



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

STROJNÍ ZAŘÍZENÍ PRO BEZVÝKOPOVÉ PODZEMNÍ PRÁCE

MACHINERY FOR TRENCHLESS EARTHWORKS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Roman Matušinec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Roman Matušinec**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Strojní zařízení pro bezvýkopové podzemní práce

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor technických prostředků pro bezvýkopové práce se zaměřením na technologii mikrotunelování.

Cíle bakalářské práce:

- rešerše používaných metod pro bezvýkopové práce
- vyhodnocení technických a provozních parametrů strojních celků používaných pro mikrotunelování

Seznam literatury:

VAVREK, P., HAMRÁK, H. Tunelárstvo I, Košice : ELFA, 2001, 114 s., ISBN: 80-88964-86-5.

STEIN, PARTNER GMBH: Practical Guideline for the Application of Microtunnelling Methods, 1st edition, 111 pages, Publication date: June 2005, ISBN 978-3-9810648-0-3

JOHANSEN, J., MATHIESEN, C.F. Modern Trends in Tunnelling and Blast Design, Published by: Taylor and Francis, Publication Date: January 2000, Pages: 162, ISBN: 978-9058093110

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty



ABSTRAKT

Cílem této práce bylo shrnout bezvýkopové technologie se zaměřením na mikrotunelování, včetně strojních celků a provést rozbor jejich technických parametrů. Práce je rozdělena na základní 4 části. První část popisuje obecně bezvýkopové technologie. Druhá část se zaměřuje na bezvýkopové metody. Obsahem třetí části je rozdělení mikrotunelovacích prací a jejich popis. Poslední část obsahuje vyhodnocení parametrů strojních celků od jednotlivých výrobců. Práce je rešeršního typu a neobsahuje vlastní návrhy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Bezvýkopová technologie, mikrotunelování, mikrotunelovací stroj, šnekový dopravník, odstraňování zeminy

ABSTRACT

Aim of this thesis is to sum up trenchless technology focusing on microtunneling. The thesis is divided into 4 basic parts. First part describes general trenchless technology. Second part focuses on trenchless methods. Third part's content is dividing microtunnelling works and their description. Last part contains evaluation of machinery parameters from individual manufacturers. The thesis is written in recherche style and doesn't contain my own drafts.

KEYWORDS

Trenchless technology, microtunneling, microtunneling machine, screw conveyor, soil removal



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MATUŠINEC, R. *Strojní zařízení pro bezvýkopové podzemní práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 36 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Přemysla Pokorného, Ph.D. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017

.....

Roman Matušinec



PODĚKOVÁNÍ

Děkuji především panu Ing. Přemyslu Pokornému, Ph.D. za odborné vedení a poskytnutí cenných informací při zpracování této bakalářské práce a také své rodině za velkou podporu a trpělivost během celého studia.



OBSAH

Úvod	9
1 Cíle práce	10
2 Bezvýkopové technologie.....	11
3 Metody bezvýkopových technologií	12
3.1 Bezvýkopová konstrukční metoda (TCM).....	12
3.2 Bezvýkopová obnovovací metoda (TRM).....	13
4 Bezvýkopové práce se zaměřením na mikrotunelování	14
4.1 Rozdělení bezvýkopových prací	14
4.2 Mikrotunelování obecně	15
4.3 Mikrotunelování se šnekovým dopravníkem.....	16
4.4 Mikrotunelování s hydraulickým odstraňováním zeminy	18
4.5 Mikrotunelování s pneumatickým odvodem zeminy.....	20
4.6 Mikrotunelování s rozrušováním potrubí	22
4.7 Mikrotunelování s jiným mechanickým odstraňováním zeminy.....	22
5 Strojní zařízení pro mikrotunelování	23
5.1 Firma Akkerman	23
5.2 Firma Herrenknecht	26
5.3 Firma Iseki	29
5.4 Firma Robbins.....	31
5.5 Firma TERRA	32
Závěr.....	33
Použité informační zdroje.....	34
Seznam použitých zkratk a symbolů	36



ÚVOD

Budování pomocí bezvýkopových metod je velmi známé po celém světě a provádí se již několik desítek let. Vzhledem k progresivnímu růstu stavebního průmyslu se tyto metody, využívají v hustě zastavených městských částech pro překonání rychlostních komunikací, železničních stanic, pod mořskou hladinou a dalších různých překážek. Velkým přínosem těchto bezvýkopových metod je větší čistota vůči dopravním komunikacím, nižší investiční náklady z hlediska nutnosti dopravy těžké stavební techniky a nákladů na projekt. Nevyžadují likvidaci původní komunikace a jsou šetrné k životnímu prostředí. Tyto metody se uplatňují především tam, kde vznikají problémy s bytovými zástavbami či na pozemcích, které jsou v soukromém vlastnictví.

Mikrotunelování je jedna z bezvýkopových metod, která se ve světě neustále rozrůstá a inovuje. Mikrotunelování se používá výhradně pro konstrukci tunelů v průměrech od 250 mm do 3000 mm. Pomocí této metody se instaluje potrubí pod dálnice, železnice, přístavy a oblasti citlivé z hlediska životního prostředí. Vzhledem k malým průměrům je nemožné mít obsluhu uvnitř stroje. Celý proces je dálkově řízen přes počítačovou technologii z centrálního střediska.

Z hlediska rozdílných geologických podmínek zemin se vyrábí speciální strojní zařízení. O výrobu těchto strojů se stará řada špičkových firem, které mají velké zkušenosti v tomto odvětví. Nejuznávanější výrobce je firma Herrenknecht, ale také i Iseki, Akkerman a Robbins company.



1 CÍLE PRÁCE

Cílem této práce je vytvořit přehled současných metod pro podzemní budování potrubí a tunelů bezvýkopovými technologiemi se zaměřením na mikrotunelování. Pro vypracování této práce bude použita literatura z internetových a knižních zdrojů z ČR a zahraničí, které poukazují na dostupné technologie mikrotunelování. Rovněž budou tyto mikrotunelovací metody popsány a znázorněny obrázky. Závěrem této bakalářské práce bude vyhodnocení technických a provozních parametrů strojních celků používaných při mikrotunelování.

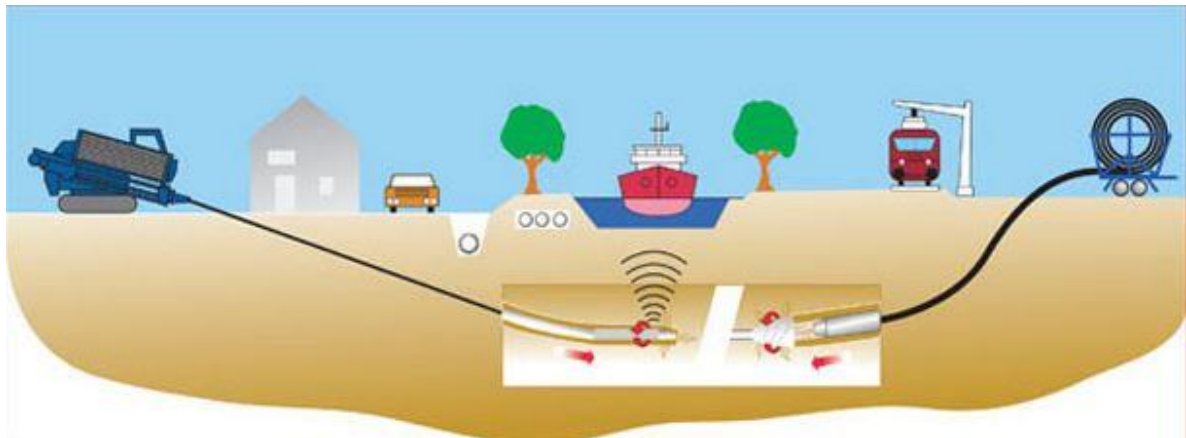


2 BEZVÝKOPOVÉ TECHNOLOGIE

Bezvýkopové technologie jsou celosvětově nejuznávanější a nejefektivnější metody z hlediska dopadu na životní prostředí, snížení hluku vůči občanům, minimalizaci poškození dopravních sítí, redukci vytěžené zeminy a ve výsledku nejlépe nákladové v porovnání s ostatními metodami.

Pod názvem bezvýkopové technologie můžeme najít metody přímé nebo nepřímé, protlaky, injektáže, tunelování, popř. vrtání. Vlastnosti bezvýkopových technologií musí zahrnovat následující funkce: instalace, výměna, rehabilitace, inspekce, umístění a detekce. Největší předností těchto funkcí je zejména jejich využití v místech, ve kterých by se tento problém jinak řešit nedal. Jedná se o situace, kde se nachází spleť kabelů nebo jsou zde vytížené dopravní komunikace.[1]

Při volbě vhodné bezvýkopové technologie a jejího nejbezpečnějšího provádění musí být brány v potaz hodnoty popisující podloží stavby. Hodnoty popisující podloží stavby určují např. tvar zrna, rozdělení zrn, geologický profil, usazování zeminy, citlivost na střídaní podmínek, výskyt podzemní vody, součinitel zemního tlaku, součinitel propustnosti, kontaminace podzemní vody a půdy pevnými látkami, plyny a tekutinami, podmínky pro využívání nebo odstraňování odpadu a další.[2]



Obr. 2.1: Použití bezvýkopové technologie[3]



3 METODY BEZVÝKOPOVÝCH TECHNOLOGIÍ

Bezvýkopové technologie mají velké členění, ale z hlediska zpracování zemin se dají rozdělit do dvou divizí:[1]

- Bezvýkopové konstrukční metody (TCM)
- Bezvýkopové obnovovací metody (TRM)

Bezvýkopová konstrukční metoda či obnovovací bez ohledu na typ nebo druh stavby závisí na těchto faktorech: typ aplikace, přesnost, rozsah práce, maximální délka instalace. Všechny tyto faktory jsou ovlivněny použitou technologií, odbornou zručností provozovatele a strukturou zeminy.

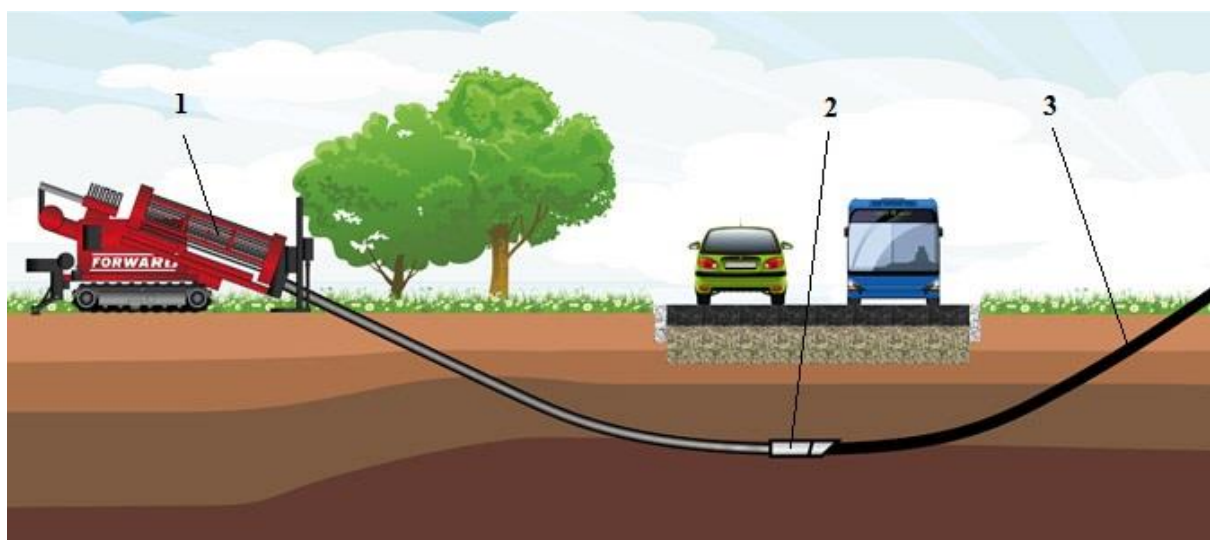
Při výběru metody se ještě musí zkontrolovat použitelnost, trvanlivost, náklady a stavební faktory. Po vyhodnocení se může zvolit efektivnější metoda.[1]

3.1 BEZVÝKOPOVÁ KONSTRUKČNÍ METODA (TCM)

Z názvu vyplývá, že tato metoda zahrnuje výstavbu a instalaci nových systémů ve zvolené lokaci, aniž by bylo za potřebí otevřeného výkopu. Tato metoda je rozdělena do dvou hlavních kategorií na základně vstupu práce:[1]

- Vstup do vrtu je požadován
- Vstup do vrtu není požadován

Pokud je vstup do vrtu požadován, jsou nejčastěji využívány metody ukládání potrubí popř. kolektorové tunelování, kdy pracovníci jsou uvnitř vrtu a manipulují s potrubním materiálem. Při horizontálním vrtání není nutností, aby pracovní byli uvnitř vrtu. Tento způsob se provádí jen mechanickým prostředky z hlediska bezpečnosti práce.[1]



Obr. 3.1: Schéma horizontálního vrtání:
1 – strojní zařízení pro vrtání; 2 – vrták; 3 – dráha vrtu;[4]



3.2 BEZVÝKOPOVÁ OBNOVovací METODA (TRM)

Tato metoda se provádí za účelem renovace systému případně nahrazení potrubí a je neustále ve fázi vývoje. U těchto metod je základem obnovit existující zásobovací systém a využívá se zde těchto metod:[1]

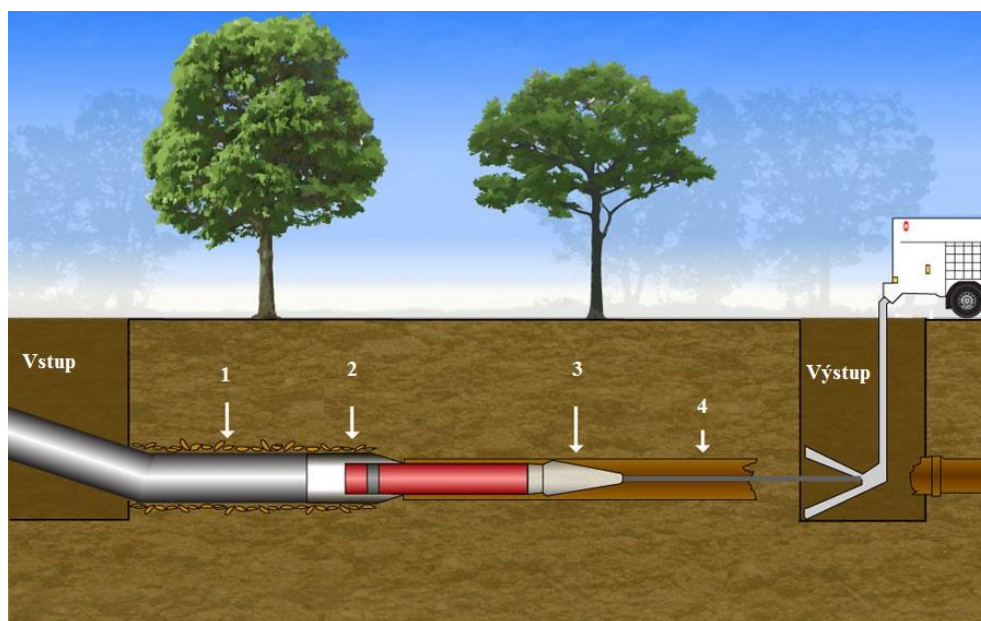
- Rehabilitace
- Renovace
- Zvětšení systému
- Obnova
- Oprava

Způsob bezvýkopové obnovy může zahrnovat následující typy:[1]

- Podzemní nátěry a podklady
- Modifikované protiskluzové obložení
- Ošetření v místě trubky
- Lokalizované opravy
- Boční obnovy
- Tepelně tvarované trubky
- Obnova kanalizační šachty

Při volbě nejvýhodnější techniky u obnovovací metody se musím zohlednit tyto důležité faktory:[1]

- Délka potrubního systému
- Typ, velikost, materiál šachet
- Fyzický stav potrubí
- Počet zapojených ohybů
- Podrobnosti o připojení služby

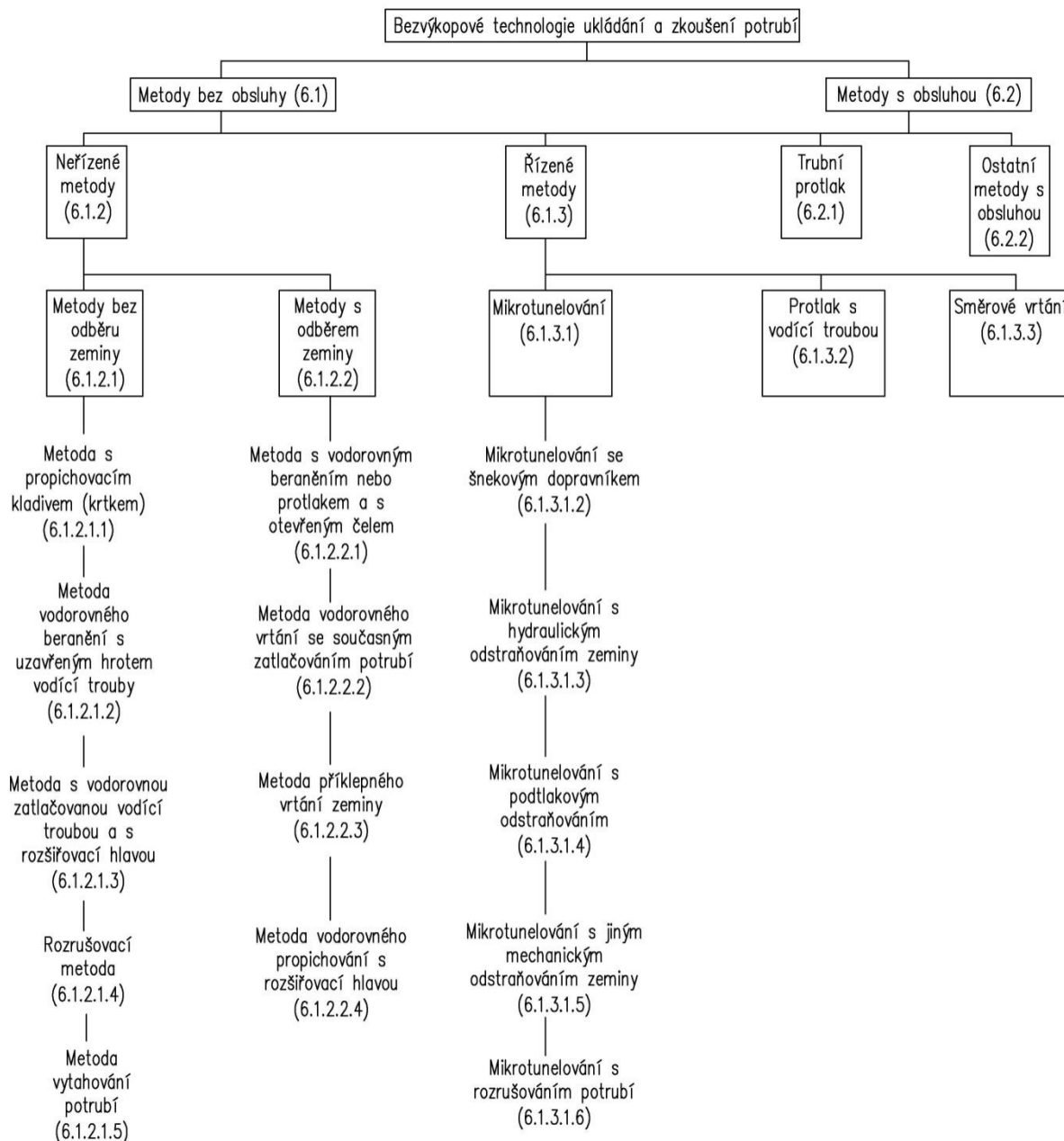


Obr. 3.2: Schéma rozrušovací metody:
1 – nové potrubí; 2 – rozrušovací hlava; 3 – vodící hlava; 4 – původní potrubí;[5]



4 BEZVÝKOPOVÉ PRÁCE SE ZAMĚŘENÍM NA MIKROTUNELOVÁNÍ

4.1 ROZDĚLENÍ BEZVÝKOPOVÝCH PRACÍ



Obr. 4.1: Bezvýkopové technologie ukládání a zkoušení potrubí[2]



4.2 MIKROTUNELOVÁNÍ OBECNĚ

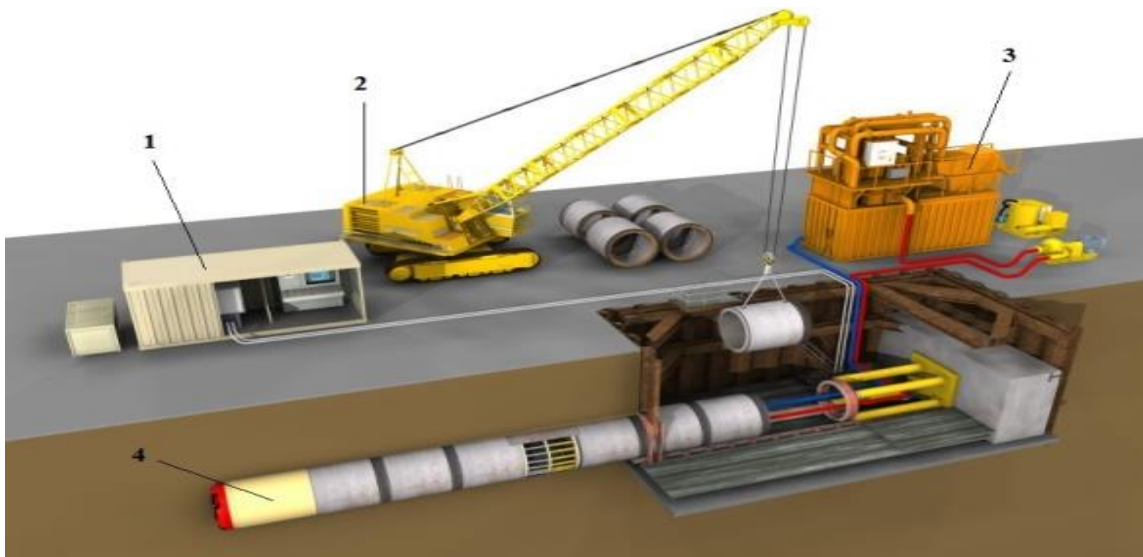
Mikrotunelování bylo vynalezeno v Japonsku roku 1970 pro instalaci sanitárního kanalizačního potrubí a také za účelem vyhnout se otevřenému výkopu v městských oblastech bez narušení městské komunity. První mikrotunelovací stroj byl navržen firmou Iseki, Inc. pro měkké a nestabilní půdy.[6]

Nejčastěji se používá pro stavbu uzavřeného potrubí s tolerancí ± 1 palec. Mikrotunelování může být použito v jednom provozu do délky až 500 m a průměru 250 mm až 3000 mm. Standartní rozsah této metody se pohybuje do 350 mm na průměr a 250 m na délku.[7]

Je to kompletně dálkově řízena metoda z centrálního střediska, která je doprovázena ukládáním potrubí do místa vrtu. Obecně mikrotunelování závisí na 5 nezávislých systémech:[8]

- Mikrotunelovací zařízení
- Zvedací systém
- Systém pro odvod zeminy
- Laserové navádění a systém dálkového ovládání
- Mazací systém potrubí

Hlavní výhodou je velká přesnost. Tato metoda může být použita u všech typů zemin od písku, hlíny a kompaktnějších typů zeminy až po nejtěžší skály. Dá se použít i tam, kde ostatní metody nelze využít např. při práci pod hladinou podzemní vody. U této metody je důležité mít zmapováno prostředí podzemního vedení a konstrukci. Investičně je nákladná a používá se v místech, kde práce budou trvat v delším časovém horizontu.[8]



Obr. 4.2: Schéma mikrotunelování: 1 – centrální ovládání; 2 – jeřáb; 3 – separační kontejner; 4 – mikrotunelovací stroj;[9]

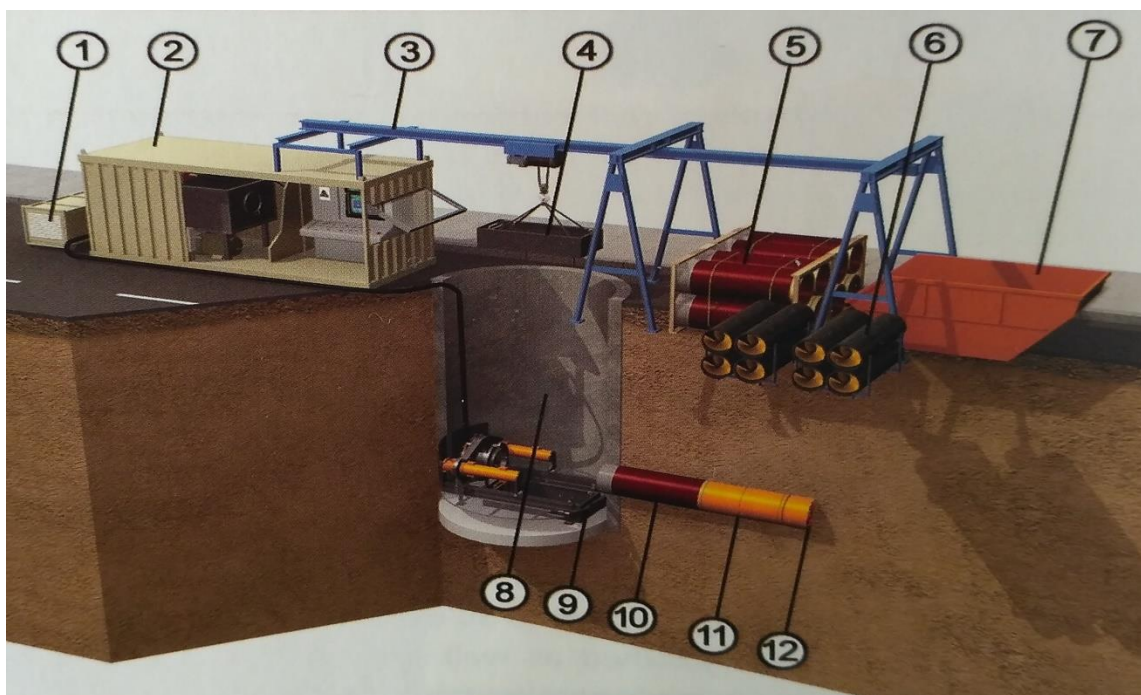


4.3 MIKROTUNELOVÁNÍ SE ŠNEKOVÝM DOPRAVNÍKEM

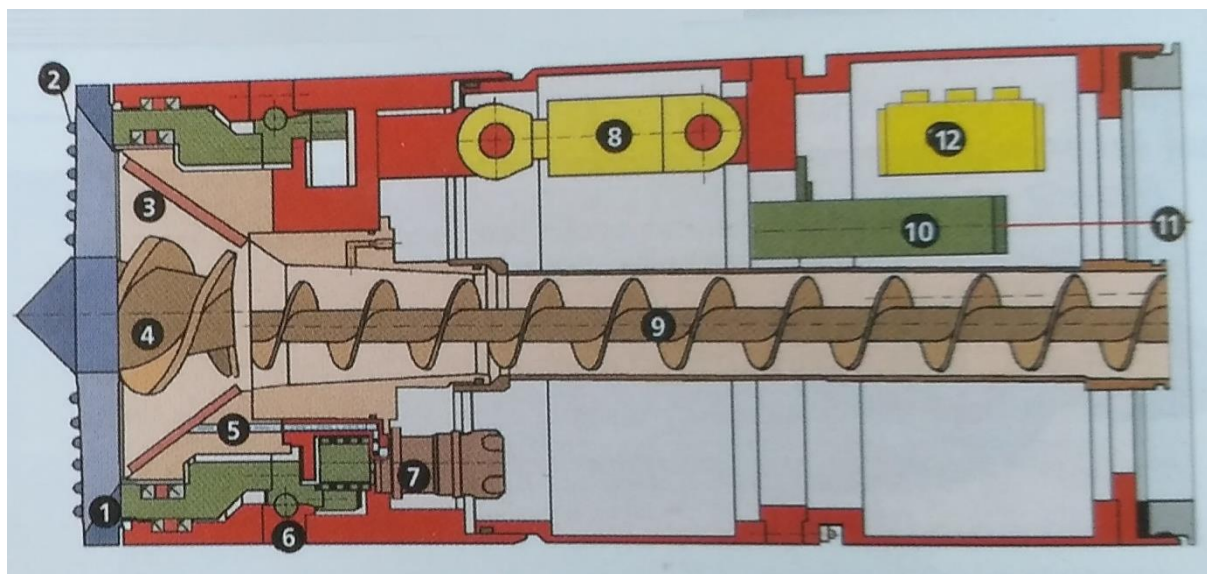
Mikrotuneláž se šnekovým dopravníkem je charakterizována protlačováním trubek do země při probíhající vykopávání pomocí řezné hlavy prostřednictvím kontinuálního odstraňování země pomocí dopravníku nebo šneku. Šnek je umístěn uvnitř trubky spirálového dopravního zařízení směrem ke startovací šachtě. Zemina, která se shromažďuje do nádoby je odváděna pomocí jeřábu na povrch a následně vysypána do kontejneru pro zeminu. Tato operace je prováděna v určitých intervalech obvykle pro protlačení jedné trubky. Tlak na pracovní ploše je mechanicky vyvážen pomocí řezné hlavy zařízení nebo prostředků pro odvod půdy v přední části dopravníku. Může zde být užito dvou variant řezné hlavy:[10]

- **Řízení řezné hlavy se spirálovým dopravníkem**
- tyto dopravníky (šnekové tyče) a řezné hlavy jsou pevně připojeny k sobě a poháněny prostřednictvím hnacího agregátu, který je nainstalován na protlačovací konstrukci ve startovací šachtě.
- **Přímé řízení řezací hlavy a oddělené řízení šnekového dopravníku**
- řezná hlava a spirálový dopravník nejsou pevně spojeny jeden ke druhému. Motor řezací hlavy se vyskytuje v konci štítového segmentu mikrotunelovacího stroje a pohon spirálového dopravníku je zajištěn stejně jako u přechozí varianty.

Hlavní výhodou této metody je výkop země obvykle přenosné na jedno použití bez dalšího nákladného oddělení. Dále také relativně krátký čas sestavení a rozložení, ale především zde dochází k vrtání na sucho. Jsou zde i nevýhody, kdy se zvětšujícím se průměrem potrubí klesá výkonost protlačovacího zařízení. Použití této metody může být zajištěno v nasycených půdách pouze v případě rozsáhlých opatření a nelze ji aplikovat do skalnatých zemin.[10]



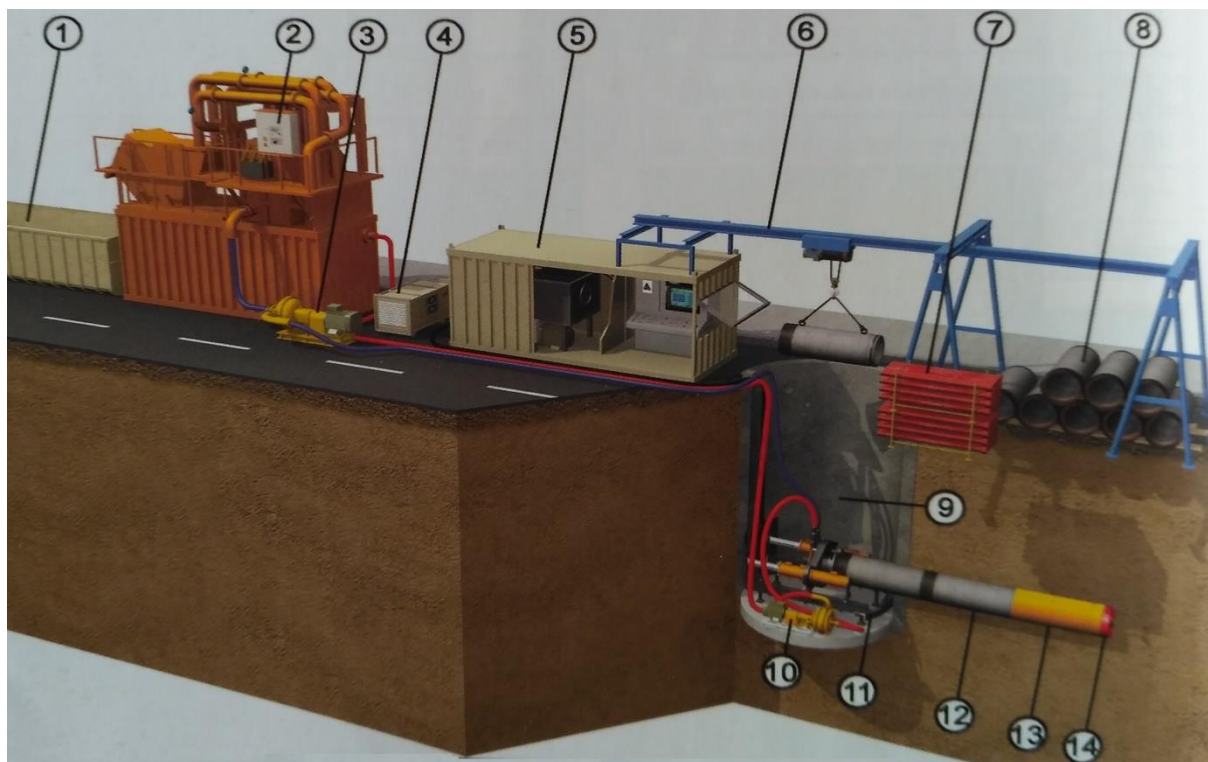
Obr. 4.3: Mikrotunelování se šnekovým dopravníkem; 1 – elektrický generátor; 2 – kontejner s řídicím pultem a hydraulickým výkonem; 3 – jeřábová dráha; 4 – dopravní nádoba země; 5 – úložný prostor potrubí; 6 – spirální dopravník; 7 – kontejner pro zeminu; 8 – startovací šachta; 9 – stanice pro potrubí; 10 – zatlačené potrubí; 11 – mikrotunelovací zařízení; 12 – řezací hlava;[10]



Obr. 4.6: Mikrotunelovací zařízení se šnekovým dopravníkem; 1 – řezací hlava; 2 – řezací kovové nástroje; 3 – drtící komora; 4 – drtící spirála; 5 – vodní tryska; 6 – hlavní ložisko; 7 – rotační pohon; 8 – řídicí válec; 9 – spirální dopravník; 10 – horní vedení; 11 – laserový paprsek; 12 – ventilový rozdělovač; [10]

4.4 MIKROTUNELOVÁNÍ S HYDRAULICKÝM ODSTRAŇOVÁNÍM ZEMINY

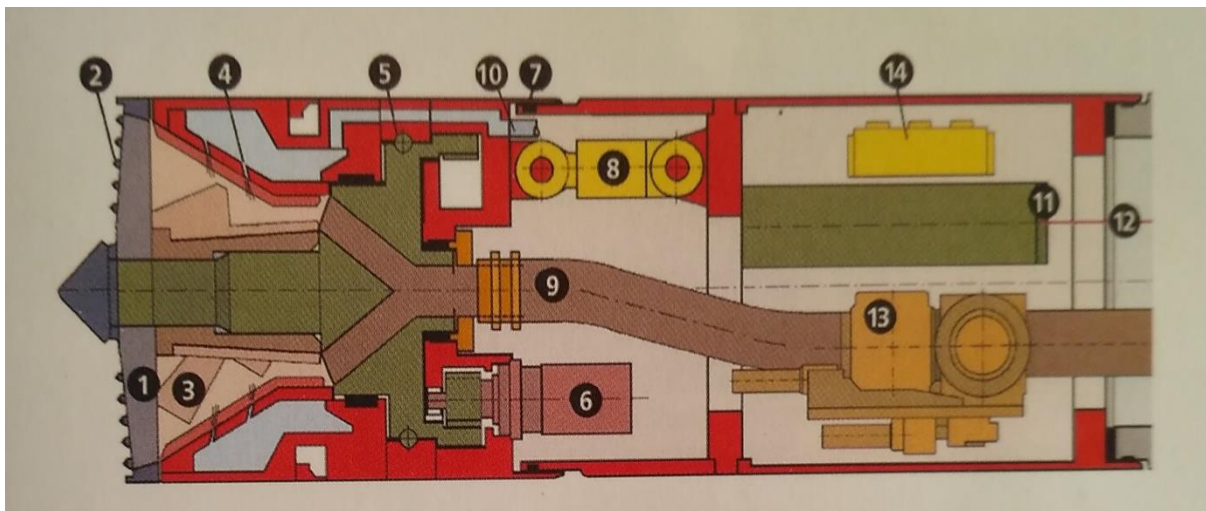
Při mikrotunelování s hydraulickým odvodem zeminy dochází k protlačování trubek při současné mechanické ražbě pomocí celé masky mikrotunelovacího zařízení a tlakem kapaliny, která je vyvážená na pracovní ploše. Další funkcí řezné hlavy a kontinuální vodní dopravy zeminy (dále je také možná doprava zeminy mokrá, proplachovací případně suspenzní) je prováděno za pomoci vyrovnávání tlaků a dopravy tekutiny z drtící hlavy. Výkopové a suspenzní komory se nachází hned za protlačovací hlavou. Hnací sestava pro řeznou hlavu a řídicí válec se nachází přímo uvnitř mikrotunelovacího stroje. Proplachovací médium cirkuluje pomocí čerpadla přes uzavřený systém dopravního řetězce potrubí uvnitř protlačovacího zařízení, které se postupně zvyšuje na délku s novou instalací potrubí. Požadovaný tlak proplachovacího média je řízen přívodovým a odvodovým čerpadlem. Odčerpávaná pevná nebo tekutá směs musí být oddělena, aby na jedné straně mohlo být do oběhu znovu přivedeno proplachovací médium a na druhé straně připraveno pro likvidaci pevné látky. V případě použití vody jako vyplachovacího média se musí zvolit vhodná nádrž. Pro bentonitové suspenze je zapotřebí separační zařízení. Výhodnost této metody spočívá především při využití v půdách a skalních zeminách s podzemní vodou, ale i bez ní. Dále také i dosažení vysokého výkonu nezávislého na velikosti průměru potrubí a v poslední řadě v dosažení dlouhých vzdálenostech zatlačovaného potrubí. Avšak jedná se o metodu s vodním odvodem, která je nákladná v důsledku dlouhého obrábění a separace materiálu (zemina není jednorázově přenosná), dále jsou vyžadovány velké prostory pro instalaci na stavbě a dochází k vysokému stupni znečištění při práci. [10]



Obr. 4.7: Mikrotunelování s hydraulickým odstraňováním; 1 – kontejner pro zeminu; 2 – separační zařízení; 3 – napájecí čerpadlo; 4 – elektrický generátor; 5 – kontejner s řídicím pultem a hydraulickým výkonem; 6 – jeřábová dráha; 7 – dopravníkové vedení; 8 – uložení potrubí; 9 – startovací šachta; 10 – vypouštěcí čerpadlo; 11 – potrubní stanice; 12 – potrubní řetězec; 13 – mikrotunelovací zařízení; 14 – řezací kolo; [10]



Obr. 4.8: Přívod vody do řezacího kola [10]

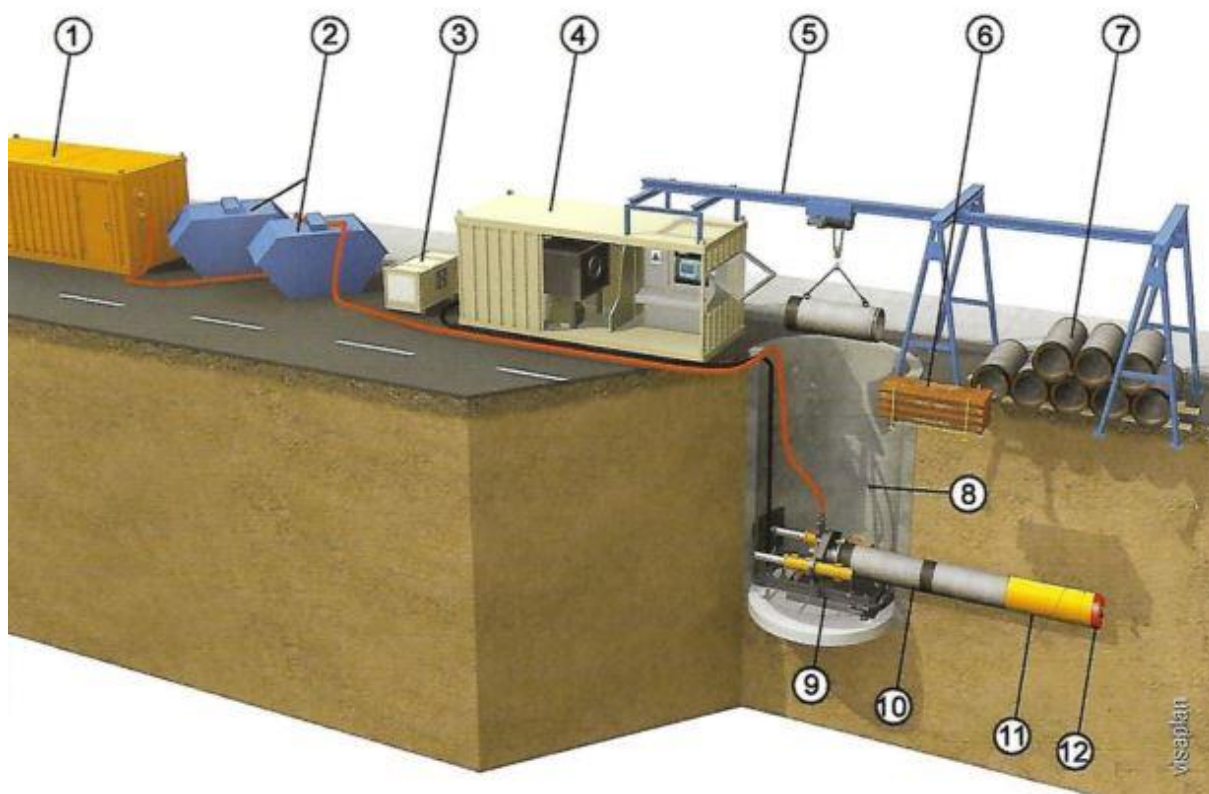


Obr. 4.9: Mikrotunelovací zařízení s hydraulickým odstraňováním; 1 – řezací kolo; 2 – řezací kovové nástroje; 3 – výkopová a drtící komora; 4 – stříkací trysky; 5 – hlavní ložisko; 6 – rotační pohon; 7 – přímé těsnění; 8 – řídicí válec; 9 – výtlačné potrubí; 10 – přívodní potrubí; 11 – hlavní vedení; 12 – laserový paprsek; 13 – odvodní trubice; 14 – rozdělovací píst; [10]

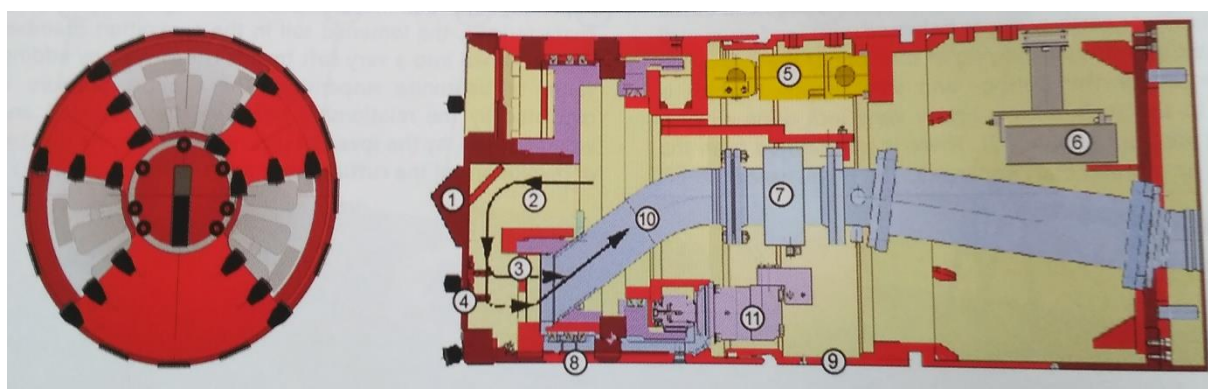
4.5 MIKROTUNELOVÁNÍ S PNEUMATICKÝM ODVODEM ZEMINY

Pneumatické odebírání zeminy je založeno na základě sacího zařízení a vyznačuje se protlačováním potrubí při současném celoplošném výkopu mechanickou řeznou hlavou nebo zemním tlakem, který je vyvážen na pracovní ploše. Kontinuální odvod zeminy z ražby je prováděn uvnitř vyvrtávací a řezné hlavy, která je na povrchu omezena lopatkovým rotačním zámkem při využití vzduchu jako proplachovacího média. Na povrchu se oddělí od proudu vzduchu úvodním odlučovačem. Hnací sestava pro řeznou hlavu i pro válce řízení je uspořádána uvnitř mikrotunelovacího zařízení. Pro zlepšení vyrovnání tlaku a dopravní charakteristiky se může uvolněná půda s měkkou konzistencí zředit vodou nebo bentonitovou suspenzí. Podporovaný tlak může být regulován vztahem mezi vytěženou a vysátou zeminou při určité rychlosti protlačování zařízení a následně počtem otáček řezací hlavy a rotačním lopatkovým zámkem.

Výhodná metoda s plynným vyplachovacím médiem, kdy je zemina v místě přímo jednorázově přenosná bez nákladné separace. Dále také vysoký výkon nezávislý na průměru potrubí v nesoudržných zeminách s vysokým podílem částic o velikosti <0.5 mm, dosažení velké průtlačné délky, možnost využití při teplotách 0°C (vzduch nezamrzá). V nesoudržných zeminách značně klesá protlačovací výkon. [10]



Obr. 4.10: Mikrotunelování s pneumatickým odstraňováním; 1 – odsávací zařízení; 2 – předběžný separátor; 3 – elektrický generátor; 4 – kontejner s řídicím pultem a hydraulickým výkonem; 5 – jeřábová dráha; 6 – dopravníkové vedení; 7 – úložiště potrubí; 8 – startovací šachta; 9 – potrubní stanice; 10 – potrubní řetězec; 11 – mikrotunelovací zařízení; 12 – řezací hlava; [10]

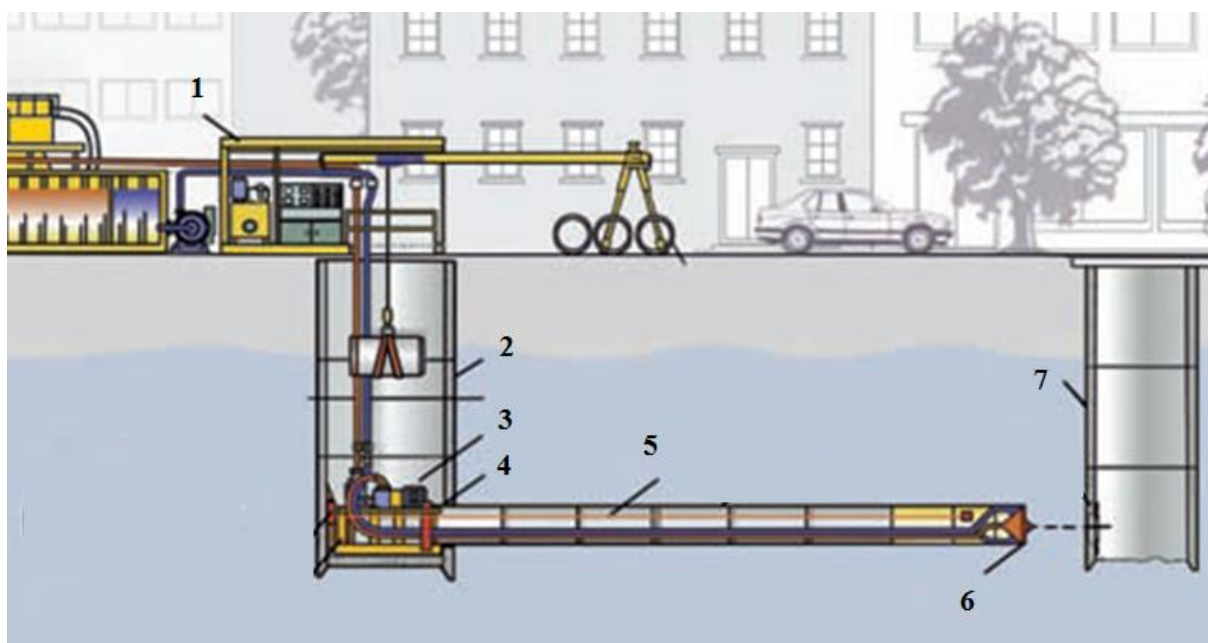


Obr. 4.11: Mikrotunelovací zařízení s pneumatickým odstraňováním; 1 – škrabadlo řezací hlavy; 2 – proudění vzduchu; 3 – otvírání rotačního lopatkového zámku; 4 – vysokotlaký proud; 5 – řídicí válec; 6 – aktivní cílová deska; 7 – potrubní rotační prsten; 8 – vrtací a řídicí část hlavy; 9 – zadní štít segmentu; 10 – nasávací tryska; 11 – rotační pohon; [10]



4.6 MIKROTUNELOVÁNÍ S ROZRUŠOVÁNÍM POTRUBÍ

U této metody je původní potrubí odvedeno s okolní zeminou. Mikrotunelovací zařízení má možnost drcení a řezání zeminy s původním potrubím. Tento vytěžený materiál se v nejčastějším případě odvádí šnekovým dopravníkem nebo může zde být využito vyplavování vodou. Pokud by se u této metody chtělo využít hydraulické dopravy nebo docílení zlepšení řízení postupu, může se původní potrubí dopředu vyplnit vyhovujícím materiálem, který zajistí lepší drcení materiálu pomocí řezné hlavy. Obvykle mohou některé systémy obsahovat nástavec pro mikrotunelovací stroj, který umožní lepší utěsnění potrubí před čelbou a tím pádem dochází k časovému zrychlení práce.[2]



Obr. 4.12: Mikrotunelování s rozrušováním potrubí; 1 – řídicí zařízení; 2 – startovací šachta; 3 – přítokové a odtokové potrubí hydraulické dopravy; 4 – tlačná stanice; 5 – protlačovaná trouba; 6 – mikrotunelovací zařízení; 7 – cílová šachta;[11]

4.7 MIKROTUNELOVÁNÍ S JINÝM MECHANICKÝM ODSTRAŇOVÁNÍM ZEMINY

Jedná se o speciální metody, kdy je zemina odvážena jinými způsoby, než předchozími metodami. Obecně by se zde dalo zařadit vyplavování vodou těžké a lepkavé zeminy, kterou by nebylo možné odvést na základě přechodných metod. V případě nejvyšší nutnosti, kde by mohlo dojít k poškození mikrotunelovací hlavy se zemina může odstranit ručním způsobem prostřednictvím ručních koleček, případně pomocí kolejových vozíkových souprav.[2]



5 STROJNÍ ZAŘÍZENÍ PRO MIKROTUNELOVÁNÍ

Z hlediska častého použití mikrotunelovacích metod je po celém světě velké množství firem, které se zaměřují na výrobu mikrotunelovacích hlav. Celosvětově nejznámější jsou tyto firmy Herrenknecht, Iseki, Robbins, Akkerman, TERRA.

5.1 FIRMA AKKERMAN

Tato firma vznikla v roce 1973 a je jediným severoamerickým výrobcem mikrotunelovacích zařízení. Hlavní zaměření je instalace podzemní infrastruktury.[12]



Obr. 5.1: Příprava stroje SL86P[12]



Tab. 5.1 Technické parametry strojů od firmy Akkerman[12]

Typ		SL44C	SL46C	SL51C	SL60C	SL74C
D_{max}	[mm]	1 118	1 168	1 295	1 524	1 880
L_S	[mm]	6 325	6 325	6 401	4 128	4 128
M_k	[N.m]	47 454	67 113	92 874	230 489	131 515
n	[min⁻¹]	11	11	5	7,7	13,5
P	[kW]	56	56	93	186	186



Obr. 5.2: Řezací hlava stroje SL44C[12]



Obr. 5.3: Mikrotunelovací stroj SL74C[12]

Tab. 5.2 Technické parametry strojů od firmy Akkerman[12]

Typ		SL72P	SL86P	SL100P	SL114P
D_{max}	[mm]	1 829	2 184	2 540	2 896
L_S	[mm]	6 500	6 500	6 500	6 500
M_k	[N.m]	547 751	547 751	547 751	547 751
n	[min ⁻¹]	9	9	9	9
P	[kW]	298	298	298	298



Obr. 5.4: Mikrotunelovací stroj SL86P[12]



5.2 FIRMA HERRENKNECHT

Nejznámější firma v odvětví bezvýkopových technologií. Má již zkušenosti s více než 3500 projektů po celém světě. Vlastní širokou škálu zařízení pro všechny druhy rozměrů a do všech geologických podmínek.[13]

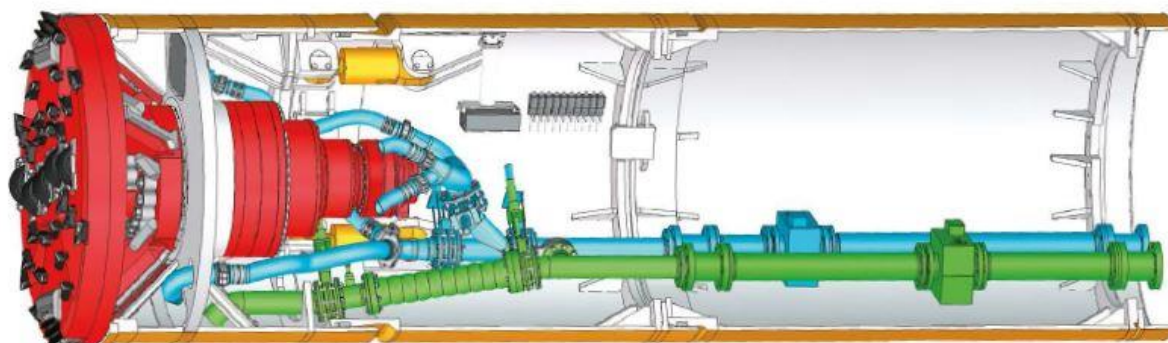


Obr. 5.5: Mikrotunelovací zařízení AVN[14]



Tab. 5.3 Technické parametry strojů od firmy Herrenknecht[13]

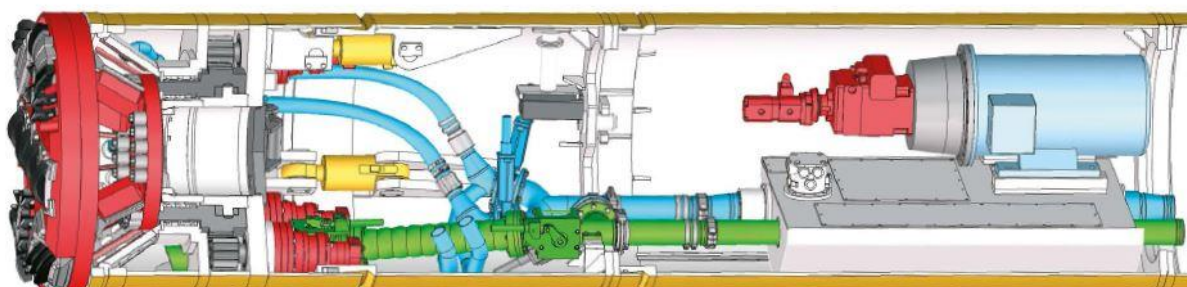
Typ		AVN300XC	AVN400XC	AVN600XC	AVN800XC	AVN1000XC
D_{\max}	[mm]	410	565	780	975	1 295
L_{\max}	[m]	100	100	140	150	150
M_k	[N.m]	9 400	13 400	33 500	55 000	90 000
n	[min^{-1}]	27	19	13	7,4	5,4
P	[kW]	45	45	45	55	75



Obr. 5.6: Mikrotunelovací hlava typu AVN-XC[13]

Tab. 5.4 Technické parametry strojů od firmy Herrenknecht[13]

Typ		AVN1200TB	AVN1400TB	AVN1500TB	AVN1600TB	AVN1800TB
D_{\max}	[mm]	1 505	1 740	1 810	1 970	2 150
L_{\max}	[m]	500	500	700	900	900
M_k	[N.m]	258 000	258 000	474 000	474 000	554 000
n	[min^{-1}]	6,7	6,7	7,7	7,7	11,9
P	[kW]	132	132	160	160	250

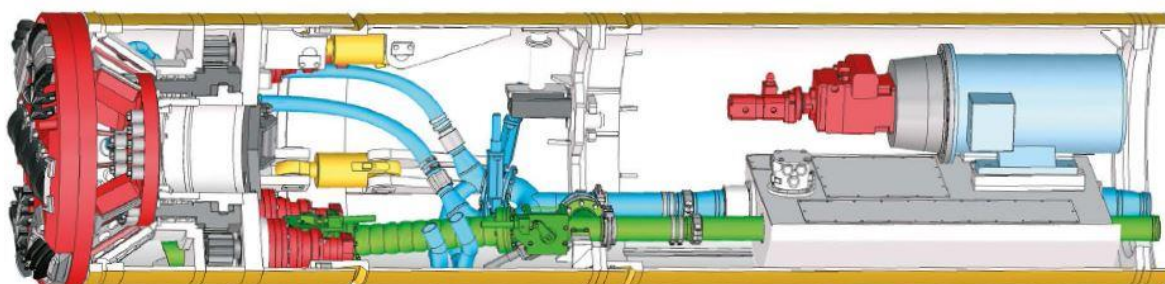


Obr. 5.7: Mikrotunelovací hlava typu AVN-TB[13]



Tab. 5.5 Technické parametry strojů od firmy Herrenknecht[13]

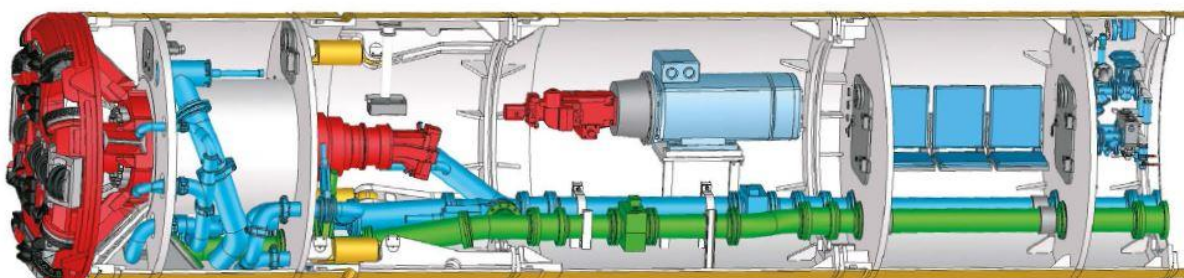
Typ		AVN1200TC	AVN1400TC	AVN1500TC	AVN1600TC	AVN1800TC
D_{max}	[mm]	1 505	1 740	1 810	1 970	2 150
L_{max}	[m]	250	250	250	300	300
M_k	[N.m]	258 000	258 000	376 000	376 000	472 000
n	[min ⁻¹]	5	5	3,6	3,6	2,9
P	[kW]	132	132	132	132	132



Obr. 5.8: Mikrotunelovací hlava typu AVN-TC[13]

Tab. 5.6 Technické parametry strojů od firmy Herrenknecht[13]

Typ		AVN1600AB	AVN1800AB	AVN2000AB	AVN2200AB
D_{max}	[mm]	1 970	2 150	2 425	2 725
L_{max}	[m]	700	900	1 100	1 100
M_k	[N.m]	360 000	520 000	780 000	780 000
n	[min ⁻¹]	4,6	4,6	8,4	8,4
P	[kW]	110	160	315	315



Obr. 5.9: Mikrotunelovací hlava typu AVN-AB[13]



5.3 FIRMA ISEKI

Firma, která vznikla v Japonsku a vynalezla první mikrotunelovací stroj. Podílela se na vývoji inovativních strojů při zavádění bezvýkopových metod. Velmi rychle se rozrostla a přivedla nové moderní technologie do evropského, britského a afrického trhu. Momentálně prodává mikrotunelovací stroje po celém světě.[15]

Tab. 5.7 Technické parametry strojů od firmy Iseki[15]

Typ		TCC300	TCC400	TCC500	TCC600	TCC700
D_{max}	[mm]	432	545	605	780	900
L_S	[m]	1 995	2 100	2 390	2 490	2 710
M_k	[N.m]	4 500	7 000	10 000	23 900	41 400
n	[min ⁻¹]	4,5	4,3	4,4	2,6	2,2
P	[kW]	2,2	3,7	5,5	7,5	11

Tab. 5.8 Technické parametry strojů od firmy Iseki[15]

Typ		TCC1000	TCC1100	TCC1200	TCC1500	TCC2000
D_{max}	[mm]	1 220	1 330	1 450	1 800	2 370
L_S	[m]	2 968	3 045	3 315	3 490	4 225
M_k	[N.m]	133 000	140 000	186 000	283 000	475 000
n	[min ⁻¹]	2,4	2,2	2,0	1,7	1,5
P	[kW]	30	37	45	60	90



Obr. 5.10: Mikrotunelovací hlava TCC[15]



Tab. 5.9 Technické parametry strojů od firmy Iseki[15]

Typ		TCS300	TCS350	TCS450	TCS500	TCS800
D_{max}	[mm]	432	490	604	660	980
L_S	[m]	2 474	2 910	2 937	2 950	3 000
M_k	[N.m]	2 500	3 800	16 900	14 100	14 200
n	[min ⁻¹]	13,6	13,2	5,9	7,0	13,7
P	[kW]	3,7	5,5	11	11	30

Tab. 5.10 Technické parametry strojů od firmy Iseki[15]

Typ		TCS1500	TCS1650	TCS1800	TCS2000	TCS2400
D_{max}	[mm]	1 800	1 970	2 140	2 370	2 830
L_S	[m]	3 000	3 200	3 200	4 300	4 500
M_k	[N.m]	103 000	172 000	172 000	306 000	506 000
n	[min ⁻¹]	10,4	8,46	8,46	5,82	5,34
P	[kW]	88	120	120	148	222



Obr. 5.11: Mikrotunelovací zařízení TCS1500[15]



5.4 FIRMA ROBBINS

Má již 65 let zkušeností na trhu a je předním vývojářem a výrobcem pokročilých podzemních stavebních strojů. Zapojili se již do stovky projektů po celém světě. Disponuje širokou škálou podzemních strojů pro výrobu tunelů pro metro nebo gravitační kanalizace.[16]

Tab. 5.11 Technické parametry strojů od firmy Robbins[15]

Typ		MTBM1000	MTBM 1200	MTBM 1500	MTBM 2000	MTBM 2400
D_{max}	[mm]	1 295	1 505	1 810	2 425	3 025
F_{tl}	[kN]	3 920	5 880	5 880	7 840	11 760
M_k	[N.m]	69 000	81 000	208 000	553 000	859 000
n	[min ⁻¹]	5	5	4	3	3
P	[kW]	37	45	90	120	180



Obr. 5.12: Mikrotunelovací zařízení firmy Robbins[16]

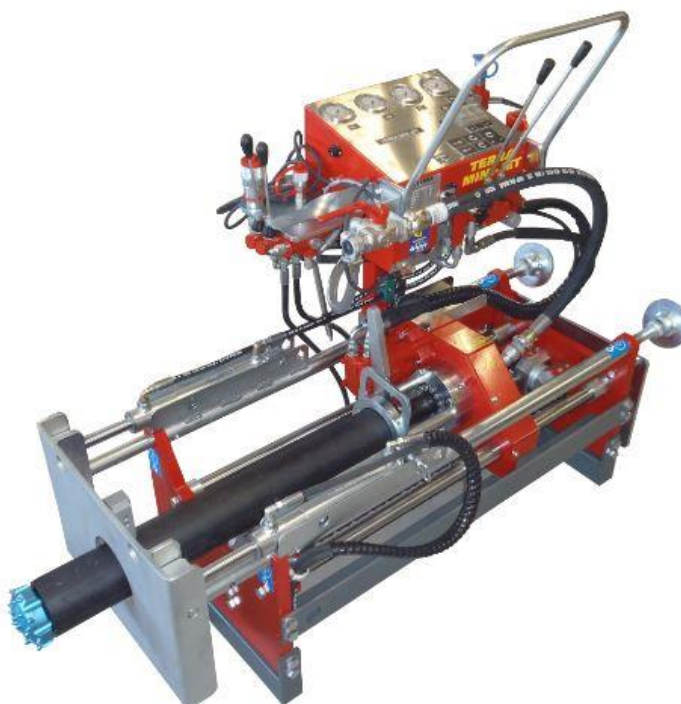


5.5 FIRMA TERRA

Švýcarská firma, která se zabývá výzkumem a vývojem technologických systémů pro pokládání podzemních potrubí. S nejmodernějšími technologiemi a zařízeními budují potrubí pro elektřinu, telekomunikace a vodu.[17]

Tab. 5.12 Technické parametry stroje od firmy TERRA[17]

Typ		MJ1600PB
D_{vr}	[mm]	170
F_{tl}	[kN]	60
L_{vr}	[m]	25
v_{vr}	[m.min ⁻¹]	2,5
M_k	[N.m]	1 600



Obr. 5.13: Mikrotunelovací stroj pro vyvrtávání MJ1600PB[17]



ZÁVĚR

V této práci byl vytvořen přehled současných metod a strojních celků pro budování bezvýkopovou technologií se zaměřením na mikrotunelování. Následně byl proveden popis a vyobrazení technických prostředků, které se při mikrotunelování používají.

Z hlediska úpravy zeminy se mohou bezvýkopové technologie použít při metodách TRM a TCM. Metoda TRM zajišťuje především náhradu či obnovu prasklého potrubí a je tedy méně náročnou variantou. V případně použití metody TCM dochází ke zcela novému vrtu pro instalaci nového potrubí či kolektorového vedení.

Mikrotunelování je metoda, která je plně automaticky řízena prostřednictvím centrálního dispečinkového střediska. Během vrtu ji není možné zastavit nebo přerušit, protože by nebylo možné uvolnit mikrotunelovací stroj z místa vrtu a následně jej vytáhnout. Proto je celá tato operace vedena v jednom směru vrtu a je tedy kontinuální.

Mikrotunelování se šnekovým dopravníkem je nejčastěji používaná technologie, protože má dvojí rozdělení odvodu zeminy. Šnekový dopravník pro odvod zeminy je řízen pomocí řezné hlavy, případně řízení řezné hlavy a dopravníku je oddělené, kdy každý segment má samostatný hnací agregát. Hlavní výhodou je rychlý odvod zeminy, kdy se zkracuje čas odvádění zeminy, ale může zde klesat účinnost vzhledem ke struktuře půdy. Tuto metodu nelze uplatnit u skalnatých zemin.

Mikrotunelování s hydraulickým odstraňováním zeminy. U této metody je půda odváděna pomocí vody, která cirkuluje pomocí čerpadla přes uzavřený okruh. Tato metoda se využívá ve skalnatých zeminách, ale je bohužel velmi nákladná vzhledem k použití vodního media a relativně dlouhé manipulační době při odvodu zeminy.

Mikrotunelování s pneumatickým odvodem zeminy. Odvod zeminy je prováděn uvnitř řezné hlavy pomocí sacího zařízení na povrch. Jako vyplachovací médium je použit vzduch, tudíž separace půdy není nákladná. Používá se především pro nesoudržné zeminy k dosažení vrtu o dlouhých vzdálenostech, avšak v těchto zeminách dochází k poklesu protlačovacího výkonu z důvodu nízké hustoty zeminy, která se postupně zhutňuje před řeznou hlavou.

Mikrotunelování s rozrušováním potrubí. Využívá se jen v případě poruchy potrubí nebo pro rozšíření tunelu na větší průměr, což umožňuje v první fázi odstranění stávajícího potrubí a ve fázi druhé instalaci potrubí nového. Tato metoda má převážně obnovovací charakter.

V závěru práce byly vytvořeny tabulky s technickými parametry, kdy byly porovnány zkoumané skupiny mikrotunelovacích strojích zařízení. Každá firma vyrábí různé druhy mikrotunelovacích strojních zařízení s ohledem na geologickou stavbu zemin. Se zvětšujícím se průměrem stroje rostou také technické parametry, které ovlivňují, ekonomickou, provozní a manipulační stránku strojního zařízení. Nejvyšší podíl ve zkoumání této problematiky a inovacích z hlediska budoucnosti mikrotunelování má firma Herrenknecht, která může nabídnout komplexní řešení mikrotunelování v různorodých zeminách s ohledem a šetrností k životnímu prostředí.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Trenchless technology construction. *Theconstructor* [online]. Hyderabad: GopalMishra, 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://theconstructor.org/construction/trenchless-technology-construction/15279/>
- [2] ČSN EN 12889. *Bezvýkopové provádění stok a kanalizačních přípojek a jejich zkoušení*. Praha: Český normalizační institut, 2001.
- [3] Bezvýkopová technologie. *Cro-bar construction* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://cro-bar.ie/trenchless-alternatives-2#hdd>
- [4] Horizontální vrtání. *FORWARD* [online]. Kazan city: FORWARD [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://forward-corp.com/?page_id=2839
- [5] Rozrušovací metoda. *Pipereplacement* [online]. Kenmore East: Pipereplacement [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://pipereplacement.com.au/what-is-pipe-bursting.html>
- [6] Historyofmicrotunneling. *Huxtedtunneling* [online]. Palmetto: Huxtedtunneling, 2005 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.huxtedtunneling.com/about/history-of-microtunneling/>
- [7] Trenchless Technology: A ReviewoftheMethods. *Wateronline* [online]. Washington: NorthAmerican Society forTrenchless Technology, 1997 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: <https://www.wateronline.com/doc/trenchless-technology-a-review-of-the-methods-0001>
- [8] Vrtné práce ve stavebnictví. *Geologie.vsb* [online]. Ostrava: Institut geologického inženýrství [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://geologie.vsb.cz/TECHHLDOB/hlubinneVrtani/vrtani/vrtnePraceStavebnictvi.html#h424>
- [9] Mikrotunelování. *Tunnel-online* [online]. 2014 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: http://www.tunnel-online.info/en/artikel/tunnel_Pipe_Jacking_for_the_Emscher_Interceptor_attains_Section_Lengths_in_Excess_2067231.html#
- [10] STEIN, PARTNER GMBH: *PracticalGuidelinefortheApplicationofMicrotunnelling-Methods, 1st edition, 111 pages*, Publicationdate: June 2005, ISBN 978-3-9810648-0-3
- [11] Mikrotunelování s rozrušováním potrubí. *Gypsum* [online]. Haryana: Gypsum, 2006 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.gypsum.in/microtunneling/>
- [12] *Akkerman* [online]. Brownsdale: Akkerman [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.akkerman.com/>
- [13] *Herrenknecht AG* [online]. Brownsdale: Herrenknecht [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <https://www.herrenknecht.com/en/home.html>
- [14] Mikrotunelovací stroj AVN. *Tunnelingonline* [online]. 2017 [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://tunnelingonline.com/pennsylvania-intake-project/>
- [15] *Iseki* [online]. Wellingborough: Iseki [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.isekimicro.com/>



- [16] *Therobbinscompany* [online]. Solon: Therobbinscompany [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.therobbinscompany.com/en/>
- [17] *TERRA AG* [online]. Reiden: TERRA [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://en.terra-eu.eu/>



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

TCM		Bezvýkopová konstrukční metoda (Trenchless construction method)
TRM		Bezvýkopová obnovovací metoda (Trenchless renewable method)
D_{\max}	[mm]	maximální průměr rozšíření
D_{vr}	[mm]	maximální průměr vrtu
F_{tl}	[kN]	tlačná síla
L_{\max}	[mm]	maximální délka vrtu při mikrotunelování
L_S	[m]	délka mikrotunelovacího stroje
L_{vr}	[m]	délka vrtu
M_k	[N.m]	kroučící moment
n	[min^{-1}]	otáčky
P	[kW]	výkon motoru
v_{vr}	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	rychlost vyvrtávání