. Použití tryskové injektáže není také žádoucí i z důvodu ochrany přírody. Oblast je vsakovacím územím pro zdroj pitné vody pro místní

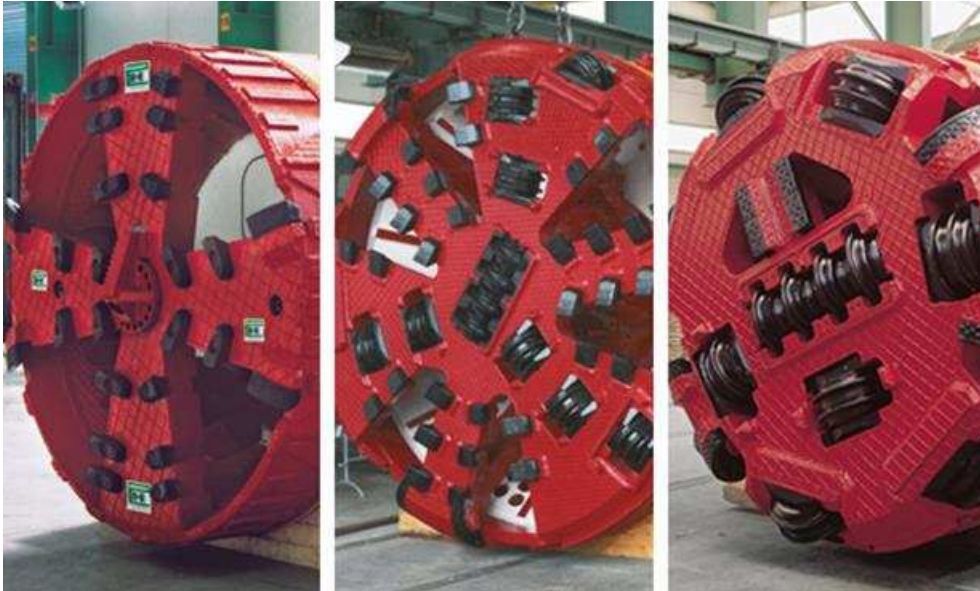
pivovary. Tato metoda je investičně a časově náročnější než předchozí dvě varianty a z toho důvodu je také zavržena. [24,28]



Obrázek 2.4 - Ukázka klasického štolování hornickým způsobem [28]

- **Varianta 3a – mikrotunelování.** Pro realizaci raženého úseku v **části 3** byla zvolena technologie ražby pomocí mikrotuneláže s hydraulickou dopravou zeminy. Hlavními důvody výběru jsou hloubka uložení potrubí a složité geologické a hydrologické poměry. Technologie má mít malé nároky na zábor veřejného prostranství a rychlost výstavby se bude pohybovat v až cca 15 m za den. Množství rubaniny je významně menší oproti variantě 3b (štolování). Odtěžení materiálu je prováděno hydraulicky pomocí uzavřeného systému tvořeného směsí bentonitu a vody. Na povrchu se separují vlastní hlušina (rubanina) a voda s bentonitem cirkuluje zpět na čelo ražby. Toto technické řešení umožňuje minimalizaci zásahů do horninového prostředí a ovlivnění systémů proudění podzemní vody. KTP DN 1000 budou protlačovány ze startovací šachty do šachty cílové. Trouby budou vkládány bezprostředně za vrtnou soupravu s vrtnou hlavou navrženou pro danou geologii (viz. obrázek 2.4). Délka jednotlivých úseků může být až 150 m. Zde jsou navrženy maximální úseky po 100 m, v místě startovacích a cílových šachet se následně osadí šachty revizní (vzdálenost revizních šachet po 100 m byla projednána a schválena správcem stavby). Jelikož se o řízenou metodu protlačování, je možné provádět výškové i směrové korekce. Metoda

nepředstavuje prakticky žádné riziko pro okolní povrchové objekty, ani objekty pod zemí (ostatní inženýrské sítě). I přesto je celá stavba navržena a bude prováděna dle pravidel observační metody, neboť předpověď geotechnického chování konstrukce je velmi obtížná. Navíc je třeba dokázat „třetím“ osobám, že nedošlo k neoprávněnému poškození cizího majetku. [24]



Obrázek 2.5 – Typy vrtných hlav – standartní (vlevo), kombinovaná (uprostřed) a skalní (vpravo) [12]

- **Varianta 3b – klasické štolování hornickým způsobem.** Možnou alternativou k technologii ražby pomocí mikrotuneláže je klasické štolování hornickým způsobem. Jak bylo již zmíněno u varianty 2c, tato metoda je ohrožena průvalem vod a zvodnělého materiálu. Z toho vyplývající opatření (např. trysková injektáž) jsou pro raženou část o délce 778,3 m neekonomická a také by výstavbu výrazně časově prodloužily.

Z výše uvedených důvodů byla jako nejvhodnější technologie pro **část 2** zvolena varianta 2a – ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě a pro **část 3** zvolena varianta 3a – mikrotunelování. V následujících blocích budou vybrané varianty detailněji popsány.

2.4 Technické řešení části 2 - varianta 2a – ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě

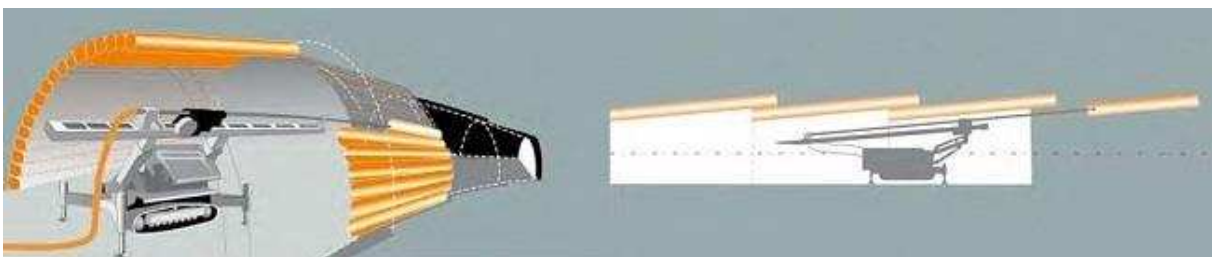
Stavební práce začnou opatřením pro snížení HPV pod potřebnou niveletu. Eventuálně lze začít i startovací šachtou SŠ1, neboť je navržena z převrtávaných pilot (zejména ze statických důvodů), které zamezí průnik podzemní vody do šachty. Opatření dočasného odvodnění, které slouží primárně pro odvodnění samotné stavební jámy pro severní portál, se bude provádět pomocí čerpacích studní a těsnící podzemní stěny. Studny jsou vrty vystrojené obsypem a zárubnicí. Dočasné odvodnění je navrženo tak, aby depresní křivky snížené HPV v době výstavby probíhaly pod úrovní nejhlubšího výkopu (té dané etapy výstavby). Celý odvodňovací systém bude v provozu pouze po dobu trvání stavebních prací. Po jejich ukončení bude v provozu pouze omezený systém tvořený drenážní podzemní stěnou a gravitačním odvodňovacím systémem (průvrty). Systém zajistí HPV v přesně dané úrovni s ohledem na statiku podzemní stěny zajišťující trvale severní portál včetně stability předzářezu. Snižování HPV bude nutné provádět postupně. V případě rychlého poklesu HPV může dojít ke snížení stability přilehlých objektů. Dále pak snižování HPV vyžaduje nepřetržitý provoz, který musí být zajištěn záložním zdrojem energie v případě výpadku elektrické sítě. [5,24,27]

V druhé fázi výstavby bude vytvořena kruhová startovací šachta SŠ1 o světlém \varnothing cca 5,5 m, která bude společná pro trubní protlak i mikrotunelování. Rozměry stavební šachty vychází z rozměrů potenciálního možného razícího stroje pro mikrotunelování a z délky protlačovaných trub. Proto musí být zpracována realizační dokumentace, která bude uzpůsobena konkrétnímu vybranému strojnímu zařízení a technologickým možnostem vybraného zhotovitele. SŠ1 bude provedena z převrtávaných pilot \varnothing 880 mm, kde bude vždy jedna vyztužená pilota vyvrtána mezi dvě piloty nevyztužené. Tento typ šachty má dobrou statickou odolnost s ohledem na hloubku dna šachty, která je 13,8 m. Šachta bude opatřena železobetonovým dnem s malou čerpací jámkou, odkud se voda bude čerpat do úpravny důlních vod. Při výstavbě bude nutné zajistit separaci pevných nerozpuštěných látek a vodu čerpat do uklidňující a sedimentační jámky umístěné na povrchu poblíž šachty. Po předčištění bude voda vypuštěna do recipientu Dobrovodského potoka. Po dokončení trubního protlaku a mikrotuneláže bude v místě SŠ1 osazena prefabrikovaná revizní šachta. [5,24]



Obrázek 2.6 - Trubní protlak ocelové chráničky DN 1000 na stavbě odkanalizování Novomlýnské věže, Praha 1

Po dokončení startovací šachty se začne s dovrchním protlačováním ve sklonu 0,5 %, celkové délky cca 45 m. Z důvodu nebezpečí průvalu vod a zvodnělého materiálu bude provedeno nejprve bezpečnostní opatření v podobě tryskové injektáže v délce cca 20 m (vodorovný proinjektovaný sloup o cca \varnothing 0,8 m). Vrt tryskové injektáže se provede v maximální možné délce, která je však limitovaná strojním vybavením. Ve zbývajícím úseku ražby bude použité opatření v podobě jehlování. Metoda jehlování spočívá v injektáži polyuretanem pomocí jehel, které jsou manuálně zaraženy v délce cca 1 m před čelo ražby. Pak následuje odebrání rubaniny na čele v délce cca 0,5 m a opětovná injektáž jehlováním. Injektážní směs bude volena tak, aby stabilizoval čelbu, ale zároveň byla snadno těžitelná (max. pevnost v tlaku 1 – 2 MPa). [5,24]



Obrázek 2.7 – Vytváření obálky z jednotlivých sloupů tryskové injektáže pro zajištění následného výrubu štoly tunelu [27]

Na čele ražby bude umístěný nemechanizovaný razící štít. Ocelová roura bude seříznutá pod úhlem 60°, tím tak bude vytvořen štítek. Přední část štítu bude zajištěna aktivním pažením z fošen nebo trámů, které budou opřené o ocelové profily navařené v horní části štítu. V zadní části štítu bude přivařena příruba se šrouby, která bude sloužit pro přenesení a rovnoměrné roznesení tlačné síly od KTP DN 1000 instalovaných přímo za štítem. Díky šroubům bude umožněna částečná korekce směru ražby. V zajištěném prostoru štítu bude rubanina mechanicky rozpojována obsluhou a následně nakládána na vozíky. Vytěžená rubanina bude transportována startovací šachtou a ukládána poblíž šachty. Protlačovat se bude pomocí hydraulické tlačné soupravy opřené o opěrný blok umístěný ve startovací šachtě. Opěrný blok bude po dokončení protlaku odstraněn. I zde bude nutné zajistit bezpečné přenesení tlačné síly na KTP pomocí roznášecího prstence. Maximální tlačná síla je 5700kN, která vychází z návrhu KTP DN 1000 o délkách trub 2 m. Pokud dojde k průvalu vod a zvodnělého materiálu, bude důležité provést rychlé zastavení (začlívání) a zajištění vzniklé kaverny pomocí dřevité vaty a místo zainjektovat. Staničení a přibližný objem průvalu bude zaznamenán do stavebního deníku. Každá druhá protlačovaná trouba bude opatřena injektážní otvorem, kterým pak lze místo průvalu vyplnit injektáží. [5,24]

Před zahájením prací bude zajištěno zhotovitelem provedení geometrického zaměření směru protlaku. V rámci GTM se bude měřit HPV v čerpacích studních a bude pravidelně měřeno sedání nadloží. Po celou dobu protlačování bude při pracovních přestávkách zajištěna zemina na čelbě proti sesunutí pomocí aktivního pažení. Po dokončení protlaku se provede zaslepení ocelového štítu navařením dvou ocelových kusů na čelo štítu. Následné napojení na OLK proběhne v další etapě výstavby, kdy bude již proveden výkop pro severní portál. V místě ocelového štítu se osadí revizní šachta, která bude napojena do OLK. [5,24]

Alternativně lze provést ražbu protlačováním ocelové chráničky DN 1620/14, která bude následně vystrojena polyethylenovým potrubím DN 1000 (subvarianta 2a). Vzniklý meziprostor bude po vystrojení vyplněn CPS. Tato subvarianta je finančně náročnější na realizaci, avšak umožňuje následné doinjektování v kterémkoli místě a lepší následné vyrovnání sklonu potrubí vlivem nepřesnosti ražby. V době realizace může být technologický postup upraven zhotovitelem stavby v závislosti na skutečných geologických a hydrogeologických poměrech v daném místě protlačování. [5,24]

2.5 Technické řešení části 3 - varianta 3a – mikrotunelování

V části 3 je ražba technologií mikrotunelování nejvhodnější z důvodu hloubky uložení potrubí, složitosti geologických poměrů, nivelety HPV, rychlosti výstavby, hlučnosti technologického souboru apod. V daných podmínkách prakticky neexistuje technicky realizovatelná alternativa, která by byla ekonomicky srovnatelná. Po dokončení realizace trubního protlaku (varianta 2a) začne proces mikrotunelování. Výstavba varianty 3a však může předcházet variantě 2a, záleží na rozhodnutí zhotovitele stavby. [5,24]

Mikrotunelování je plně mechanizovaná, kontinuálně říditelná a dálkově ovládaná jednostupňová metoda protlačování podzemních vedení. KTP jsou protlačovány ze startovacích šachet do šachet cílových. Každá startovací šachta (kromě SŠ1) bude využita k protlačování do dvou směrů o max. délce 100 m. Před KTP je zatlačován plně mechanizovaný štít s vlastním drtícím, naváděcím systémem a systémem hydraulického odtěžování. Ve startovací šachtě je umístěn vodící rám, opěrná stěna, tlačná stanice a systém čerpadel a rozvodů. Odtěžování je hydraulické, pomocí výplachu tvořeného bentonitem a vodou. Stroj vytváří tlakovou rovnováhu mezi výplachem a okolním horninovým prostředím včetně podzemní vody. Protlačovat se budou KTP DN 1000 mm délky 2 m a vnějším \varnothing 1275 mm, které budou vkládány postupně za razicí stroj. Musí splňovat také podmínky na přenesení tlačných sil a na přesnost provedení (tolerance provedení trouby). Výsledkem bude kanalizace DN 1000 mm o sklonu cca 0,25 % s kontrolními šachtami. Spoje tlačných rour jsou dostatečně těsné a vytváří vodonepropustný celek. [5,24]

Hloubené jámy pro SŠ1, SŠ3, SŠ5, SŠ7, SŠ9 budou použity jako startovací šachty a jámy KŠ2, KŠ4, KŠ 6, KŠ8, KŠ10 budou použity jako šachty cílové, které slouží k vytažení razicího štítu. Všechny startovací šachty (kromě SŠ1) o světlém profilu 6,0 x 4,0 m budou provizorně zajištěny pomocí zaberaněných ocelových štětovnic (např. Larssen), které budou rozepřeny pomocí rámu z ocelových válcovaných profilů. Cílové šachty slouží pouze pro dojezd a vytažení technologického souboru (štítu). Půdorysné rozměry cílových šachet jsou menší než u šachet startovacích (3,5 x 3,5 m), jelikož zde není nutné umístit tlačnou stanici. Provizorní primární zajištění cílových šachet je obdobné jako u startovacích šachet. [5,24]



Obrázek 2.8 – Řídicí kabina [29]



Obrázek 2.9 – Navigační systém [29]



Obrázek 2.10 – Separační jednotka [29]



Obrázek 2.11 – Trubky pro výplach [29]

Práce vždy začnou instalací těsnění ve startovací šachtě z důvodu protlačování pod HPV. Těsnění, které bude instalováno i v cílové šachtě, zamezí se tak průnik podzemní vody a zeminy do šachty. Poblíž startovací šachty bude umístěn kontejner s řídicí kabinou (viz. obrázek 2.8) a elektromotory, dále zde bude další pomocné vybavení. Musí být zajištěn dostatečný přívod elektrické energie pro činnost vrtného stroje, separační jednotky (viz. obrázek 2.10), čerpadel apod. Pokud nebude možné zajistit externí přívod cca 300 kVA potřebný pro činnost celého systému, bude tak nutné zajistit generátory o příslušném výkonu. Činnost generátoru však s sebou

přináší zvýšený hluk v místě stavby. Následně bude do šachty osazen tlačný rám s hydraulickými písty (viz. obrázek 2.12), který bude nasměrován do protlačovaného směru pomocí přesného geodetického zaměření přeneseného z povrchu. Bude provedeno i výškové urovnání rámu. Prostor mezi tlačným rámem a startovací šachtou bude vyplněn betonem a vznikne tak opěrný blok, který bude po skončení protlačování odstraněn. [5,10,24]



Obrázek 2.12 – Tlačný rám s hydraulickými písty [29]

V této fázi bude do šachty spuštěn již smontovaný mikrotunelovací stroj (viz. obrázek 2.13). Bude provedeno nastavení navigačního systému – laser umístěný ve startovací šachtě spolu s terčem připevněným na razícím stroji (viz. obrázek 2.9). Dále budou propojeny trubky pro výplachovou směs (viz. obrázek 2.11), budou zapojeny hydraulické hadice a elektrické kabely. Nyní bude stroj tlačěn se současným odtěžováním zeminy. Po plném zatlačení stroje bude provedeno odpojení trubek, hydraulických hadic a kabelů. Hydraulický píst bude stlačen zpět do počáteční pozice a do startovací šachty bude vložena první KTP. Následuje opětovné propojení trubek pro výplach, hydraulických hadic a kabelů, které jsou umístěny uvnitř KTP a vrtném stroji. Trubní segment bude zatlačen se současným odtěžováním zeminy a tyto výše uvedené kroky budou opakovány do té doby, než protlačováním bude dosaženo vyhotovené cílové šachty opatřené těsněním. Vrtný stroj bude vytažen z cílové šachty a vložen zpět do startovací šachty, ze které se bude pokračovat v opačném směru. [5,10,24]



Obrázek 2.13 – Mikrotunelovací stroj AVN 1000XC se standartní vrtnou hlavou a vodním tryskovým systémem [29]

Vzhledem k mikrotunelování v soudržných a lepivých horninách bude razící štít opatřen vysokotlakými tryskami umístěnými v drtiči (viz. obrázek 2.13). Vstřikováním vody pod tlakem bude zamezeno ucpání odtokového potrubí a bude optimalizován posun rubaniny. Předpokládaná doba výstavby odvodňovací stoky je cca 1 rok. Odhadovaná cena za běžný metr mikrotunelování včetně potrubí je cca 64 000 Kč/bm. Mikrotunelování spadá svým charakterem do tzv. „Činnosti prováděné hornickým způsobem (ČPHZ)“, která je dle Zákona 61/1988 Sb. - §3 ČPHZ dozorována Státní báňskou správou. [5,29]

3. VYHODNOCENÍ NAVRŽENÝCH VARIANT A DISKUSE

V následující kapitole budou navržené varianty zhodnoceny po technické a ekonomické stránce. Hlavní kritériem pro výběr dané varianty jsou rizika v průběhu výstavby (bezpečnost), celkové investiční náklady, je však zohledněna i doba výstavby nebo přesnost provedení.

3.1 Technické zhodnocení

V **části 2** představuje navržená varianta 2a (ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě) bezpečné, rychlé a levné řešení. Vzhledem k půdorysnému umístění v těsné blízkosti opěrné zdi a uložení kanalizace v hloubce cca 13 m se v daných geologických a hydrogeologických podmínkách jedná o nejlepší možné technické řešení. Předložené řešení dále vychází z nemožnosti zhotovení cílové šachty z důvodu doposud nevyřešených vlastnických poměrů pozemků. Další riziko je zde nemožnost realizace dlouhých kotev pro zajištění stavební jámy (nepovoleno vlastníky pozemků), proto musí být realizovány příčná nosná žebra podzemní stěny, včetně trvalého snížení HPV na předem stanovenou úroveň na základě statického výpočtu, ve kterém je stanovena trvalá HPV působící na podzemní stěnu.

Ražba bude probíhat pod ochranou ocelového štítu, který bude tlačěn ze startovací šachty. Ve startovací šachtě v místě tlačného zařízení se budou vkládat kameninové trouby pro protlačování. Stabilita čelby bude zajištěna tryskovou injektáží a následným jehlováním, neboť se jedná o zvodnělé nestabilní prostředí, kde hrozí průval vody a zvodnělého materiálu. Ke zlepšení bezpečnosti přispívá i zajištění čelby aktivním pažením, které tak zmenší raženou plochu. Varianta 2b - neřízené vrtání vyžaduje daleko větší rozměry na startovací šachtu, varianta 2c - technologie klasické ražby vyžaduje opatření v podobě zajištění nejen čelby tryskovou injektáží, a tudíž je i finančně náročnější. Při realizaci ruční ražby je důležité předcházet rizikům vyvalením čelby, které jsou však předem navržené v projektové dokumentaci a tím se tak eliminuje následné nežádoucí sedání. Nelze však naprosto vyloučit, že tento jev nastane. Proto se počítá i s nouzovým řešením v podobě rychlé sanace vzniklé kaverny, např. vložením dřevité vaty a injektáže. Velmi důležitou roli zde plní opatření pro snížení podzemní vody. Navržené čerpací studně společně s těsnící stěnou snižují

rizika s vyvalením čelby, na druhou stranu budou výrazně ovlivňovat sedání stávajících objektů v zóně ovlivnění, které mohou mít následné stabilitní problémy. Objekty v zóně ovlivnění budou sanovány v předstihu. Vše je důležité dopředu sledovat, posuzovat, dokumentovat v rámci pravidel GTM a observační metody.

V **části 3** je varianta 3a – mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy nejvhodnější z důvodu hloubky uložení potrubí, geologických poměrů, budování díla pod HPV, rychlosti výstavby, hlučnosti technologického souboru apod. Ze startovací šachty se budou protlačovat kameninové trouby pro protlačování vkládané bezprostředně za mechanizovaný razící štít. Mikrotunelování je řízená metoda, která umožňuje upravovat výškové i směrové odchylky od požadovaného směru v průběhu výstavby. Touto technologií lze realizovat kanalizace s příslušným minimálním sklonem a požadované přesnosti. Hlavní rizika při provádění mohou nastat při náhlých změnách geologických poměrů a při výskytu antropogenních zbytků staveb (nepředpokládané překážky v trase vrtu). Dalším rizikem je neodborná manipulace se strojním zařízením plynoucí z nedostatečné zkušenosti obsluhy realizační firmy.

3.2 Ekonomické zhodnocení

Součástí diplomové práce je i porovnání hlediska investičních nákladů (příloha č. 2). Vyhodnocení je sestaveno na základě jednání s potenciálním zhotovitelem projektu, projektantem a dodavatelem strojního vybavení. **Pro část 2** představuje navržená varianta 2a (ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě) ekonomicky nejvýhodnější řešení. **V části 3** je pak varianta 3a (mikrotunelování) ekonomicky výhodnější než varianta 3b (klasické štolování hornickým způsobem). Navržená řešení mají nejnížší celkové investiční náklady, které jsou složeny z nákladů na použité materiály, rozsahu zemních prací, nákladů na použité BT a ostatních nákladů, zejména cena rizika zhotovení díla.

4. ZÁVĚR A DOPORUČENÍ

Náplní diplomové práce bylo předložit ucelené informace o bezvýkopových technologiích, dále pak na skutečném případě ukázat možnosti nasazení těchto technologií. Práce konkrétně řešila odvodnění části tunelu Pohúrka a severního příportálového předzářezu na budoucí dálnici D3 v oblasti Českých Budějovic. Z technologických a časových důvodů (nemožnost vyhotovení cílové šachty z důvodu sporů s vlastníky pozemků apod.) zde bylo důležité navrhnout variantní řešení výstavby dešťové kanalizace (situované v místě budoucí stavební jámy severního portálu tunelu Pohúrka), které vycházelo z požadavků investora stavby. Hlavními kritérii výběru technicky realizovatelných variant byla především eliminace rizik v průběhu výstavby (bezpečnost) a minimalizace celkových investičních nákladů na realizaci.

V teoretické části práce byly nejdříve vysvětleny základní pojmy z dané oblasti, následně byly popsány nejvíce používané BT pro výstavbu nových podzemních vedení. Ke každé technologii byla uvedena její stručná charakteristika, pro lepší pochopení byly uvedeny demonstrativní schémata a fotografie z praxe. V dalším bloku byla provedena rešerše z oblasti stokování. Po úvodu do problematiky následovalo rozdělení stokových systémů a soustav, popsání objektů na stokové síti, odvodňovacích zařízení, ale i samotný návrh stokových sítí. V posledním bloku teoretické části byla popsána související legislativa.

V praktické části došlo nejdříve k popisu celého připravovaného úseku stavby dálnice D3 u Českých Budějovic, dále byly popsány dvě řešené části. Po definování problému byla předložena variantní řešení. Pro tyto řešené části byly následně vybrány nejvhodnější varianty, které byly v dalších blocích detailněji rozpracovány z hlediska technického řešení a stavebního postupu. V závěru byly navržené varianty technicky a ekonomicky vyhodnoceny a k možným rizikům vyplývajícím ze stavby byly navrženy příslušná bezpečnostní opatření.

- V **části 1** (úsek středové dálniční kanalizace až po OLK) je celý úsek navržen klasickým způsobem otevřené rýhy. Diplomová práce se proto tímto úsekem blíže nezabývá.

- V **části 2** (úsek mezi OLK a SŠ1) byla vybrána varianta 2a – ražení protlačováním s ručním rozpojováním zeminy na čelbě. Pro zajištění stability čelby byl navržen nemechanizovaný štít. Speciální ocelová roura se štítkem s možností zajištění čelby aktivním pažením bude tlačena ze startovací jámy SŠ1. Za ní budou postupně vkládány bezhrdlé kameninové trouby pro protlačování, které budou také tlačeny ze SŠ1. Z důvodu možného průvalu vod a zvodnělého materiálu na čelbě bylo navrženo opatření v podobě čerpacích studní spolu s podzemními drenážními stěnami, popř. trysková injektáž a jehlování. Trubní protlak bude probíhat v předstihu před vyhotovením opěrné zdi, umístěné v těsné blízkosti kanalizace, tím se tak eliminuje možné stabilitní riziko při výstavbě. Navržená varianta byla vyhodnocena i jako ekonomicky nejvýhodnější.
- V **části 3** (úsek mezi SŠ1 a Dobrovodským potokem) byla navržena varianta 3a – mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy. Důvody pro nasazení této technologie byly především složité geologické a hydrogeologické podmínky v trase ražby, velká hloubka uložení potrubí, požadavky na přesnost uložení potrubí, rychlost instalace potrubí, bezpečnost při výstavbě a jiné. Bezprostředně za mikrotunelovací stroj budou vkládány bezhrdlé kameninové trouby pro protlačování, které budou tlačeny ze startovacích šachet. Tato varianta byla vyhodnocena jako bezpečnější a ekonomicky výhodnější řešení oproti alternativě ražby klasickým způsobem (štolováním).
- Trasa stoky v **části 3** je navržena v zastavěném území města České Budějovice. V potenciální zóně ovlivnění se nachází jak nízkopodlažní zástavba rodinných domků, tak i výstavba vysokých panelových objektů. V dané oblasti byla vytyčena zóna možného ovlivnění včetně zóny sledování. V této zóně je a bude prováděn GTM. Jedna z prvních prací je podrobná pasportizace objektů a jejich sledování ještě před zahájením výstavby. To umožní objektivně ohodnotit případné škody na objektech v zóně ovlivnění, zjištěné na závěr stavby v rámci repasportizace objektů. Vlastní finanční ohodnocení případných vzniklých škod pak provede na základě posouzení výše uvedených materiálů soudní znalec. Proto musí být GTM prováděn organizací nezávislou na zhotoviteli díla.

- Obecně mezi investory, projektanty, zhotoviteli a provozovateli panuje značná nejednotnost ve využívání BT a stupni informovanosti o nich. Bezvýkopové metody patří mezi úzce specializované technologie. Pro projektování, vypisování a zadávání zakázek jsou zapotřebí odborné znalosti a dlouholeté zkušenosti. Z toho důvodu by tyto úkony měli provádět pouze dostatečně kvalifikovaní a zkušení odborníci.
- Obor BT se stává velmi perspektivním a je jen otázkou času, kdy managementy měst a obcí začnou nebo budou muset začít BT upřednostňovat před klasickou metodou otevřeného výkopu. Prvním krokem k úspěšnosti budoucích projektů může být např. zpracování ucelených nástrojů v podobě kvalitních legislativních či technických norem nebo kvalitních firemních podkladů.
- Důležitá je vzájemná spolupráce všech účastníků výstavby. Spolupráce těchto osob je zcela zásadní a bez vzájemného předávání informací nelze úspěšně dokončit jakoukoli stavbu. Nedílnou podmínkou dobré realizace je i kvalitní inženýrsko-geologický průzkum nebo nezávislé provádění GTM.

Závěrem lze konstatovat, že teoretická i praktická část diplomové práce potvrzuje skutečnost, že využití BT je v jistých případech bezpečnější, ekonomicky přijatelnější, časově výhodnější a ekologičtější způsob výstavby podzemních vedení.

SEZNAM LITERATURY A PODKLADŮ

- [1] BEZROUK, Jiří a kolektiv autorů. *Zásady pro využití bezvýkopových technologií v oboru vodovodů a kanalizací*. Praha: Medim, spol. s.r.o., 2008. 144 s. ISBN 978-80-87140-07-9.
- [2] RACLAVSKÝ, Jaroslav. *DOS M 01.01.BVT Slovník pojmů ve výstavbě bezvýkopové technologie*. Praha: Informační centrum ČKAIT, spol. s r.o., 2004. 128 s. ISBN 80-86769-24-0.
- [3] ČSN 75 6230 *Podchody stok a kanalizačních přípojek pod dráhou a pozemní komunikací*. Praha: Český normalizační institut, červen 1998.
- [4] KLEPSATEL, František a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Bezvýkopová výstavba a obnova podzemních vedení*. 1. české vydání. Bratislava: JAGA GROUP, spol. s r.o., 2007. 144 s. ISBN 978-80-8076-053-3.
- [5] Interní zdroj firmy Hydrotechnik Praha spol. s r.o.
- [6] ČSN EN 12889 *Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, únor 2001.
- [7] Řízené protlaky: Vytyčení inženýrských sítí [online]. Talparpf.cz [cit. 2017-07-11]. Dostupné z WWW: <http://www.talparpf.cz/rizene-protlaky.html>.
- [8] Standardy CzSTT pro bezvýkopové technologie [online]. Czstt.cz [cit. 2017-08-11]. Dostupné z WWW: <http://czstt.cz/standardy-czstt-pro-bezvykopove-technologie-0>
- [9] BARTÁK, Jiří a kolektiv autorů. *Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR*. Svazek 7. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, z. s., 2014. 100 s. ISBN 978-80-260-5957-8.
- [10] NAJAFI, Mohammad. *Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods*. New York, USA: The McGraw-Hill Companies, Inc., 2013. 582 s. ISBN 978-0-07-176245-8.
- [11] Český báňský úřad: Předmět činnosti [online]. Cbusbs.cz [cit. 2017-09-11]. Dostupné z WWW: <http://www.cbusbs.cz/index.php/cesky-bansky-urad/predmet-cinnosti.html>.
- [12] Tunnelling: AVN Machine. Herrenknecht.com [cit. 2017-30-10]. Dostupné z WWW: <https://www.herrenknecht.com/en/products/core-products/tunnelling/avn-machine.html>.

- [13] BARTÁK, Jiří a kolektiv autorů. *Uživatelská příručka pro mechanizované tunelování v podmínkách ČR*. Svazek 7. Praha: Česká tunelářská asociace ITA-AITES, z. s., 2014. 100 s. ISBN 978-80-260-5957-8.
- [14] Zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010–2016 [cit. 2017-12-11]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-274>.
- [15] NOVÁK, Josef a kol. *Příručka provozovatele stokové sítě*. Praha: Medim, spol. s.r.o., 2003. 151 s. ISBN 80-238-9947-3.
- [16] *Městské standardy vodovodů a kanalizací na území hl. m. Prahy: Kanalizační část. 3. aktualizace*. Praha, říjen 2015.
- [17] KLEPSATEL, František a Libor MAŘÍK. *Městské podzemní stavby 1. české vydání*. Bratislava: Jaga, 2005. 285 s. ISBN 80-8076-021-7.
- [18] ČSN 75 0161, *Vodní hospodářství – Terminologie v inženýrství odpadních vod*. Praha: Český normalizační institut, říjen 2008.
- [19] KANALIZAČNÍ STOKY [online]. Ing. D. Hánková, Zpracováno pro projekt CTU0513011(2005) [cit. 2017-12-11]. Dostupné z WWW: <http://people.fsv.cvut.cz/www/hanekpav/K154/PDF/Stokovani.pdf>.
- [20] RACLAVSKÝ, Jaroslav. *Přednáška: BP51 Inženýrské sítě 5. Stokové sítě*. Brno: Ústav vodního hospodářství obcí, Fakulta stavební, VUT v Brně, 2012.
- [21] POLLERT, Jaroslav. *Přednáška: 144VIN Vodohospodářské inženýrství. Stokování*. Praha: České učení technické v Praze, 2016.
- [22] TP 83, *Odvodnění pozemních komunikací – technické podmínky*. Praha: Ministerstvo dopravy, odbor pozemních komunikací, 2014.
- [23] ČSN 75 6101, *Stokové sítě a kanalizační přípojky*. Praha: Český normalizační institut, duben 2012.
- [24] Interní zdroj firmy PRAGOPROJEKT a.s.
- [25] Dálnice D3 Úsilné – Hodějovice stavba 0310/I: Informační leták, stav k 01/2017 [online]. Ředitelství silnic a dálnic ČR [cit. 2017-21-11]. Dostupné z WWW: <http://www.dalniced3.cz/public/files/documents/0310-i-infoletak-d3-usilne-hodejovice-1484154431261-2017-01.pdf>.
- [26] Dálnice D3: Praha – Tábor – České Budějovice – Rakousko [online]. Ceskedalnice.cz [cit. 2017-21-11]. Dostupné z WWW: <http://www.ceskedalnice.cz/dalnice/d3/>.

- [27] Odvodňování, trysková injektáž [online]. Zakládání staveb, a. s. [cit. 2017-10-12]. Dostupné z WWW: <http://www.zakladani.cz/>.
- [28] Ražba štol [online]. STAVOREAL Brno, spol. s r. o. [cit. 2017-03-12]. Dostupné z WWW: <http://www.protlaky-mikrotunelovani.cz/sluzby-mikrotunelaz-protlaky-hloubeni-pazeni-sachet-stitovani-razba-stol/razba-stol-klasicke-stolovani-hornicky-zpusob-pazeni-stoly-vystrojeni-stoly-obtizna-geologie/>.
- [29] Interní zdroj firmy Herrenknecht AG.
- [30] ŠRYTR, Petr a kolektiv. *Městské inženýrství (1) - technický průvodce*. Praha: Academia, 1998. 434 s. ISBN 80-200-0663-X.
- [31] MASOPUST, Jan. *Navrhování základových a pažicích konstrukcí. Příručka k ČSN EN 1997*. Praha: ČKAIT, 2012. 220 s. ISBN 978-80-87438-31-2.

SEZNAM ROVNIC

Rovnice 1 - Výpočet průtoku pro návrh odvodňovacích prvků [22]

Rovnice 2 - Výpočet redukované plochy [22]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1.1 - Rozdělení podzemní stavební technologie dle CzSTT [8]	15
Obrázek 1.2 - Metoda s propichovacím kladivem (krtkem) [5].....	16
Obrázek 1.3 - Zemní raketa ZRO 130 [5]	17
Obrázek 1.4 - Metoda vodorovného beranění s otevřeným čelem [6]	17
Obrázek 1.5 - Vodorovné beranění s otevřeným čelem, 500 Evos (Grundoram Koloss) [5]	18
Obrázek 1.6 - Metoda vodorovného vrtání se současným zatlačováním potrubí [6]	19
Obrázek 1.7 - Transport vytěžené zeminy, vrtná souprava American Augers 60-120 Turbo [5]	19
Obrázek 1.8 - Metoda mikrotunelování s hydraulickou dopravou zeminy [6].....	20
Obrázek 1.9 - Tunelovací stroj Herrenknecht AVN 800 XT [12]	21
Obrázek 1.10 - Schéma mikrotunelování [10].....	22
Obrázek 1.11 - Bezhrdlová kameninová trouba pro protlačování (KTP) – Keramo Steinzeug DN 300, použité na stavbě DIS Brno Tábor [5].....	23
Obrázek 1.12 - Metoda řízeného vrtání (HDD) [6]	24

Obrázek 1.13 - Větevový systém [15].....	27
Obrázek 1.14 - Úchytný systém [15].....	28
Obrázek 1.15 - Pásmový systém [15].....	28
Obrázek 1.16 - Radiální systém [15]	29
Obrázek 1.17 - Tlaková kanalizace [15]	30
Obrázek 1.18 - Podtlaková kanalizace [15]	31
Obrázek 2.1 - Severní (Pražský) portál tunelu Pohůrka – vizualizace [24]	39
Obrázek 2.2 - Umístění stavby D3 0310/I Úsilné – Hodějovice [25]	41
Obrázek 2.3 - Severní portál tunelu Pohůrka, rozdělení stavebních objektů na jednotlivé části [24]	43
Obrázek 2.4 - Ukázka klasického štolování hornickým způsobem [28]	51
Obrázek 2.5 – Typy vrtných hlav – standartní (vlevo), kombinovaná (uprostřed) a skalní (vpravo) [12]	52
Obrázek 2.6 - Trubní protlak ocelové chráničky DN 1000 na stavbě odkanalizování Novomlýnské věže, Praha 1	54
Obrázek 2.7 – Vytváření obálky z jednotlivých sloupů tryskové injektáže pro zajištění následného výrubu štoly tunelu [27]	54
Obrázek 2.8 – Řídicí kabina [29]	Obrázek 2.9 – Navigační systém [29] 57
Obrázek 2.10 – Separační jednotka [29]	Obrázek 2.11 – Trubky pro výplach [29]
	57
Obrázek 2.12 – Tlačný rám s hydraulickými písty [29]	58
Obrázek 2.13 – Mikrotunelovací stroj AVN 1000XC se standartní vrtnou hlavou a vodním tryskovým systémem [29]	59

SEZNAM ZKRATEK

AVN	Automatische Vortriebsmaschine Nassförderung
BT	Bezvýkopové technologie
CPS	Cementopopílková suspenze
CzSTT	Česká společnost pro bezvýkopové technologie
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
ČNR	Česká národní rada
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČPHZ	Činnosti prováděné hornickým způsobem

ČR	Česká Republika
ČSN	Česká technická norma
DN	Diametre Nominal – jmenovitý vnitřní průměr potrubí
DUN	Dešťová usazovací nádrž
EIA	Vyhodnocení vlivů na životní prostředí
EN	Evropská norma
EU	Evropská unie
GTM	Geotechnický monitoring
HDD	Horizontal Directional Drilling
HPV	Hladina podzemní vody
IS	Inženýrské sítě
ISO	International Organization for Standardization
KT	Kameninové trouby
KTP	Bezhrdlé kameninové trouby pro protlačování
NEL	Nepolární extrahovatelný látky
OLK	Odlučovač lehkých kapalin
OV	Odpadní vody
PCHK	Potrubí, chránička/y nebo kabel/y
PK	Pozemní komunikace
SO	Stavební objekt
SOVAK	Sdružení vodovodů a kanalizací
TKP	Technické kvalitativní podmínky staveb
TKP-D	Technické kvalitativní podmínky pro dokumentaci staveb
TNV	Odvětvová technická norma vodního hospodářství
TP	Technické podmínky
VL	Vzorové listy

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Hydrotechnické výpočty [24]
Příloha 2	Tabulka 3.2- Porovnání investičních nákladů [5]
Příloha 3	Část 2 - Situace severního portálu [24]
Příloha 4	Část 2 - Podélný profil [24]
Příloha 5	Část 2 - Příčný řez 1 [24]