



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

Šimon Peter Trnovec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Šimon Peter Trnovec**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **Ing. Přemysl Pokorný, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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:

Rešeršní studie technických prostředků pro řízené bezvýkopové práce.

Cíle bakalářské práce:

Vytvoření přehledu zařízení pro bezvýkopové práce při výstavbě podzemních kolektorů a při ukládání vedení.

Seznam doporučené literatury:

VOŠTOVÁ, Věra, 2000. Stroje a technologie v podzemních stavbách I. Praha: Vydavatelství ČVUT. ISBN isbn80-01-02084-3.

VAVREK, Pavol a Henrich HAMRÁK, 2001. Tunelárstvo I. Košice: ELFA. ISBN 80-88964-86-5.

NAJAFI, Mohammad, 2013. Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods. McGraw-Hill Professional. ISBN 978-0-07-176245-8.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Náplňou tejto rešeršnej štúdie je spraviť prehľad riadených bezvýkopových zariadení na bezvýkopovú výstavbu podzemných vedení a kolektorov. Pozornosť je venovaná najmä plnoprofilovému tunelovaniu, mikrotunelovaniu, výrobcom a parametrom spomínaných zariadení.

KLÍČOVÉ SLOVÁ

Riadené bezvýkopové technológie, tunelovacie zariadenia, plnoprofilové tunelovanie, mikrotunelovanie

ABSTRACT

The purpose of this bachelor thesis is to create an overview of guided trenchless technologies for the trenchless construction of underground utility lines. The focus of the thesis is aimed at Tunnel Boring Machines, Microtunneling, the manufacturers and the technical parameters of the mentioned machines.

KEYWORDS

Guided trenchless technology, tunnelling machines, trenchless boring machines, microtunneling

BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA

TRNOVEC, Šimon Peter. *Strojní zařízení pro bezvýkopové podzemní práce*. Brno, 2020, 38s. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124864>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Přemysl Pokorný.



ČESTNÉ PREHLÁSENIE

Prehlasujem, že táto práca je mojim pôvodným dielom, spracoval som ho samostatne pod vedením Ing. Přemysl Pokorný Ph.D. a s použitím informačných zdrojov uvedených v zozname.

V Brně dne 26. června 2020

.....

Šimon Peter Trnovec

POĎAKOVANIE

Týmto by som chcel poďakovať Ing. Přemysl Pokorný Ph.D. za cenné rady a pomoc pri usmernení mojej bakalárskej práce. Taktiež by som sa rád poďakoval svojej rodine za morálnu a finančnú podporu počas štúdia a písania práce.

OBSAH

Úvod a cieľ práce	10
1 Bezvýkopové technológie	11
1.1 Plnoprofilové tunelovanie	11
1.2 Mikrotunelovanie	11
2 Plnoprofilové tunelovanie	12
3 Mikrotunelovanie.....	15
3.1 Neriadené mikrotunelovanie	16
3.2 Riadené mikrotunelovanie	18
3.2.1 Vrtanie s vodiacim vrtom	19
3.2.2 Vrtanie na plný prierez s diaľkovou riadenou vrtacou hlavou	21
3.2.3 Vrtanie s vysokotlakou kvapalinou	22
3.2.4 Mikrotunelovanie s použitím diaľkovo ovládaného štítu	23
4 Výrobcovia, zariadenia a parametre zariadení	27
4.1 Plnoprofilové tunelovanie	27
4.2 Vrtanie s vodiacim vrtom	28
4.3 Vrtanie na plný prierez	30
4.4 Vrtanie s vysokotlakou kvapalinou.....	30
4.5 Mikrotunelovanie s použitím diaľkovo ovládaného štítu	32
Záver.....	36

ÚVOD A CIEĽ PRÁCE

Moderná spoločnosť potrebuje stroje na výkop zemskej kôry najmä na stavebné účely. V dnešnej dobe urbanizácie je výstavba nových a obnova starých inžinierskych sietí neodmysliteľnou súčasťou zaistenia prístupu k energiám a bežnému chodu domácnosti. V minulosti na výstavbu sietí používaná výkopová technika kvôli jej jednoduchosti a nízkym nákladom, no spôsobovala narušovanie zemského povrchu.

Bezvýkopové technológie sa používajú na razenie tunelov pod budovy, železnice, cesty a rôzne iné prekážky do rôznych hĺbok. V mestách je razenie tunelov veľmi komplikované a v zaľudnených oblastiach je často nemožné aby sa rozrušil zemský povrch pri výkope. Zapríčinilo by to značné navýšenie nákladov, zápchy, skomplikovala by sa doprava obyvateľov v mestách. Kvôli tejto problematike sa začali vyvíjať bezvýkopové technológie, ktoré problém z narušením nadložía nad výkopom vyriešili. Technológia bola zo začiatku neriadena a postačovala na jednoduché výkopy bez potreby vyššej presnosti. Nespĺňala však požadované parametre na výkop v zaľudnených oblastiach a na osadzovanie kolektorových sietí kvôli nepresnosti výkopu a možnému nežiadaneému narušeniu už zavedených potrubí pri vrtaní. Túto problematiku vyriešil vznik riadených bezvýkopových technológií, ktorý vylúčil ďalší zo závažných problémov bezvýkopových technológií. Zabezpečoval presnejšie budovanie tunelov a zvýšenie presnosti výkopu.

Ku dnešnému dňu existuje už veľa rozdielnych súprav na tento druh výkopu. Súpravy na výkop sa líšia či už konštrukčne, alebo funkčne.

Cieľom tejto bakalárskej práce je spraviť prehľad riadených bezvýkopových technológií na výkop inžinierskych sietí a spraviť prehľad firiem a konkrétnych zariadení používaných na vykonávanie tejto práce. Práca je rozdelená do troch hlavných častí. Prvá časť je zameraná na uvedenie do témy riadených bezvýkopových technológií a spravenie prehľadu jednotlivých metód. V druhej časti sa bližšie zameriame na plnoprofilové tunelovanie a mikrotunelovanie s hlavným zameraním na riadené mikrotunelovanie s použitím štítu. Tretia časť je zameraná na vytvorenie prehľadu o konkrétnych strojných zariadeniach na rôzne druhy tunelovania a vyvodenie záveru.

1 BEZVÝKOPOVÉ TECHNOLOGIE

Bezvýkopové technológia kopania je alternatíva alebo metóda zvolená pre konštruovanie alebo obnovovanie potrubových vedení, využíva sa ale aj na deštrukciu starých vedení. Tieto vedenia môžu byť plynové potrubia, potrubia na distribuovanie vody, stokové potrubia, kolektorové siete, ale aj potrubia na odvodnenie.

Špecificky bezvýkopové technológie sa používajú, keď ostatné tradičné metódy ako napríklad otvorené výkopy nie sú použiteľné. Ďalším dôvodom na zvýšenie používania bezvýkopovej technológie je nízky dopad na životné prostredie, s ohľadom na okolnosti použitia sú náklady na vybudovanie potrubí nižšie, sú efektívnejšie a všestrannejšie.

Bezvýkopové metódy môžeme vo všeobecnosti deliť na neriadené a riadené metódy. Pri riadenej metóde je výhodou možnosť smerovej alebo výškovej korekcie výkopu. Pokiaľ sa bavíme o riadených bezvýkopových technológiách jedná sa väčšinou o horizontálne vrtanie – uplatňuje sa na horizontálny výkop zemského masívu na tunelovanie alebo na výkop pre ukladanie inžinierskych sietí [1].

1.1 PLNOPROFILOVÉ TUNELOVANIE

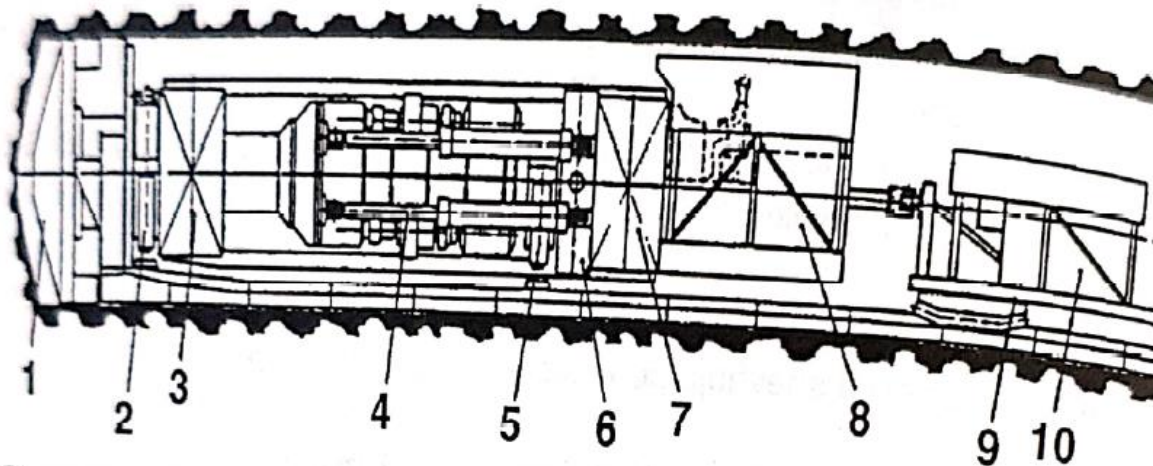
Na plnoprofilové tunelovanie sa používajú plnoprofilové raziace stroje (Tunnel Boring Machinery) [2]. Sú to raziace komplexy určené pre plnomechanizované razenie kruhových výrubov v pevných skalných horninách. Raziace stroje tohto typu sa používajú vo väčších hĺbkach a majú pomerne veľký priemer, ktorý dosahuje väčšinou od 2 až 4 m [3]. Tieto stroje majú na rozdiel od iných tunelovacích strojov väčšinu komponentov umiestnených priamo vo výkope respektíve v tunely a uložené sú na koľajniciach. Tieto stroje sa používajú na razenie štôlní a na vytváranie kolektorových sietí v mestách.

1.2 MIKROTUNELOVANIE

Mikrotunelovanie (Microtunneling Boring Machinery) [2] na rozdiel od plnoprofilového tunelovania slúži na výkop menšieho množstva zeminového masívu a sú používané na razenie výkopov o menšom priemere. Mikrotunelovanie sa delí na riadené a neriadené a poznáme oveľa viac konštrukčných prevedení strojov na tento typ výkopu, keďže sú požiadavky sa požiadavky na stroj môžu diametrálne líšiť od typu projektu na, ktorom sa pracuje. Tieto stroje majú pohonné ústrojenstvo uložené mimo výkopu, poväčšine kvôli požadovanému priemeru potrubia.

2 PLNOPROFILOVÉ TUNELOVANIE

Plnoprofilové raziace stroje sú veľmi komplexné stroje veľkých rozmerov. Tieto stroje sú náhrada razenia tunelov trhavinou. Je to celá strojová sústava a okrem raziaceho štítu sa v ňom nachádzajú stroje na zabezpečenie ostatných prác. Je teda potrebné zaistiť nie len rozpojovanie horniny, ale aj dopravu výkopu z reznej hlavy a zaistiť plynulé premiestňovanie stroja dopredu či dozadu. Celé tieto komplexne zariadená dosahujú 30 až 50 m a priemer vykopaného potrubia je v zväčša v rozmedzí 2 až 4 m [1].



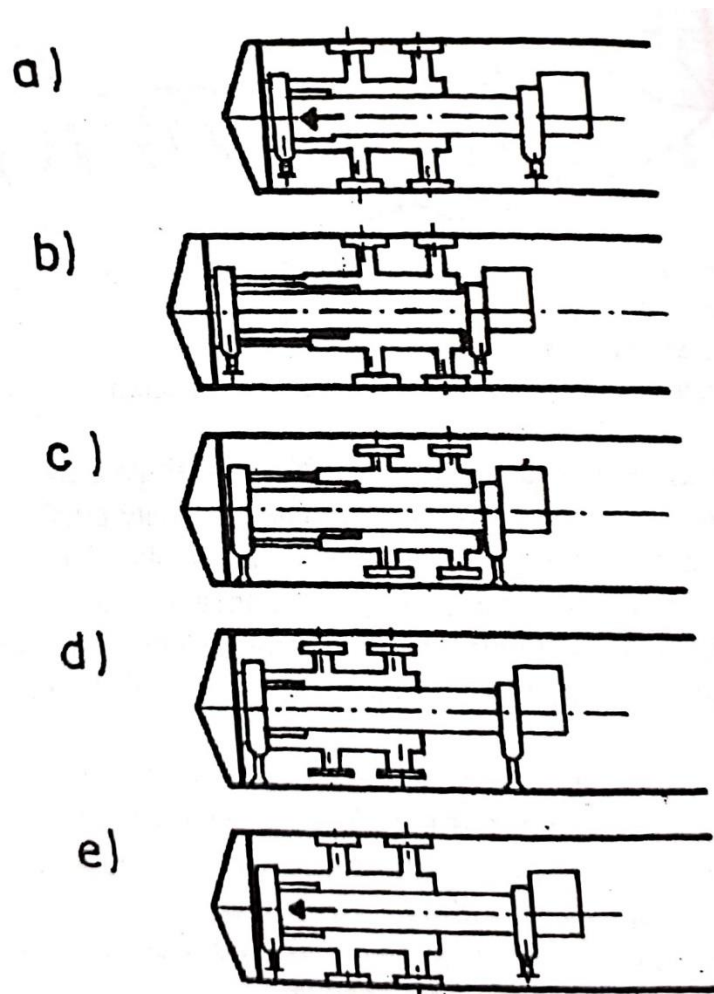
Obr. 2.2 Schematický pozdĺžny rez raziacim strojom Demag: 1 –vrtacia hlava, 2 – predná podpera, 3 – predné rozopretie, 4 – prítlačné hydromotory, 5 – zadné podpery, 6 – zariadenie na korekciu smeru, 7 – zadné rozopretie, 8 – stanovisko riadiča, 9 – náves, 10 – trafostanica, 11 – bubon s káblom [3]

Nasadenie týchto strojov do práce, ich demontáž a montáž sú veľmi zdĺhavé a nákladné. Nákladný je hlavne fakt, že raziace stroje tohto typu sú poväčšine jednúčelové a preto sa tieto stroje vhodné použiť zo zásady na dĺžky 500 až 800 m [3].

Vrtanie je pomerne rýchle a pokiaľ nedochádza ku komplikáciám dosahuje 1 až 2 m [3] za hodinu. Postup sa spomaľuje hlavne potrebným mazaním, opravami a údržbou stroja. Jednou z častých a nutných opráv je výmena opotrebovaných vrtacích dlát, ktoré tvoria reznú hlavu stroja.

Stroj má pevnú kostru, ktorá má hydraulicky vysúvateľnú vrtaciu hlavu, rozperné dosky na zaistenie stroja pri práci, elektromotory na pohon hlavy, elektrické a hydraulické obvody, trafostanica, pohybové, kontrolné a ovládacie zariadenie.

Najdôležitejšia je vrtacia hlava, ktorá je vysúvateľná v smere razenia pomocou zdvihu hydromotorov. Je zložená z vrtacích dlát tak, aby vyplnili celú plochu čela. Priemer vrtu sa dá regulovať pomocou dlát, no ide o reguláciu vo veľmi obmedzenom množstve. Vrtacia hlava otáčajúca sa okolo vlastnej osi je poháňaná elektromotorom s regulovateľnou rýchlosťou 4 až 16 ot. min⁻¹ a je hydromotorom prtláčaná k ploche čela silou až 1000 kN [3].



Obr. 2.2 Pracovné fázy pri razení s plnoprofilovým raziacim strojom: a) rozopretie raziaceho stroja do výrubu, začiatok vrtania; b) ukončenie na plný zdvih hydromotorov; c) uvoľnenie rozopretia, premiestňovanie vopred; d) nastavenie stroja v novej polohe podperným zariadením; e) rozopretie stroja, stiahnutie podpier, začiatok vrtania [3]

Hlavnými výhodami tejto metódy sú rýchly a plne mechanizovaný postup práce, zníženie objemu vykopanej zeminu, menšie narušenie zeminu ako pri použití trhaviny a presnosť razenej šachty.

Nevýhodami sú napríklad limitovaný tvar razeného výkopu a vysoké náklady použitých strojných zariadení vzhľadom na ich jednorazovú použiteľnosť.

3 MIKROTUNELOVANIE

Mikrotunelovanie je bezvýkopová metóda používaná pri razení tunelov na ukladanie podzemných vedení. Táto metóda sa zakladá na zatláčaní alebo vŕhovaní potrubí do zeminy. Mikrotunelovanie nieje, ako by si človek z prečítania názvu mohol myslieť, obmedzené veľkosťou prierezu vykopávaného potrubia. Špecifikom pri tejto metóde je, že nieje možný vstup pracovníka do vrtacej hlavy. Je to súhrn metód výstavby podzemných vedení bez narušenia nadložia. Výkopy sú robené pomocou súprav a bez prítomnosti pracovníkov. Potrubia, ktoré sú vykopané by mali byť neprielezné, čo podľa normy STN 75 6101 [4] znamená priemer diery 800 mm . Ako bolo, ale už na začiatku zmienené, vývojové trendy ukazujú, že výstavby bez prítomnosti pracovníkov v podzemí sú čo ďalej populárnejšie, a prierezy tunelov sú čoraz väčšie.

Metódy mikrotunelovania podľa riadenia smeru zatláčania sa rozdeľujú na [2]:

- riadené
- neriadené

Keďže sa v tejto práci zaoberáme riadenými bezvýkopovými metódami, budem zameriavať na riadené mikrotunelovanie. Pokladám ale za podstatné pre porovnanie zmieniť základné informácie o neriadenom spôsobe.

Pri mikrotunelovaní sa používa často bentonit. Bentonit je mletý íl, ktorý vo vode niekoľkonásobne zväčší svoj objem. Vzniká tak viskózna tekutina, ktorá je vypúšťaná z hlavy zariadenia. Tým že je vypúšťaná spevňuje okolie vrtu, vynáša odvrátanú zeminu do jám a pri vŕhovaní potrubia do vrtu znižuje trecie odpory. Súčasne spolu s odvrátanou zeminou vyplňuje odvrátaný priestor medzi potrubím a stenou vrtu, ktorej priemer je spravidla väčší, kvôli väčšiemu priemeru reznej hlavy zariadenia [5].

3.1 NERIADENÉ MIKROTUNELOVANIE

Tento typ mikrotunelovania zahŕňa pretláčanie alebo zaťahovanie mikrotunelovacieho potrubia a zariadenia do zeminy bez možnosti riadenej úpravy smeru tunelovania.

Neriadené mikrotunelovanie delíme na [3]:

- Pneumatické prepichovanie
- Hydraulické prepichovanie
- Vibračné prepichovanie
- Prepichovanie pneumatickým barením
- Barenie s otvoreným čelom
- Vŕtanie s dodatočným zatláčaním potrubia
- Vŕtanie so súčasným zatláčaním potrubia

Metóda	vhodnosť pre potrubia priemeru (mm)
1. Pneumatické prepichovanie	45 až 250
2. Hydraulické prepichovanie	80 až 300*
3. Vibračné prepichovanie	100 až 300*
4. Prepichovanie pneumatickým barením	100 až 250
5. Barenie s otvoreným čelom	200 až 2000
6. Vŕtanie s dodatočným zatláčaním potrubia	80 až 400
7. Vŕtanie so súčasným zatláčaním (zaťahovaním) potrubia	viac ako 150

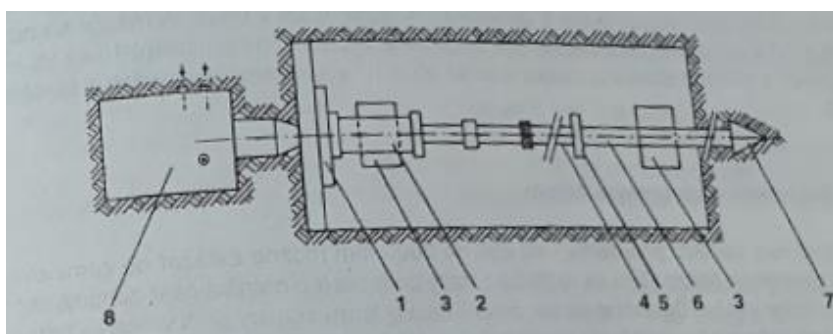
Obr. 3.1 Priemer potrubia pre metódy neriadeného mikrotunelovania [3]

Metóda neriadeného mikrotunelovania bola vyvinutá na výstavbu krátkych úsekov vedení, káblových a aj potrubných a z vytvárajú alternatívu pri prekonávaní prekážok ako sú cestné alebo železničné komunikácie. Hlavnou výhodou je ich konštrukčná jednoduchosť, nízke náklady na výrobu a nenáročnosť na spotrebu elektrickej energie. Súpravy sú nenáročné na obsluhu, môžu byť rýchlo zmontované, demontované a presunuté zo stavby na stavbu.

Použitelnosť týchto zariadení je však obmedzená. Jej hranica je vyplýva geologických podmienok, priemerov zatláčaných rúr a teda aj priemeru otvoru, z požadovanej dĺžky potrubia a požadovanou presnosťou zatláčania. Priemery dosiahnuteľné rôznymi metódami sú zobrazené na vyššie uvedenom obrázku (Obr. 3.1).

Zariadeniami pracujúcimi na princípe prepichovania sa vytvárajú v zeminovom masíve otvory do priemeru 300 mm (pri priaznivých geologických podmienkach priemer môže dosahovať až 400 mm). Nebezpečenstvom pri ich nasadení je vytlačanie nadložia. S výhodou sa používajú pri výstavbe kabelkových vedení a domových prípojok potrubných vedení. Vyhovujúca presnosť sa však dosahuje len pri krátkych prepichochoch (max 35 m). Len pri práci v homogénnych zeminách bez výskytu pevných prekážok sú dosiahnuteľné pri požadovanej presnosti aj dlhšie otvory. Zariadenia taktiež nie je možné nasadiť v skalných horninách a nestlačiteľných zeminách.

Zariadenia pracujúce na princípe pretláčania pracujú vo veľkom spektre zemín, pri priemeroch potrubia 150 – 1500 mm. Výstavba je oproti prepichovaniu nákladnejšia, prácnejšia a pomalšia. Opäť sa pracuje väčšinou v homogénnych zeminách bez výskytu prekážok. Pretláčať sa dajú len priame úseky [3].



Obr. 3.2 Prepichovacia súprava: 1 – oporná doska, 2 – hydromotor, 3 – podložka, 4 – tlačný nadstavec, 5 – tlačná doska, 6 – potrubie, 7 – prepichovacia hlava, 8 – hydraulický agregát [3]

3.2 RIADENÉ MIKROTUNELOVANIE

Po krátkom oboznámení sa s neriadeným mikrotunelovaním v predošlom úryvku sme zistili, že táto metóda má veľa hraníc použiteľnosti. Hlavnou nevýhodou je malá presnosť a veľmi obmedzené smerové vedenie výkopu. Tieto nedostatky boli vyriešené vývojom riadeného mikrotunelovania. Vývoj tejto technológie započal v Japonsku a neskôr aj v Nemecku. Výsledkom vývoja tejto technológie bol veľký počet rôzne konštrukčne aj funkčne riešených súprav.

Podľa funkcie a konštrukcie riadených súprav rozlišujeme 4 typy výkopu [1]:

- Vrtanie s vodiacim vrtom – táto varianta riadeného mikrotunelovania je špecifická tým, že sa potrubie na vedenie inžinierskych sietí zatláča priamo so závitnicou na ťaženie zeminy. Požadovaná poloha výkopu je zabezpečená vodiacim vrtom.
- Vrtanie na plný prierez s diaľkovou riadenou vrtacou hlavou – pri tejto metóde zabezpečuje výkop chráničkou zatláčaná do zemskeho povrchu a odvod zeminy je uskutočnený závitnicovým dopravníkom, ktorých pohon je umiestnený mimo vrtaciu hlavu . Za chráničkou je priamo vedené potrubie.
- Vrtanie vysokotlakou kvapalinou – prúd vody pod vysokým tlakom rozrušuje a roztláča zeminu.
- Mikrotunelovanie s použitím diaľkovo ovládaného štítu – rezný štít zabezpečuje výkop zeminy a odvod zeminy je zabezpečovaný hydraulickým potrubím. Pohon je umiestnený priamo v reznom štíte .

Ďalej sa mikrotunelovanie rozdeľuje podľa pracovného postupu výkopu. Postup závisí podľa dĺžky potrubia, rozmanitosti zeminového masívu, typu výkopovej technológie a podľa výskytu prekážok pri výkope.

Existujú 2 pracovné postupy výkopu [3]:

- Jednofázový postup výstavby
- Dvojfázový postup výstavby

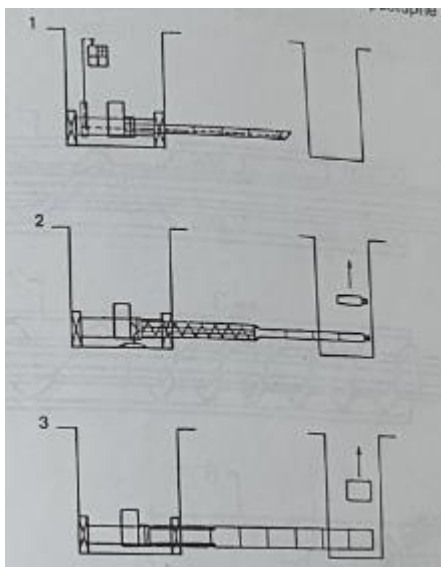
3.2.1 VRTANIE S VODIACIM VRTOM

Táto metóda má viacero spôsobov vykopávania. Tieto spôsoby závisia podľa obtiažnosti výkopu a podľa zeminového masívu, v ktorom vrt prebieha. Spoločným znakom týchto spôsobov je skutočnosť, že sa pred hlavným výkopom spraví vodiaci vrt, ktorý následne vedie rozširovaciu hlavicu. Musia byť taktiež najprv vytvorené dve šachty – pracovná šachta a cieľová šachta.

PRVÝ SPÔSOB

Je to spôsob riadeného prepichovania. Po tom ako sa vytvorí vodiaci vrt sa nasadí na zariadenie rozširovacia hlavica, na ktorú sa napájajú oceľové chráničky. Rozširovacia hlavica je zarážaná smerom z pracovnej ku cieľovej šachte a súbežne s ňou sa zatláča oceľová chránička, ktorá vytvára priestor na potrubie a chráni pred zrútením zeminového masívu. Po úplnom rozšírení sa zavádza potrubie do vykopaného tunela a postupne sa vyťahujú jednotlivé časti chráničky. Zemina je odvádzaná z vrtu závitnicovým dopravníkom.

Tento spôsob sa používa predovšetkým na vytvorenie domových prípojok do priemeru potrubia 400 mm a dĺžky cca 10 m [3].

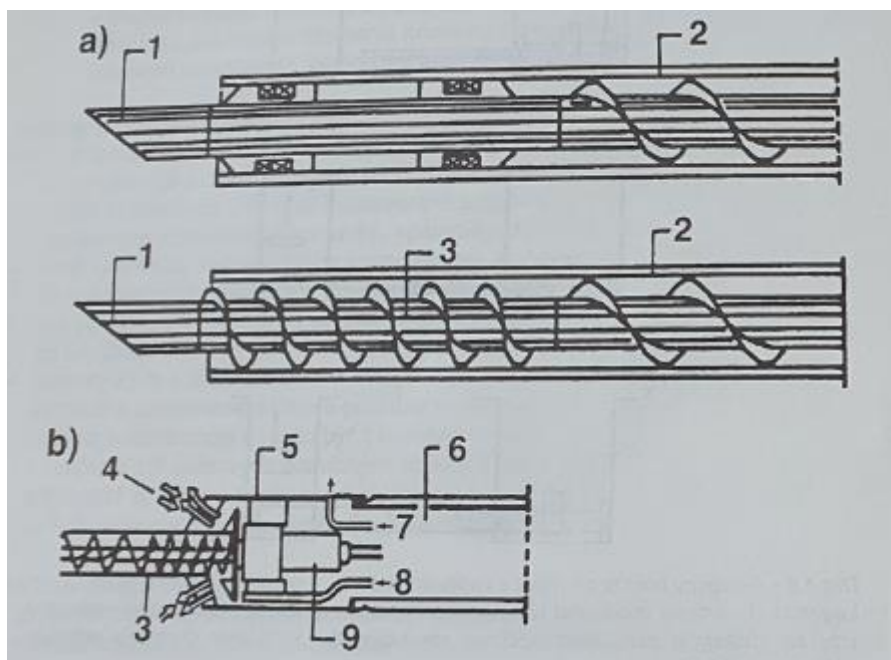


Obr. 3.3 Pracovný postup pri vrtaní s vodiacim vrtom; 1 – vrtanie vodiaceho vrtu riadeným prepichovaním, 2 – rozširovanie vodiaceho vrtu a zatláčanie chráničky, 3 – Ukončené rozširovanie, vytlačenie chráničky a zatláčanie potrubia [3]

DRUHÝ SPÔSOB

Používa na výkop závitnicu, ktorá je smerovaná a vrtá cez vodiacu rúru. Po tom ako je vodiaci vrt vytvorený sa zatláča rozširovacia hlavica do zeminy, za ktorou je priamo zatláčané úžitkové potrubie. Rozširovacia hlavica zároveň vytláča vodiacu rúru do cieľovej šachty. Na zníženie trenia rozširovacej hlavice a vtlačaného potrubia sa vháňa do výkopu bentonitové mazivo. Zariadenia tohto typu vedia zabrániť vniknutiu podzemnej vody do potrubia vháňaním tlakovej vody pred rozširovaciu hlavicu čo zvyšuje rozmanitosť použiteľnosti zariadení tohto typu. Zemina je odvádzaná hydraulicky pomocou transportného média alebo závitnicovým dopravníkom.

Tento spôsob sa používa na zabudovanie potrubí priemeru 150 až 600 mm s dĺžkou až 50 m [6].

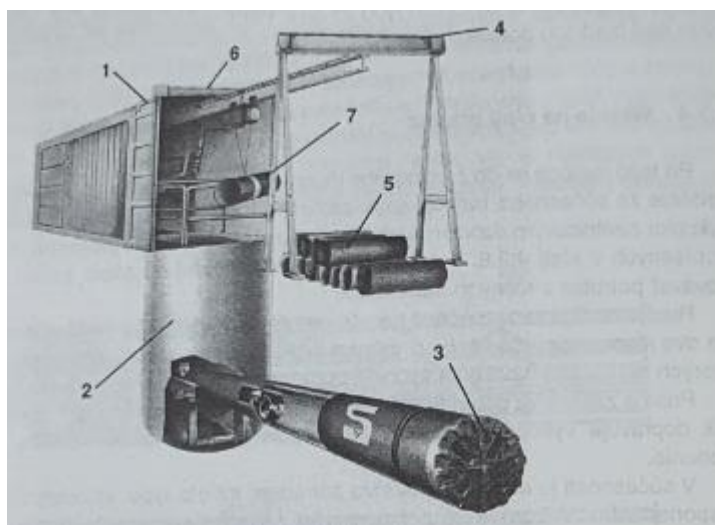


Obr. 3.4 Pracovný postup zariadenia Earth Arrow; a) Vodiaci vrt, b) rozširovací vrt, 1 – vodiaca hlavica, 2 – vodiaca rúra, 3 – závitnicový dopravník, 4 – podzemná voda, 5 – rozširovacia hlava, 6 – zatláčacie potrubie, 7 – bentonitová zmes, 8 - tekutina na zabránenie vniknutiu podzemnej vody, 9 – pohon [3]

3.2.2 VRTANIE NA PLNÝ PRIEREZ S DIAĽKOVOU RIADENOU VRTACOU HLAVOU

Metóda vrtania na plný prierez je veľmi podobná druhému spôsobu pri vrtaní s vodiacim vrtom. Na výkop zeminy sa používa vrtajúca hlava, za ktorou sa súčasne zatláča buď jednorazová chránička alebo už priamo úžitkové potrubie. Závitnicový dopravník používaný na odvod zeminy je umiestnený priamo v rúre s vedením pre vrtajúcu hlavu a teda nepoškodzuje prípadné zatláčané úžitkové potrubie. Pohon dopravníku a hlavy zabezpečuje agregát umiestnený v pracovnej šachte. Riadenie je zabezpečené pomocou hydromotorov ktoré sú uchytané na kĺbových častiach chráničky vrtajúcej hlavy.

Tieto zariadenia sa používajú väčšinou na výkop tunelov priemeru 250 až 1000 mm s dĺžkou do 100 m [3]. Agregát používaný na pohon hlavy a na transport zeminy je väčšinou umiestnený v kontajneroch. V závislosti na požadovaný priemer vrtu sa musí konštruovať aj vrtajúca hlava špecifická na daný výkon. Agregát je použiteľný univerzálne pokiaľ výkon postačuje na výkop potrebného priemeru. Pri tejto metóde je taktiež pri práci v nepriaznivých podmienkach nasadiť na hlavu vháňanie tlakovej vody alebo bentonitovej zmesi. Toto zabezpečuje stabilitu čela zariadenia.



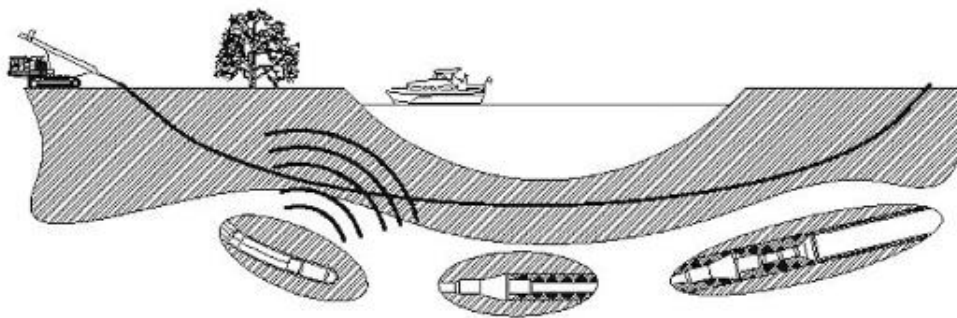
Obr. 3.5 Súprava Soltau; 1 – kontajner s ovládacím zariadením, 2 – šachta, 3 – vrtacia hlava, 4 – žeriav na vkladanie rúr do šachty, 5 – skládka rúr, 6 – ovládacie zariadenia, 7 – rúra [3]

3.2.3 VRTANIE S VYSOKOTLAKOU KVAPALINOU

Pri ostatných metódach mikrotunelovania sa zemský masív roztláča rotujúcou hlavou. Metóda vrtania vysokotlakou kvapalinou je špecifická tým, že sa nejedná o výkop zeminy, ale jej roztláčanie. Z toho vyplýva, že dané zariadenie nepotrebuje odvod z čela hlavy a nepotrebuje závitnicový dopravník alebo hydraulický odvod zeminy. Zemina je roztláčaná lúčom vysokotlakej kvapaliny z vrtajúcej hlavy pomocou trysiek. Tie sú ovládané z ovládacieho centra a umožňujú zmenu smeru zariadenia.

Táto technológia je používaná na malé priemery do 350 mm a je veľmi efektívna. Pri použití v hlinitých a piesočných hlinách môže vrt dosahovať dĺžku až 100 m za deň [1]. Hlavnou výhodou zariadení je však nízke nároky na iniciáciu procesu a na pracovný priestor. Zariadenia tohto typu nepotrebujú na zahájenie operácie pracovnú šachtu a vrt možno realizovať priamo do zemského povrchu. Pri náraze pri vrtaní na prekážku je možné hlavu stiahnuť a prekážku obísť.

Výkop prebieha v dvoch krokoch. V prvom kroku sa na ohybné sútyčie nasadí vrtacia hlavica s tryskami, ktoré striekajú vysokotlakú bentonitovú suspenziu. Týmto sa zemina rozpojuje a vytvára sa vodiaci vrt. V druhej fáze sa na sútyčie nasadí rozširovacia hlava a súčasne s rozširovaním priemeru sa zaťahuje úžitkové potrubie do vrtu.



Obr. 3.6 Vrtanie s vysokotlakou kvapalinou [6]

3.2.4 MIKROTUNELOVANIE S POUŽITÍM DIALKOVO OVLÁDANÉHO ŠTÍTU

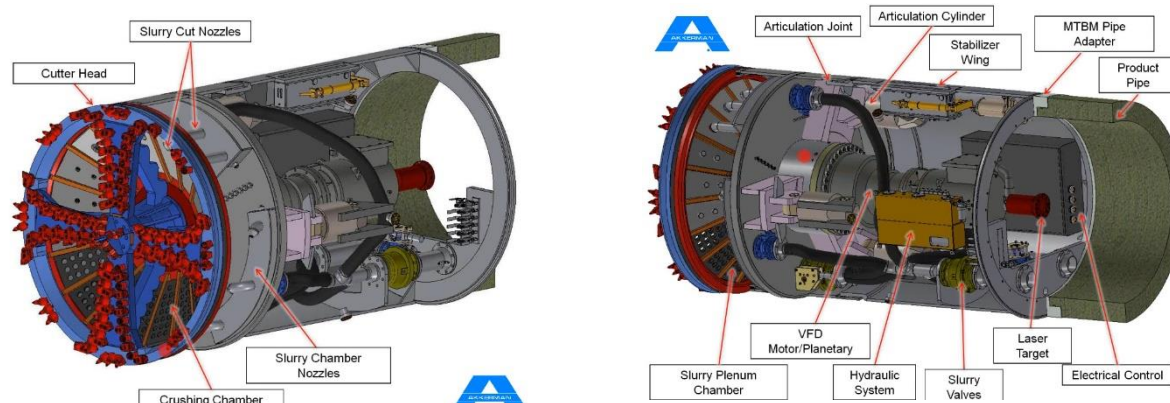
Je to najinovatívnejšia a najnovšia metóda mikrotunelovania preto sa budem tejto metóde venovať hlbšie.

Problém pri vrtaní na plný prierez bol pri zväčšujúcej sa dĺžke výkopu, nedobrá prenos síl z agregátu v pracovnej šachte až k vrtacej hlave. Štíty tento problém riešia. V hlave je sú sedené pohonné mechanizmy na výsun vrtnej hlavy, otáčanie rezného štítu a na čerpací agregát. Tieto zariadenia majú v dnešnej dobe väčšinou odvod zeminy zabezpečený hydraulickým potrubím alebo závitnicovým dopravníkom. V ovládacom stredisku – teda v kontajneri sa nachádza len ovládací panel a elektronika. Súpravy tohto typu môžu pracovať vo veľmi širokom spektre zemín, sú málo citlivé na poškodenie a ich montáž je rýchla. Tieto zariadenia sa používajú väčšinou na dlhšie výkopy v obťažnejších podmienkach, keďže ich cena je vysoká.

Prednosť týchto zariadení je ich rýchla montáž a demontáž, ľahké opravovanie porúch a dostupnosť súčiastok. V praxi sa väčšinou uplatňujú v ťažkých zeminových podmienkach na výstavbu dlhých trás. Dĺžka potrubia môže byť vyše 150 metrov [1].

ČASTI MIKROTUNELOVACIEHO ŠTÍTU S HYDRAULICKÝM ODVODOM ZEMINY

Mikrotunelovacích štítov je veľké množstvo, líšia sa viacerými parametrami a ich výber je určený vhodnosťou použitia. V nasledujúcom texte si ukážeme rezný štít od firmy Akkerman.



Obr. 3.7 Mikrotunelovací štít firmy Akkerman a) Pohľad na štít Akkerman spredu, b) Pohľad na štít Akkerman zo zadu [1]

Moderné mikrotunelovacie štíty sa skladajú z týchto komponentov [7]:

- Rezná hlava (Cutter Head)
- Drviaca komora (Crushing Chamber)
- Drviace trysky (Slurry Cut Nozzles)
- Otvory na odvod suspenzie (Slurry Chamber Nozzles)
- Komora na suspenziu (Slurry Plenum Chamber)
- Motor s prevodovým ústrojenstvom (VFD Motor/Planetary)
- Vodotesný kĺb (Articulation Joint)
- Hydraulický systém (Hydraulic system)
- Hydraulický valec (Articulation Cylinder)
- Vyrovnávacie krídlo (Stabilizer Wing)
- Elektronika (Electrical Control)
- Laser (Laser Target)
- Ventily na suspenziu (Slurry Valves)
- Úložný prah (MTBM Pipe Adapter)

Rezná hlava je funkčná časť zariadenia, ktorá vykonáva hlavnú prácu pri zarezávaní do zemského masívu a jeho vykopávaní. Rezné nástroje sú nasadené, tak aby bola plná funkčnosť zabezpečená pri otáčaní hlavy do oboch smerov. Otáčanie hlavy do oboch smerov je dôležité pre vodorovné udržanie hlavy, no aj pre zvýšenie manévrovateľnosti pri komplikáciách z výkopom (zaseknutie kamienka medzi reznou hlavou a drviacou komorou).

Drviaca komora slúži na drvenie kamienka nachádzajúceho sa vo vykopanej zemi na požadovanú veľkosť približne 40 mm [7]. Veľkosť zŕn v hydraulickom odvodovom potrubí nemôže prevyšovať určitú veľkosť na uistenie plynulého odvodu materiálu. Komora sa skladá z rotujúcich drviacich ramien a z drviaceho kužeľa, cez ktorý preniká výkop požadovaných rozmerov.

Drviace trysky zabezpečujú prívod kvapaliny do prednej časti mikrotunelovacieho štítu za účelom vytvorenia suspenzie po zmiešaní z vykopanou zemou.

Otvory na odvod suspenzie sú miesta na vstup už zmiešanej kvapaliny so zeminou do potrubia.

Motor s prevodovým ústrojenstvom slúži na pohon a rotáciu reznej hlavy. V týchto zariadeniach je používaný elektrický motor s planétovou prevodovkou. Na obrázku sa v tejto časti nachádza aj hnací hriadeľ.

Vodotesný kĺb zabezpečuje nahnutie reznej hlavy nezávisle od zadnej časti zariadenia. Je to časť vďaka ktorej je možné riadenie a nasmerovanie mikrotunelovacieho štítu. Tento je vodotesný aby sa do zadnej časti zariadenia nedostala voda a nebolo poškodené vnútorné ústrojenstvo.

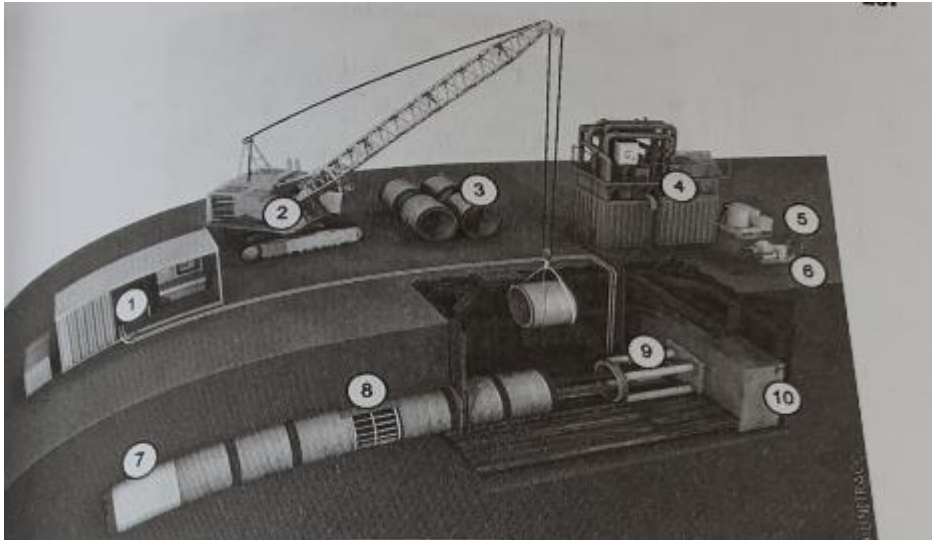
Hydraulický systém, ktorý zabezpečuje chod vyrovnávacieho krídla a hydraulického valca. V zariadení sa nachádzajú hydraulické valce, ktoré zabezpečujú náklon reznej hlavy. Máme ich v tri čo umožňuje úplný rozsah pohybu.

Elektronika slúži na preposielanie dát medzi ovládacím zariadením a štítom. Taktiež slúži na spracovanie dát z Laseru používaného na zisťovanie polohy zariadenia.

Prípojka na rúru/chráničku zabezpečuje kontakt zariadenia so zavádzanou chráničkou alebo už priamo s úžitkovým potrubím. Taktiež prenáša tlačiacu silu z potrubia.

PRACOVNÝ POSTUP PRI MIKROTUNELOVANÍ S POUŽITÍM ŠTÍTOV [1], [8] :

1. Najprv sa vykope pracovná šachta.
2. Namontuje sa v šachte vstupná plomba. Táto zabraňuje neželanému vniknutiu podzemnej vody a zeminy do šachty pri procese vykopávania.
3. Nastavenie kontrolného panelu a pomocných zariadení ku pracovnej šachte.
4. Zloženie rámu a vodiacich koľajníc na zatlačanie štítu a potrubia.
5. Vloženie štítu na rám.
6. Nastavenie riadiaceho systému (laserový systém) a zloženie hnacieho hriadeľa.
7. Zostavenie hydraulických potrubí na odvod zeminy.
8. Spustenie procesu mikrotunelovania



Obr. 3.8 Schéma zariadení použitých na mikrotunelovanie; 1 – kontajner s ovládacím zariadením, 2 – žeriav, 3 – oceľová chránička, 4 – oddeľovacie zariadenie, 5 – zmiešavacie zariadenie, 6 – hydraulická pumpa, 7 – štít, 8 – miestne zatláčanie zariadenie, 9 - hlavné zatláčacie zariadenie, 10 – podporný blok [1]

4 VÝROBCOVA, ZARIADENIA A PARAMETRE ZARIADENÍ

V tejto kapitole sa budeme zaoberať jednotlivými plnoprofilovými a riadenými mikrotunelovacími zariadeniami.

4.1 PLNOPROFILOVÉ TUNELOVANIE

Vzhľadom na špecifickosť jednotlivých strojných komplexov použitých na tento typ tunelovania sú špecifické údaje zariadení rozmanité. Výrobcom týchto zariadení sú už spomínaný Akkerman, Herrenknecht a Demag. Raziace stroje v českej republike firma a.s. SUBTERRA a na Slovensku Banské stavby Prievidza [3].

	Typ Stroja			
	Wirth TB II 330 H	Demag TVM 24-27 H	RS 24-27	RS 3,7-4,0
Razený priemer (m)	3,0 až 3,4	2,4 až 2,7	2,4 až 2,9	3,6 až 4,2
Zdvih hydromotorov pri vrtaní (mm)	1200	800	800	1200
Prítlak na vrtaciu hlavicu (kN)	4400	2050	2000	6000
Max. krút. moment (kNm)	260	210	200	500
Počet otáčok vrt hlavy (ot. min ⁻¹)	0-12	10,3	10	7,8
Celkový výkon (kW)	460	285	300	620
Výkon pre vrtaciu hlavu (kW)	296	220	220	530
Celková dĺžka zariadenia (m)	65,5	16,0	32,5	38,0
Celková hmotnosť zariadenia (t)	112	77	85	165

Tab. 4.1 Prehľad parametrov plnoprofilových raziacich strojov, dostupných pre ČR a SR [3]



Obr. 4.1 Raziaci stroj RS 37-40 [9]

4.2 VRTANIE S VODIACIM VRTOM

Suprava RVS 35 Soltau – dĺžka do 35 m s priemerom vrtu 100 až 2500 mm. Súprava potrebuje na umiestnenie šachty s priemerom 2 m. Používa sa na zariaďovanie kanalizačných prípojok [3].

Súprava HPB RVS 550/13 Celler Maschinenfabrik - dĺžka 30 až 50 m s priemerom 420 mm. Súprava potrebuje na umiestnenie šachty s priemerom 1,6 m [3].

Iron Mole TP 80 – dĺžka až 50 m s priemerom vrtu od 150 do 600 mm. Zariadenie vie pracovať aj pod hladinou podzemnej vody [3].

V nasledujúcej tabuľke máme parametre súprav od firmy No Dig Equipment z USA [10].

	Súprava		
	B110 – 11T	B250 – 25T	B750 – 50T
Max priemer potrubia (mm)	225	300	400
Max. dĺžka vrtu (m)	30	60	60
Príkon motora (kW)	25	62	62
Max. krút. moment (kNm)	1,4	2,3	3,5
Max tlačná sila (kN)	108	245	490
Max. pracovný tlak (MPa)	14	14	14
Pohon	diesel	diesel	diesel

Tab. 4.2 Prehľad parametrov súprav No Dig Equipment [10]



Obr. 4.2 Súprava B250 – 25T [10]

4.3 VŘTANIE NA PLNÝ PRIEREZ

V Európe dodáva tieto zariadenia firma nemecká firma Soltau, ktorý sa používajú na vytváranie potrubí a domových prípojok. Ďalšími firmami dodávajúcimi tieto zariadenia v Európe sú White a MGF [3].

	Súprava			
	RVS - 35	RVS 100A (S)	RVS 250A (S)	RVS 300A (S)
Max priemer potrubia (mm)	400	560	860	1300
Max. dĺžka vrtu (m)	35	100	150	300
Príkonná sila (kW)	30	48	90	125
Max. krúti. moment (kNm)	2,5	6,5	16	16
Max tlačná sila (kN)	350	1100	2660	3000
Max. pracovný tlak (MPa)	25	32	35	35
Pohon	diesel	el/diesel	el/diesel	el/diesel

Tab. 4.3 Základné parametre zariadení firmy Dr. Soltau [3]

4.4 VŘTANIE S VYSOKOTLAKOU KVAPALINOU

Lídrom vo vývoji a výrobe je firma Ditch Witch situovaná v USA s ich zariadeniami Jet Trac. Ďalej v Európe máme firmy KSK alebo napríklad Craelius so Švédska s ich zariadeniami Terrabor [3], [11].



Obr. 4.3 Zariadenie Ditch Witch Jet Trac 40 [11]

	Súprava		
	HSBM-50	JeT Trac	Grundodrill
Max priemer potrubia (mm)	160	200	250
Max. dĺžka vrtu (mm)	40	130	200
Max. pretlak kvap. (MPa)	17	10,3	10
Max. hĺbka pod povrch. (m)	4,5	4,5	10
Max prítlak na vrt. tyč (kN)	0,4	1,95	65,0
Max zatahovacia sila (MPa)	1,7	20	65
Max. krút. moment (Nm)	35	678	900
	Súprava		
	Flowtex	Terrabor 2000	Terrabor 3000
Max priemer potrubia (mm)	300	200	200
Max. dĺžka vrtu (mm)	230	150	180
Max. pretlak kvap. (MPa)	38	21	21
Max. hĺbka pod povrch. (m)	10	10	10
Max prítlak na vrt. tyč (kN)	5,0	65,0	65,0
Max zatahovacia sila (MPa)	50	35	35
Max. krút. moment (Nm)	500	650	650

Tab. 4.4 Základne parametre súprav na vrtanie s vysokotlakou kvapalinou [3],[11]

4.5 MIKROTUNELOVANIE S POUŽITÍM DIAĽKOVO OVLÁDANÉHO ŠTÍTU

Z vyššie uvedených zariadení sú tieto zariadenia z hľadiska použitých technológií najkomplikovanejšie a najnákladnejšie. Medzi popredných výrobcov patria firmy Herrenknecht, Akkerman a MTS [12], [13], [14].

	Súprava			
	AVN800XC	AVN1000XC	AVN1200XC	AVN1400XC
Max priemer potrubia (mm)	1110	1505	1740	1810
Max. dĺžka vrtu (m)	150	150	200	250
Počet otáčok vrt hlavy (ot. min ⁻¹)	0-7,4	0-5,4	0-3,5	0-3,2
Menovitý výkon (kW)	55	75	75	90
Max. krút. moment (kNm)	55	150	195	281

Tab. 4.5 Parametre súprav Herrenknecht AVN [14]

	Súprava			
	AVN1500XC	AVN1600XC	AVN1800XC	AVN2000XC
Max priemer potrubia (mm)	1970	2150	2425	3025
Max. dĺžka vrtu (m)	250	300	300	300
Počet otáčok vrt hlavy (ot. min ⁻¹)	0-3,2	0-3,2	0-3,3	0-2,0
Menovitý výkon (kW)	110	110	132	132
Max. krút. moment (kNm)	310	310	445	640

Tab. 4.6 Parametre súprav Herrenknecht AVN [14]



Obr. 4.3 Mikrotunelovací štít súpravy Herrenknecht AVN [15]

	Súprava			
	SL30C	SL34C	SL36C	SL44C
Max priemer potrubia (mm)	762	864	914	1118
Max. dĺžka vrtu (m)	-	-	-	-
Počet otáčok vrt hlavy (ot. min ⁻¹)	0-13	0-11	0-11	0-2,0
Menovitý výkon (kW)	56	56	56	56
Max. krút. moment (kNm)	51	83	83	83

Tab. 4.6 Parametre súprav Akkerman SL C [7]

	Súprava			
	SL46C	SL51C	SL60C	SL74C
Max priemer potrubia (mm)	1168	1295	1524	1880
Max. dĺžka vrtu (m)	-	-	-	-
Počet otáčok vrt hlavy (ot. min ⁻¹)	0-11	0-9,5	0-7,7	0-7,7
Menovitý výkon (kW)	56	93	186	186
Max. krút. moment (kNm)	51	116	288	288

Tab. 4.7 Parametre súprav Akkerman SL C [7]



Obr. 4.3 Mikrotunelovací štít súpravy Akkerman SL C [7]

	Súprava			
	SL74P	SL86P	SL100P	SL114P
Max priemer potrubia (mm)	1880	2184	2540	2896
Max. dĺžka vrtu (m)	-	-	-	-
Počet otáčok vrt hlavy (ot. min ⁻¹)	0-9	0-9	0-8	0-7
Menovitý výkon (kW)	298	298	373	373
Max. krút. moment (kNm)	406	474	677	813

Tab. 4.8 Parametre súprav Akkerman SL P [7]



Obr. 4.3 Mikrotunelovací štít súpravy Akkerman SL P [7]

ZÁVER

Predložená bakalárska práca sa zaoberá štúdiom technologických prostriedkov pre riadené bezvýkopové práce. Rešerš sa po krátkom uvedení do témy členení do troch častí.

Prvá časť sa zaoberá plnoprofilovým tunelovaním. Zariadenia tohto typu sú veľmi komplexné a používajú sa na razenie potrubí väčších priemerov a dĺžok, preto sú vhodné na budovanie podzemných kolektorov.

Druhá časť sa venuje mikrotunelovaniu. Na začiatku je zhrnuté všeobecné rozdelenie všetkých metód mikrotunelovania, ktoré sú neskôr podrobne rozpísané. Voľba najvhodnejšej metódy závisí od priemeru potrubia a od geologických podmienok na trase pôsobenia. Výhodou je minimalizovaná prácnosť, vysoká miera pracovných výkonov a zníženie prácnosti presunu zeminového výkopu.

V tretej časti sú na vytvorenie prehľadu spracované v tabuľkách technické parametre konkrétnych strojných zariadení. Pre každú metódu zmienenú v predošlých častiach sú uvedení výrobcovia zariadení, konkrétne názvy súprav a parametre, na ktoré je kladená najväčšia dôležitosť pri výbere vhodnej technológie a zariadenia potrebné na realizáciu výkopu.

POUŽITÉ INFORMAČNÉ ZDROJE

- [1] NAJAFI, Mohammad, 2013. *Trenchless Technology: Planning, Equipment, and Methods*. McGraw-Hill Professional. ISBN 978-0-07-176245-8.
- [2] *Mechanical Excavation in Mining and Civil Industries* [online]. 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300 Boca Raton, FL 33487-2742: Taylor & Francis Group, 2014 [cit. 2020-04-20]. ISBN 978-1-4665-8475-4. Dostupné z: https://www.academia.edu/29098914/Nuh_Bilgin_Hanifi_Copur_Cemal_Balci_Mechanical_Excavation_in_Mining_and_Civil_Industries
- [3] KLEPSATEL, František, Martin MARCINČÁK a Jaroslav RACLAVSKÝ. *Bezvýkopová výstavba podzemných vedení: aktualizované informace pro technické, marketingové a vzdělávací využití*. Praha: GAS, 1996. GAS.
- [4] STN 75 6101. *Gravitačné kanalizačné systémy mimo budov*, Bratislava: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo Slovenskej republiky, 2016.
- [5] *Bezvykopu.cz*. *Bezvykopu.cz* [online]. 718 00 Ostrava - Kunčičky: TALPA - RPF, 2014 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://www.bezvykopu.cz/bezvykopova-technologie-rizene-podvrty.php>
- [6] *Užívání bezvýkopových technologií při snižování emisí CO2 během realizací staveb inženýrských sítí* [online]. Praha: CzSTT, 2012 [cit. 2020-04-20]. ISBN 1214 – 5033 (34). Dostupné z: <https://www.czstt.cz/sites/default/files/1.2012-2.brozura.pdf>
- [7] *Akkerman* [online]. Brownsdale, MN 55918 | USA: Akkerman, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: http://www.akkerman.com/microtunneling_mtbm.php
- [8] *Ward and Burke microtunneling* [online]. London: Ward and Burke microtunneling, 2002 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://pub-london.escribemeetings.com/filestream.ashx?DocumentId=16908>
- [9] HISTORIE POUŽÍVÁNÍ PLNOPROFILOVÝCH RAZICÍCH STROJŮ U FIRMY SUBTERRA. *Tunel* [online]. 2010, **2010**(1), 4 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/tunel/2010/3/tunel_03_10-22-25.pdf
- [10] HISTORIE POUŽÍVÁNÍ PLNOPROFILOVÝCH RAZICÍCH STROJŮ U FIRMY SUBTERRA. *Tunel* [online]. 2010, **2010**(1), 4 [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: https://www.ita-aites.cz/files/tunel/2010/3/tunel_03_10-22-25.pdf
- [11] No Dig Equipment. *No Dig Equipment* [online]. Road, Maddington WA 6109: No Dig Equipment, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.microtunnelling.com.au/>
- [12] ELB equipment. *Elbquip* [online]. Emu Plains, NSW 2750: ELB equipment, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://elbquip.com/ditch-witch/drills/>
- [13] Mts. *MTS* [online]. 19246 Luttov-Valluhn Germany: mts Microtunneling Systems, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://mts-tunneling.com/en/products/microtunneling.html>

- [14] A E Yates. *Aeyates* [online]. Lostock Bolton Lancs: A E Yates Trenchless Solutions, 2020 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <https://www.aeyates.co.uk/a-e-yates-trenchless-solutions/plant-and-machinery/plant-and-machinery-for-sale>
- [15] AVN 800XC– AVN 2000ACPipe Jacking. In: *TECHNICAL DATA SHEET / AVN 800 XC – AVN 2000 AC* [online]. Schwanau, Germany: Trikausch, 2015, s. 2 [cit. 2020-04-20]. Dostupné z: <http://trikausch.com/pdfs/herrenknecht/060629-db-avn800-2000ac.pdf>
- [16] *Herrenknecht AG* [online]. 2020 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.herrenknecht.com/en/products/productdetail/avn-machine/>