



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

ANALÝZA POHONNÝCH SYSTÉMŮ VRTNÝCH ZAŘÍZENÍ

ANALYSIS OF POWERTRAIN SYSTEMS OF DRILLING EQUIPMENT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Klíč

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Mergl, Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Zdeněk Klíč**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenství
Vedoucí práce: **Ing. Václav Mergl, Ph.D.**
Akademický rok: 2022/23

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:

Analýza pohonných systémů vrtných zařízení

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Provedení rešeršní analýzy pohonných systémů vrtných zařízení za účelem stavebních prací. Součástí analýzy jsou schématické nákresy daných systémů přenosu energie pro vrtné práce.

Cíle bakalářské práce:

Rešeršní rozbor vrtných systémů a jejich rozdělení do kategorií.
Popis jednotlivých kategorií.
Schématické nákresy jednotlivých přenosů energie s následným popisem.
Porovnání technických parametrů daných systémů pohonů.

Seznam doporučené literatury:

FRIES, Jiří. Zemní stroje: učební text : studijní materiály pro studijní obor Zemní, těžební a stavební stroje Fakulty strojní. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2567-0.

PINKA, Ján. Fundamentals of drilling engineering: monograph. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2017-. ISBN 978-80-248-4107-6.

PAVLOK, Bohuslav. Hydraulické prvky a systémy. 2. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2015. ISBN 978-80-248-3777-2.

NICHOLS, Herbert L. Heavy equipment repair. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 1989.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

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

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá pohonnými systémy vrtných souprav určených ke stavebním pracím. Používané pohonné systémy jsou zde rozděleny dle využívané energie a následně analyzovány. Tato analýza obsahuje popis důležitých komponent v systémech, schématické obrázky naznačující princip, popis fungování, přenos energie a konkrétní příklady strojů využívajících každý ze systémů. Dále je zde shrnutí výhod a nevýhod. Získané poznatky se vztahují k novodobým vrtným soupravám, u kterých se klade důraz na šetrnost vůči životnímu prostředí. Výsledkem práce je zobecnění této problematiky a odhalení podrobnějšího řešení jednotlivých systémů.

Klíčová slova

Vrtná souprava, pohonný systém, elektromobilita, hydraulika, vrtné práce, přenos energie

Abstract

This bachelor's thesis deals with powertrain systems of drilling rigs intended for construction work. The powertrain systems are divided according to the energy they used and then analyzed. This analysis includes a description of the important components in the systems, schematic images indicating the principle, a description of operations, power transfer, and specific examples of machines using each of the systems. The next part focuses on a summary of the pros and cons. The knowledge gained relates to modern drilling rigs with an emphasis on environmental friendliness. The result of the work is the generalization of this issue and the disclosure of a more detailed solution for individual systems.

Keywords

Drilling rig, powertrain system, electromobility, hydraulics, drilling operations, energy transfert

Bibliografická citace

KLÍČ, Zdeněk. *Analýza pohonných systémů vrtných zařízení* [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/148003>. Bachelářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Václav Mergl

Čestné prohlášení

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

V Brně dne 22. května 2023

Klíč Zdeněk

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval Ing. Václavovi Merglovi Ph.D. za odborné vedení, cenné připomínky a užitečné rady, kterými přispěl k vypracování této bakalářské práce.

Další poděkování patří Ing. Miroslavovi Muzikantovi ze společnosti JaNo s.r.o., který mi pomohl objasnit některá úskalí problematiky.

A také nemohu zapomenout na svou rodinu, která mě podporovala nejen při vzniku této bakalářské práci, ale i v průběhu celého studia.

Obsah

1	Úvod	9
2	Rozdělení vrtacích strojů	10
3	Vrtné práce	13
3.1	Vrtání studní	13
3.2	Vrtání pro tepelná čerpadla	13
3.3	Vrtání průzkumných vrtů	14
3.4	Kotevní vrtání	14
3.5	Vrtání pilotů	15
4	Podrobný popis vrtné soupravy	16
4.1	Lafeta	16
4.2	Vozík	17
4.3	Vrtná hlava	17
4.4	Svěra	18
4.5	Rotační stůl	18
4.6	Vrátek	19
4.7	Podvozek	19
5	Pohonné systémy	21
5.1	Rozdělení používaných pohonných systémů	21
5.2	Spalovací motory	21
5.2.1	Novodobí vznětový motor	22
5.2.2	Turbodmychadlo	23
5.3	Hydraulická část pohonu	24
5.3.1	Pístový hydrogenerátor	24
5.3.2	Zubový hydrogenerátor	24
5.3.3	Hydraulický rozvaděč	25
5.3.4	Hydromotor	26
5.4	Diesel-hydraulický systém	27
5.4.1	SR-75	28
5.5	Elektrické motory	29
5.6	Elektricko-hydraulický systém s akumulátorem	30
5.6.1	Akumulátor	31

5.6.2	Nabíjení akumulátorů	31
5.6.3	LB 16 unplugged.....	32
5.7	Elektricko-hydraulický systém s přímým napájením.....	33
5.7.1	eBG 33	34
5.8	Vývoj nového typu systému	35
6	Posouzení rozdílů a využití v budoucnu	36
7	Závěr	37
8	Seznam použitých zdrojů	38
9	Seznam obrázků.....	46
10	Seznam tabulek.....	46

1 Úvod

U každé větší stavby je potřebné mít kvalitní základy, na kterých bude celá stavba stát. Ať už se jedná o běžný rodinný dům, panelový dům nebo třeba most či dálnici, základy všech staveb zasahují do určité hloubky pod povrch země. Před tvorbou základů je potřebné za použití těžké techniky vykopat rozměrné místo a v tomto okamžiku se dost často stává, že se objeví natékající podzemní voda, což je pro stavbu nežádoucí. Proto je při zakládání stavby jednou z prvních pracovních operací vyvrtání hydro vrtů, které se následně osadí čerpadly a voda je tak odčerpávána z prostorů stavby pryč.

K vyvrtání těchto vrtů je zapotřebí použití vrtné soupravy, stroje, který je vybaven vrtákem na vysoké věži. Pracovní proces probíhá tak, že je nástroj zavrtán hluboko do země a následně je vytáhnut i s odebranou horninou. Proces se opakuje v závislosti na hloubce vrtu a síly stroje.

Vrtné soupravy potřebují silný pohon, protože jak otáčení nástroje při zavrtávání, tak zpětný zdvih z několika metrové hloubky, jsou velmi těžké úkoly. Z tohoto důvodu byl vždy základem vznětový motor a hydraulický obvod. V současnosti je snaha takto emisně náročný pohon inovovat nebo nahrazovat, a tak došlo ke vzniku různých druhů pohonných systémů.

I když jsou vrtné soupravy na stavbách využívány běžně, existuje jen neveliké množství informací rozebírajících jejich podstatu do hloubky. Cílem této práce je tedy zanalyzovat pohonné systémy těchto strojů a vytvořit tak ucelený pohled, doplněný o konkrétní příklady a schématické obrázky.

2 Rozdělení vrtacích strojů

Vrtacích strojů je celá řada, od jednoduchého ručního motorového vrtáku až po masivní vrtné plošiny v oceánu. Ač se jedná vždy o proces vrtání, jejich použití je rozmanité a tím jsou dány jejich odlišnosti.

Základním dělením je jejich rozdílnost ve způsobu přemístování. Mohou být samojízdné s vlastním pohonem, přívěsné, nesené mechanizací, ručně nesené nebo pevné [1].

Pevnou konstrukci má vrtná plošina (Obr. 1), zařízení specializované na těžbu ropy a zemního plynu [2]. Plošiny bývají postaveny v oceánech nebo mořích bohatých na tyto nerostné suroviny (např. Severní moře) daleko od pobřeží a jejich hmotnost bývá enormní. Ve velkých hloubkách bývá plošina ukotvená k mořskému dnu, v menších hloubkách může být postavena na podpůrných sloupech [3].

Těží se zde suroviny z vrtů hlubokých až 2500 metrů. Pro představu, norská plošina Statfjord B. váží 900 000 tun a je ponořena do hloubky 145 metrů [3].



Obr. 1 Vrtná plošina Statfjord B. [3]

Motorový ruční vrták (Obr. 2) bývá nejčastěji vybaven dvoudobým nebo čtyřdobým zážehovým motorem o výkonu 1,1 – 3,7 kW [1]. Je vhodný na hloubení děr pro výsadbu stromů, usazení sloupků oplocení nebo vrtání otvorů do ledu. Vrták zvládne obsluhovat jedna osoba a jeho údržba je snadná [4].

Kromě typu se spalovacím motorem může být ruční vrták elektrický nebo manuální. Tyto varianty lze použít spíše v měkčích půdách [4].



Obr. 2 Motorový ruční vrták [4]

Vrták za traktor (Obr. 3) je přídatné zařízení jednoduché konstrukce, nesené na tříbodovém závěsu. Pohon vychází z vývodové šesti drážkové hřídele traktoru. Používá se pro obdobné práce jako motorový ruční vrták [5].



Obr. 3 Vrták za traktor [6]

Stroj, který se pohybuje na vlastním podvozku a používá vlastní pohonnou jednotku pro všechny své části, se nazývá vrtná souprava (Obr. 4, Obr. 5) [1]. Tyto zařízení jsou konstruovány tak, aby si dokázaly poradit s těžkými úkoly i v náročných podmínkách. A podle toho, kde budou použity se vyrábí v různém provedení [7].

Pro vrtání při zakládání staveb je pro soupravu důležitá variabilita a pohyblivost na stavbě, proto se vyrábí na pásových podvozcích a kinematika věže (lafety) je vyrobena tak, aby se dalo vrtat v různých polohách a úhlech [8].



Obr. 5 Vrtná souprava na pásovém podvozku [77]



Obr. 4 Vrtná souprava jako rypadlo na pásovém podvozku s otočí [68]

Pro průzkumné práce a vrtání studní, kde se hloubka vrtání pohybuje ve stovkách metrů, se používají soupravy postavené spíše na kolovém podvozku (Obr. 6). Lafeta je kinematicky jednodušší, jde o pohyb jen v jednom směru a je konstruována na delší vrtné nářadí [8].



Obr. 6 Vrtná souprava na kolovém podvozku [9]

3 Vrtné práce

3.1 Vrtání studní

Vrtání studní se provádí hlavně za účelem získání nezávislého zdroje pitné vody. Nejprve si hydrogeolog prohledá oblast a podle geologických dat rozhodne, kde by se měl vrt uskutečnit [10]. Na pozemek se následně dopraví vrtná souprava, která svými technickými parametry odpovídá požadované hloubce a průměru vrtu [11]. Pro soukromníky s úmyslem využívat vrt jen pro svou vlastní potřebu, jako je zavlažování zahrady a do domu, se nejčastěji volí průměr vrtu 190–210 mm. V úvahu se bere i předpokládaná vydatnost [10].

Nejprve se do osy vrtu postaví věž s nasazeným jádrovým vrtákem a odvrtají se úvodní metry. V momentě dosažení sypké horniny je zapotřebí použít pažení, aby nedošlo k zasypaní [10]. Vrtná souprava musí být vybavena svěrou, do které se uchopí pažnice a kmitavým pohybem tzv. „šůrováním“ se zatlačí do země. V ní se pak provádí samotné vrtání. Postupně se nastavují další pažnice, které tak tvoří pažnicovou kolonu [12]. Když vrták narazí na tvrdou horninu, jež se nesype, tak už není potřeba dále přidávat pažnice a dojde k výměně nástroje na příklepové kladivo s korunkou. Studna se dovrtá do patřičné hloubky a následuje vystrojení [10]. Vrt se vystrojuje nejčastěji PVC potrubím s menším průměrem, než je průměr pažnice. U dna a všude tam, kde nenatéká voda, jsou plné trubky, a tam, kde vytéká, se vloží perforované trubky [13]. Pak se mezi trubky a pažení sype obsyp (nejčastěji ve formě kamenivo frakce 4–8 mm) střídavě s postupným vytahováním pažnic z vrtu ven [13].

3.2 Vrtání pro tepelná čerpadla

Vrty pro tepelná čerpadla (Obr. 7) jsou v pevných horninách vrtány technologií rotačně příklepového vrtání s použitím ponorných vzduchových kladiv. V sypkých horninách jílového charakteru se využívá technologie rotačního vrtání s listovými dláty a s výplachem bentonitového charakteru pro držení stability stěn vrtu [14].

Při rotačně příklepné technologii se musí průběžně vkládat pažnice, a to zpravidla do úvodních 15 metrů, proto je používána dvojitá rotační hlava, která zvládá současně vrtat i vkládat pažnice. Ponorné kladivo má před manipulační pažnicovou kolonou předstih 10–15 cm a vykonává předvrtání [14] [15]. Do toho je současně pažena rotující kolona. Pro odvod horniny slouží také dvojitá rotační hlava, ze které je drť odváděna pryč. Hloubka pažení kolony bývá určena geologickými podmínkami až do 70 m [14]. Do konečné hloubky se pak vrtá s použitím vody (s výplachem) [15].



Obr. 7 Vrtání vrtu pro tepelné čerpadlo [16]

3.3 Vrtání průzkumných vrtů

Průzkumné vrtý se provádějí kvůli získání geologických informací místa, kde se bude následně něco dít [17].

Rozdělují se podle účelu na:

- Hydrogeologické vrtý – cílem je zjištění údajů o podzemní vodě, její vydatnost v místě, chemické složení atd.
- Inženýrsko-geologické vrtý – cílem je získání dat a vzorků struktury podloží kvůli stavebním pracím
- Ložiskové vrtý – cílem je prozkoumání oblasti s výskytem nerostných surovin, písků, jílu atd.
- Monitorovací vrtý – cílem je zjištění stavu hladiny podzemní vody nebo monitorování jakosti v místech možného znečištění, např. znečištění ropnými látkami [18]

Průměr vrtů bývá 110-125 mm, proto se používá menší souprava. Ta pracuje s jádrovou technologií vrtání s plným výnosem vzorků zemin a hornin. Pokud nejde o vrtý hydrogeologické, tak není potřeba jejich vystrojení [17].

3.4 Kotevní vrtání

Kotvy slouží k přenášení tahových sil od konstrukce do základové horniny. Používá se např. pro kotvení pažicích konstrukcí stavebních jam, kotvení opěrných stěn a kotvení dalších stavebních konstrukcí namáhaných tahem [19].

Nejprve se provede vrt požadované hloubky sklonu. Typ vrtné soupravy a vhodné technologie závisí na geologických podmínkách. Následně se vrt za nízkého tlaku injektuje cementovou směsí a osadí se kořenovou částí kotvy. Nakonec se provede konečná injektáž a dojde k upnutí do horniny [20].

3.5 Vrtání pilotů

Provádí se při zakládání stavby, kde se vrtané piloty používají jako hlubinné základy. Jedná se o nejspornější a nejrychlejší způsob zakládání stavby. Rozměry pilot a tím i vrtů jsou dány velikostí přenášeného zatížení [21]. Mikropiloty mají příčný profil menší než 200 mm, maloprůměrové piloty mají tento rozměr od 200 mm do 600 mm a velkoprůměrové piloty nad 600 mm [21].

K nejběžnějším metodám vrtání pilotů patří technologie vrtání Kelly, provádění pilot průběžným vrtným šnekem, vrtání dvojitou vrtací hlavou a vrtání roztlačováním.

Při technologii vrtání Kelly je použit poměrně krátký nástroj, kterým může být vrtný šnek, jádrový vrták nebo hrnec. Nástroj je uchycen k dlouhé teleskopické tyči, tzv. Kelly tyči. Tato tyč je typická pro tuto metodu a zajišťuje vrtání do velké hloubky [22]. Pokud se práce provádí na nestabilním podloží, tak je nutné zavrtání ocelových pažnic. V těch se pak postupně odebrá hornina vrtákem a střídavým otáčením se střese z nástroje mimo vrt [22]. Do vyhloubené díry se následně za pomoci kladky na vrcholu věže a navijáku stroje umístí armovací koš, ten je pak vybetonován a pilota je na světě. Metoda je vhodná téměř pro všechny typy podloží [22].

Vrtání průběžným vrtným šnekem je provedeno v jednom pracovním kroku, kdy se nástroj zavrtá až do konečné hloubky a následně je za stálé rotace vytáhnout i s odebranou zemí. Při vytahování se vnitřkem vrtného šneku přivádí lítý beton, a tak se vrt ani nezasype. Tato metoda není příliš vhodná pro skalnaté podloží [22].

Metoda, která je kombinací metodou Kelly a vrtání průběžným šnekem, se nazývá vrtání s dvojitou vrtací hlavou. Nástrojem je opět průběžný šnek, tentokrát použitý v průchozím ocelovém pažení. Dvojitou vrtací hlavou se rozumí, že má souprava dva na sobě nezávislé rotační pohony, kde jeden pohání nástroj a druhý pažnici [22]. Při vytahování z finální hloubky je opět vnitřkem vrtného průběžného šneku přiváděn lítý beton. Metodu je vhodnou použít i v těsné blízkosti budov [22].

Při vrtání pro roztlačované piloty dochází k roztlačení horniny do stran, takže nedojde k žádnému vytěžení na povrch. Používá se k tomu hladká pažnice tzv. razící potrubí, na jejímž konci je osazen vrták. Lítý beton se opět vhání dutým nástrojem při vytahování [22].

4 Podrobný popis vrtné soupravy

Jak už je vidět z výše uvedených obrázků, souprava může mít mnoho podob. Může být vyrobena už z výroby jako velmi specifický, účelový stroj nebo lze vrtací příslušenství umístit na nákladní automobil, traktor, rypadlo, přívěs. Ovšem všechny varianty mají přibližně stejné vrtné vybavení.

4.1 Lafeta

Základní a také na první pohled nejvíce zaznamenanou částí je lafeta (věž). Jedná se o svařovanou konstrukci, na které jsou navařené vodící lišty pro vedení vrtného vozíku, ten je osazen vrtnou hlavou. Většinou jsou lafety kinematicky volnější a lze je naklánět a následně vrtat pod mírným úhlem [23] [24]. Při přemísťování je věž položena vodorovně na soupravě a před pracovním procesem ji hydraulické písty zvednou do svislé polohy [25].

Lafety se liší svou délkou, která bývá navržena hlavně podle toho, k jakému vrtání bude souprava určena a o jak velkou a silnou soupravu se jedná. Např. věž na stroji využívaném k vrtání hydro-vrtů mívá 6–8 metrů, kdežto věž na rypadle určeném k vrtání pilot na stavbách mívá okolo 30 metrů.

Důležité rozdělení věží je z hlediska pohonu, který zajišťuje posuv. Dělí se na lafetu s válcem, lafetu s hydromotorem a lafetu na níž je posuv zajištěn vrátkem [26] [23].

Lafeta s válcem:

Na konci lafety je namontovaná klec, k níž je uchycen hydraulický válec, který je uvnitř věže a zajišťuje pojezd vozíku [23].

Lafeta s hydromotorem:

U tohoto typu je hydromotor, který pohání ocelové lano nebo v častějších případech řetěz a ten je přes kladku připevněn k vozíku. Podle směru chodu hydromotoru se pak vozík a tím i hlava a nástroj pohybují nahoru a dolů [23].

Lafeta s vrátkem:

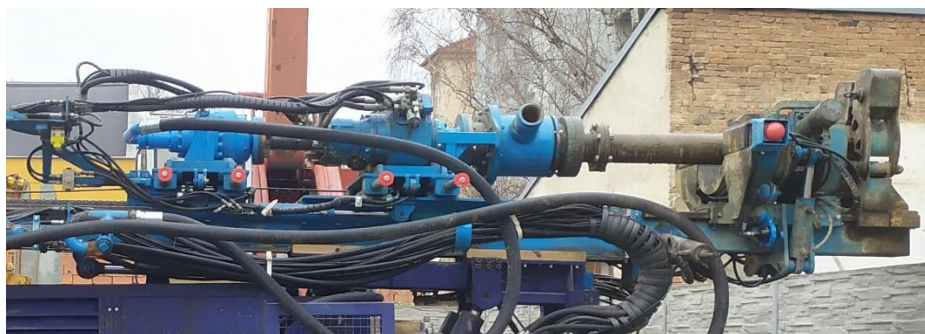
U rypadel vrtajících piloty je posuv zajištěn vrátkem, ten navíjí nebo odvíjí ocelové lano, a tak pohybuje vozíkem (Obr. 8). Rozdíl mezi tímto typem věže a dvěma předchozími je ten, že při pohybu vozíku dolů, tedy odvíjením ocelového lana, není zapotřebí velké síly. Nástroje jsou obvykle těžké a jejich vlastní hmotnost vyvíjí potřebný tlak k vrtání [23].



Obr. 8 Lafeta s vrátkem na rypadle [27]

4.2 Vozík

Vozík je spodní základová deska, která je na pevně připevněna k posuvovému řetězu. Jeden nebo dva vozíky (Obr. 9) jsou spojeny s lafetou, po které se pohybuje prostřednictvím vodících lišt nebo kladek [24]. Jejich počet závisí na počtu vrtných hlav, protože každá vrtná hlava má svůj vlastní. Vozík může být pevný nebo s odsunem, při němž dochází k odsunutí do strany a tím se vytvoří místo k těžení náradí pomocí vrátku nebo zapouštění výstroje. Často bývá vozík s odsunem a výklopem pro snadnější manipulaci s vrtným nářadím [23].



Obr. 9 Dva vozíky s vrtnými hlavami za sebou – zdroj vlastní

4.3 Vrtná hlava

Vrtná hlava (Obr. 10) je pevně spojena s vrtnou kolonou a provádí s ní rotační i posuvný pohyb. Často bývají na vozíku dvě hlavy za sebou, kdy spodní hlava zajišťuje rotační pohyb nástroje a horní hlava se stará o rotační pohyb pažnic. Hlava může obsahovat jeden nebo dva dvojčinné hydromotory [24] [23].



Obr. 10 Jednomotorová vrtná hlava [28]

4.4 Svěra

Svěra se nachází na dolní části věže a je stejně jako většina komponent ovládána hydraulicky. Dva hydromotory tlačí proti sobě a vyvíjený tlak drží nářadí. Často se používá dvojitá svěra, nebo trojitá svěra s klíčem. Její využití je při zatlačování pažnic do země, povolování závitů pažnic, nebo při vedení nástroje v ose vrtání [29] [23].

4.5 Rotační stůl

Někdy bývá na soupravě místo svěry umístěn rotační stůl (Obr. 11), který stejně jako hlava přenáší kroutící moment na vrtnou kolonu [24]. Jelikož má ale mnohem větší sílu než hlava a funguje sám o sobě na principu celé vrtné věže s malým rozsahem posuvu, tak bývá použit jen v případech, kdy je nutné povytáhnout zaseknuté nářadí ve vrtu [24] [23]. V dnešní době je použití stolů ojedinělé, protože novodobé vrtné hlavy mají dostatečnou sílu, aby si s vrtáním poradily i bez stolu [23].



Obr. 11 Vrtná souprava s rotačním stolem od firmy JaNo s.r.o. – zdroj vlastní

4.6 Vrátek

Další možnou výbavou soupravy je vrátek s ocelovým lanem. Lano je přes kladku umístěnou na vrcholu věže připojeno k vrtné koloně a může pomáhat při vytahování kolony z vrtu [24]. Taková pomoc se provádí jen při počátečním vrtání, protože síla vrátku není natolik velká, aby vytáhla vrtnou kolonu s větších hloubek [23].

Další funkcí bývají pomocné podávací práce, kdy je třeba zapotřebí nasadit vrtací nástroj do vrtné hlavy [23].

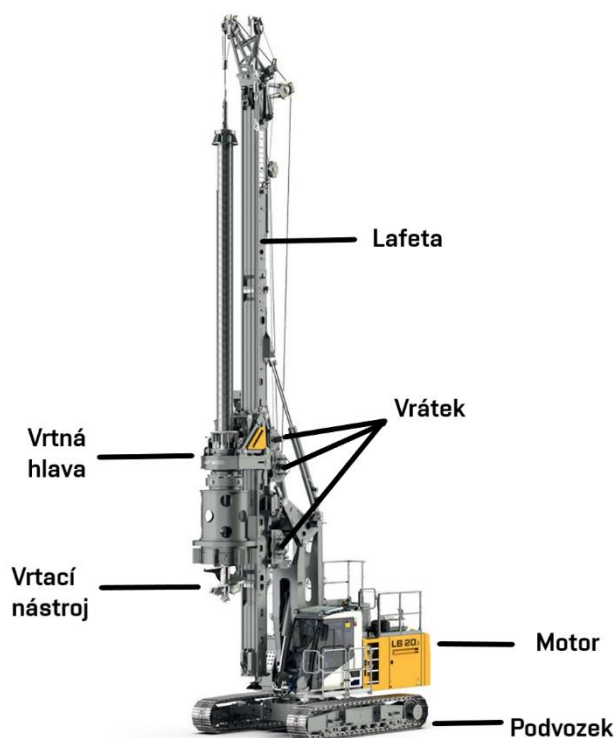
Některé soupravy mají až tři vrátky. Každý z nich je přizpůsobený svou pozicí, velikostí, silou a tloušťkou ocelového lana k jiné činnosti.

4.7 Podvozek

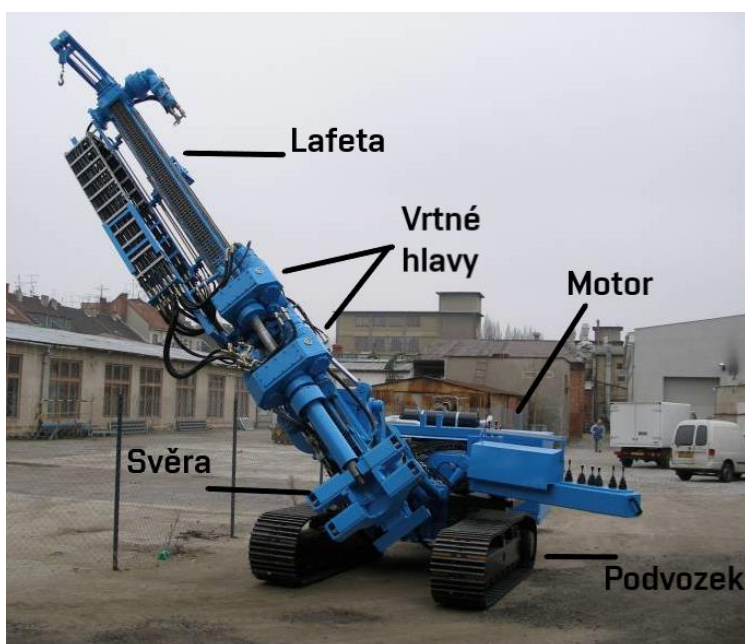
V případě, že je vrtací příslušenství umístěno na nákladním automobilu, tak je podvozek kolový a souprava se může pohybovat i po silnicích a sama přejíždět z jednoho pracoviště na druhé [7].

Podvozek pásový bývá u strojů, které se pohybují v náročném terénu a potřebují velkou tuhost. Takový podvozek je často vybaven otočí pro jednodušší a rychlejší práci. Například vrtné příslušenství na rypadle s pásovým podvozek i s otočí bývá často používáno na stavbách, jelikož je zde terén náročnější, není potřeba stroj příliš daleko přemísťovat a při práci se často uhýbá z osy vrtu [23] [7]. Nevýhodou pásového podvozku je, že s ním nelze jezdit po silnicích, a tak jsou stroje dopravovány na podvalníku.

Na obr. 12 a obr. 13 jsou na dvou odlišných soupravách vyznačeny výše popsané komponenty.



Obr. 12 Popis částí vrtné soupravy od firmy Liebherr, upraveno dle [30]



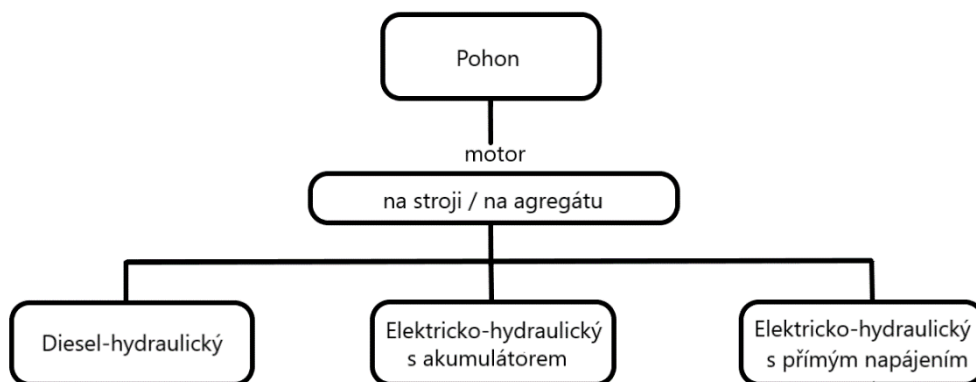
Obr. 13 Popis částí vrtné soupravy od firmy JaNo s.r.o., upraveno dle [31]

5 Pohonné systémy

5.1 Rozdělení používaných pohonných systémů

U novodobých vrtných souprav používaných pro stavební práce lze tedy rozdělit jejich pohonné systémy podle energie, kterou využívají, a dále podle místa uložení motoru (Obr. 14) [23].

Motor, ať už vznětový nebo elektrický, bývá nejčastěji namontován přímo na konstrukci stroje. V méně častém případě je motor umístěn na agregátu a energie je přenášena na stroj odtud.



Obr. 14 Rozdělení pohonných systémů – zdroj vlastní

5.2 Spalovací motory

Většina stavebních strojů od počátku jejich existence až do teď využívá vznětové motory, protože jejich robustnost a vysoký kroutící moment jsou vhodné pro pohánění těžké techniky a u vrtných souprav tomu není jinak. Vzhledem k náročnosti operací, hmotnosti a velikosti stroje je vznětový motor, který zvládne vyrobit velké množství energie, jasnou volbou.

Obrovskou výhodou vznětových motorů oproti zážehovým je levnější provoz, jelikož spotřebují až o 20 % méně paliva. Další výhodou je v emisích, kdy novodobý vznětový motor vypouští o 15 % méně oxidu uhličitého a tím více šetří životní prostředí [32]. Oxidy uhlíku jsou u novodobých motorů sníženy účinnou technologií jako jsou DPF filtry, katalyzátory na oxidaci dusíku nebo recirkulace výfukových plynů. Nafta je navíc bezpečnější než benzín a není výbušná, proto ji lze bezpečně používat i v horších podmínkách [32]. Je tedy jasné, že jsou vznětové motory mnohem výhodnější a drtivě převažují. Jejich ekologické vlastnosti jsou lepší, ale nejsou ideální.

5.2.1 Novodobý vznětový motor

V roce 2019 vstoupila v platnost evropská norma STAGE V ve snaze dalšího snižování množství pevných částic a obsahu dusíku NOx. Jedná se o nejpřísnější normu na světě a vztahuje se na motory stavebních strojů všech výkonů. U této normy je poprvé stanoveno limitní množství pevných částic v takovém rozsahu. Filtry pevných částic se tak staly nutností platnou pro všechny naftové motorů [33].

Světoví výrobci vznětových motorů pro stavební stroje se nové normě přizpůsobili a nyní dodávají na světový trh doposud nejvíce ekologicky šetrné motory.

Řadí se mezi ně například americká společnost Cummins Inc., která je tu už od roku 1919 [34]. Nová řada, která plní závazky normy, má zjednodušenou stavbu bez EGR ventilu– recirkulace výfukových plynů, ale zato novou technologii dočišťování zplodin zvanou Single Modul. Tato technologie obsahuje kombinaci v podobě filtru pevných částic–DPF, selektivní katalickou redukci–SCR a vstřikování močoviny–AdBlue [35]. Jako bonus se snížila velikost motoru až o 50 % a hmotnost o 30 % [36]. Kromě naftových variant má Cummins Inc. i alternativní elektrický pohon. Motory této společnosti používají ve svých vrtných soupravách firmy Soilmec a Casagrande [25].

Například vrtná souprava SR-95 společnosti Soilmec S.p.A. je vybavena motorem Cummins X15 (Obr. 15) o výkonu 451 kW a točivém momentu 2779 Nm [37]. Tento šestiválcový motor je konstruován pro nejnáročnější aplikace stavebních strojů. Obsahuje optimalizace v podobě turbodmychadla, vysoce výkonného chladiče, který lépe pracuje se vzduchem a také zvyšuje účinnost celého systému a motorovou brzdu s asistovaným bržděním [38].



Obr. 15 Motor Cummins X15 [38]

Další významnou společností je Caterpillar Inc., jejíž sídlo je v Texasu. CAT také vyvinul celou řadu průmyslových motorů, které splňují normu při zachování vysokého výkonu. Zde také došlo k navýšení výkonu i točivého momentu a snížení hmotnosti. Důležitou roli má zde opět DPF a kromě toho i oxidační katalyzátor nafty–DOC. U starších typů vyráběných

za normy Stage IV byla technologie přenesena na novou normu bez jakýchkoli změn ovlivňujících výkon [39]. CAT propůjčuje sílu svých motorů soupravám Bauera.

Pro představu: BG 15 H BT 50 je souprava s nejmenším výkonem motoru, a to 186 kW. Naopak největší výkon má BG 72 BT 180, její motor má 709 kW [40].

Společnost Liebherr Group osazuje stroje motory vlastní výroby. Jejich produktové portfolio nabízí motory mezi 4 a 20 válci a s výkonnostním rozsahem od 150 kW do 4500 kW [41]. Společnost ve svých produktech využívá vlastního vstřikovacího systému zvaného Common Rail, jež vytváří vstřikovací tlaky až 220 MPa. Díky nejvyššímu průtoku trysek ve své třídě dochází k efektivnímu spalování a tím i k maximálnímu výkonu [42]. Liebherr D936 je pohon používaný u střední řady vrtných souprav LB 30, který se svými 6 válci v řadovém uspořádání a zdvihovým objemem 10,5 litru dosahuje maximálního výkonu 320 kW při 1900 otáčkách za minutu [41].

Nejslabší stroj z dílny Liebherr má 230 kW a je jím LB 20.1. Silově nejlépe je na tom LB 55, jehož osmi válcový motor má 566 kW [41].

Dalšími významnými společnostmi jsou MAN SE, Perkins Engines Company Limited nebo Volvo Group.

5.2.2 Turbodmychadlo

Dalším důležitým dílem pohonného systému je turbodmychadlo. Konstrukci turbodmychadla lze definovat jako sestavu statorových skříní [43]. V této sestavě je uloženo kolo turbíny a kolo kompresoru, které mají společnou hřídel s ložisky. Kolo turbíny je poháněno výfukovými plyny z motoru a kolo kompresoru vytváří přetlak vzduchu do plnicího potrubí [44]. Turbodmychadlo lze regulovat odpouštěním výfukových plynů ještě před turbínou, tím lze dosáhnout maximální pružnosti a akcelerace schopnosti motoru. Při práci této komponenty se do spalovacího prostoru dostane větší množství vzduchu a tím se spálí více paliva. Výsledkem je pak vyšší výkon a točivý moment, což je při práci stavebních strojů přívětivým faktorem [44] [43].



Obr. 16 Turbodmychadlo Cummins [45]

5.3 Hydraulická část pohonu

Jelikož jde o těžkou techniku, kde je pro každý pohyb potřeba velká síla, obzvláště při vrtání do tvrdé horniny, tak jsou všechny komponenty na stroji ovládány hydraulicky. Soupravy mají většinou několik hydrogenerátorů uložených hlavně sériově za sebou (Obr. 16), ale i paralelně vedle sebe [23]. Součástí hydraulického obvodu je velká olejová nádrž sloužící jako uložení oleje. Nádrž má zpravidla dvakrát větší objem, než je objem celého hydraulického oběhu pro případ, když pracuje více hydrogenerátorů v jeden okamžik [23]. Pro hlavní funkce se používají pístové hydrogenerátory s možností regulace průtoku a tlaku. Tím se pak reguluje výkon. U větších souprav bývají použity minimálně dva pístové hydrogenerátory, kdy jeden zajišťuje rotační pohyb vrtné hlavy a tím pohyb nástroje a druhý se stará o pohyb posuvný. Pro pomocné funkce mohou být použity neregulovatelné zubové hydrogenerátory [23].

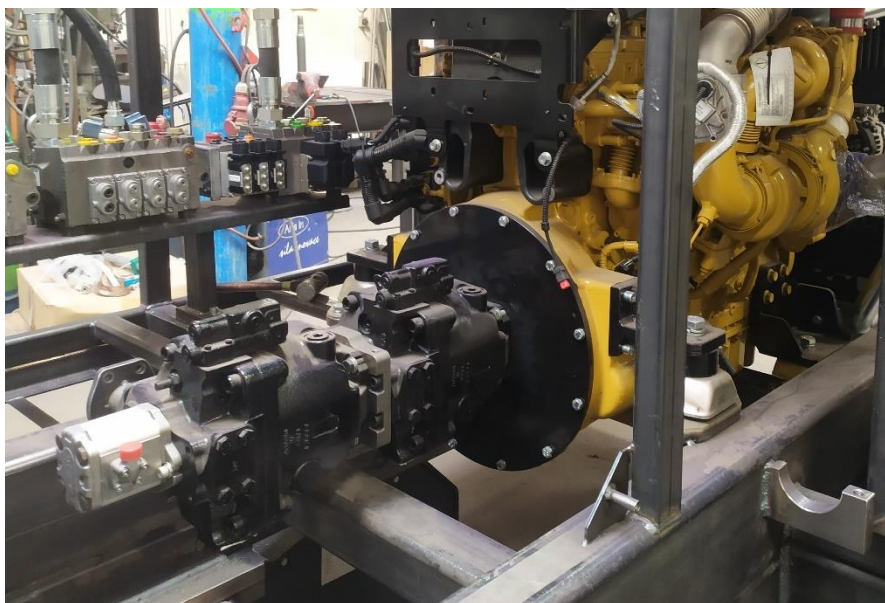
5.3.1 Pístový hydrogenerátor

Jedná se o objemový vratný hydrogenerátor používající píst k pohybu média válcovou komorou. K pohybu tekutin využívá smršťování a roztahování dutiny, a to za pomoci rotačního mechanismu, který vytváří vratný pohyb pístu podél osy. Takto vzniklý tlak ovládá sací i výtlačné ventily [46] [47]. U vrtných souprav bývají použity axiální pístové hydrogenerátory dvojčinné, protože využívají obě strany pístu a zvyšují tak účinnost. Dalšími výhodami těchto komponent je možnost dosáhnout velkých tlaků, regulace tlaku bez ovlivnění průtoku a navyšování nebo snižování výkonu regulací tlaku a průtoku. Naopak nevýhodou je vyšší pořizovací cena a náklady na údržbu [48].

5.3.2 Zubový hydrogenerátor

Zubový hydrogenerátor je rotační objemový hydrogenerátor, který využívá k přenosu kapaliny činnosti ozubených kol [49]. Vyrábí se nejčastěji ve dvou hlavních konstrukcích. První provedení je se dvěma ozubenými koly – externí zubový hydrogenerátor a druhé provedení má jedno ozubené kolo umístěné v druhém – vnitřní zubový hydrogenerátor [50]. Princip obou variant je podobný. Rotační pohyb ozubených kol způsobuje podtlak na vstupní straně a vytlačuje kapalinu za vyššího tlaku na výtlačné straně [50].

Výhodou zubových hydrogenerátorů je plynulý tok bez pulzů jednoduchá konstrukce spojená s nižší pořizovací cenou a nízkou poruchovostí [49] [50]. Naopak nevýhodou je jejich neschopnost regulace průtoku a náchylnost na opotřebení, které vede ke snížení účinnosti [50].

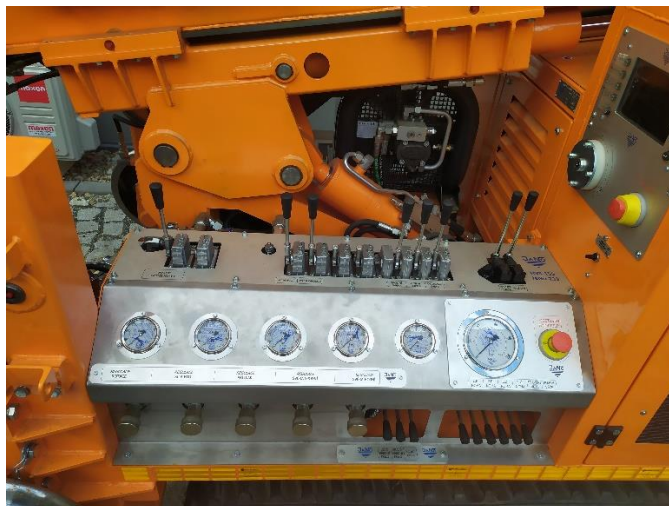


Obr. 17 Dva pístové a jeden zubový hydrogenerátor v sériovém zapojení – zdroj vlastní

5.3.3 Hydraulický rozvaděč

Tato zařízení je v hydraulickém systému soupravy nezbytným prvkem. Jeho úkolem je určovat směr proudění kapaliny a přenášet mechanickou energii z místa jejího vzniku na místo poháněné kapalinou, a tím dojde k ovládní hydraulických prvků (např. hydraulický válec) [51] [52]. Za pomoci rozvaděče (Obr. 17) lze také odlehčit hydrogenerátor, pokud je to potřeba z důvodu technologické přestávky. A kdyby třeba nastala situace náhlého nedostatku průtoku v hydraulickém systému, tak rozvaděč ochrání hydrogenerátor před chodem na sucho a následným vyhořením [52]. Rozvaděče se dělí na šoupátkové a ventilové a vyrábí se jak v ručním, tak elektricky ovládaném provedení [52].

U šoupátkového typu je pracovním prvkem právě šoupátko, které v nálevce nasměruje kapalinu v obvodu určeným směrem. U ventilového rozvaděče se k ovládní průtoku používá kulička. Ta je za pomoci pružin stlačována nebo uvolňována a tím uzavírá nebo naopak otevírá dráhu toku [52].



Obr. 18 Hydraulický rozvaděč k ovládání funkcí soupravy – zdroj vlastní

5.3.4 Hydromotor

Hydraulické motory jsou vhodným prvkem pro stavební stroje, jelikož jsou robustní, odolné vůči extrémním podmínkám okolí a dokážou generovat obrovské množství kroučícího momentu [53]. Úkolem této komponenty je převádění hydraulickou energií na mechanickou, která je potřebná k pohánění stroje [54]. Princip spočívá ve využití stlačené kapaliny z hydrogenerátoru k vytvoření točivého momentu nebo úhlového posunu [54]. Když stlačená kapalina narazí na píst a vačku uvnitř hydromotoru, tak se přenese tento pohyb na rotační prvek motoru, kterým je hřídel, a začne jí otáčet. Pak se kapalina vrátí do nádrže a proces se opakuje [53].

Skvělého využití mají hydromotory u mobilních aplikací v kombinaci s elektromotory, kde není přístup k zapojení do elektrické sítě, jako je tomu právě u stavebních strojů. Pásová rypadla, buldozery a vrtné soupravy je využívají pro svůj pohon [54].

Hydraulických motorů existuje několik druhů. Obecně se rozdělují podle jejich rotační složky [53]:

- Převodové motory
- Lopatkové motory
- Pístové motory

Vrtné soupravy často využívají radiálních pístových hydromotorů, které se vyznačují nízkou rychlostí a největším kroučícím momentem ze všech tří typů. Uspořádání několika pístů je zde řešeno kolmo k ose klikového hřídele. Každého pístu je tlačena kapalina a tím se pohybují směrem ven proti reakčnímu kroužku lineárním pohybem. To pak vede k otáčení válce a vytváření kroučícího momentu, který může dosáhnout hodnoty přes 10 kN [53] [54].

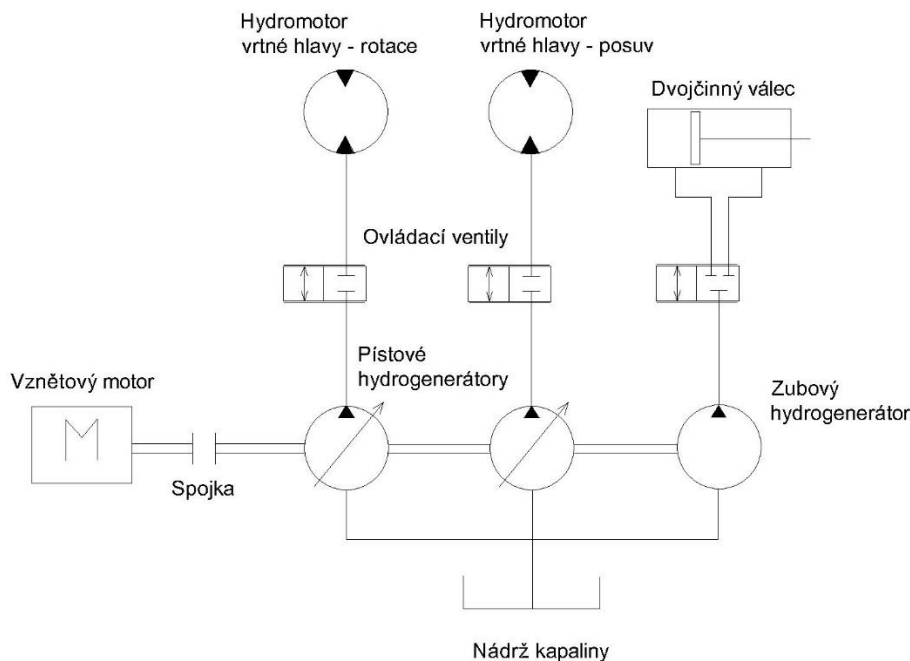
5.4 Diesel-hydraulický systém

Diesel-hydraulický pohonný systém obsahuje vznětový motor, spojku, pístová čerpadla, rozvaděče, hydraulický obvod.

Vrtné soupravy konstruované a využívané za účelem zakládání staveb bývají nejčastěji v podobě rypadla osazeném vrtným zařízením. Pokud je pohonný systém rypadla diesel-hydraulický, tak je základem silný vznětový motor uložený za kabinou stroje. Hned za motorem je převodovka a spojka. Jak je uvedeno na obr. 18, vznětový motor pohání pístové a zubové hydrogenerátory, jež jsou zapojené sériově za sebou.

Výstupní mechanická energie vznikající spalováním nafty roztáčí hřídel, na které jsou hydrogenerátory napojeny. Každý hydrogenerátor má na starosti jinou část stroje [55]. Zde vstupuje do systému hydraulická kapalina, která je hydrogenerátory čerpána z objemné nádrže do obvodu. Další komponentou jsou ovládací ventily, určující tlak a směr průtoku kapaliny tak, aby nakonec došlo ke chtěnému pohybu některé části stroje. Po průchodu ventilem vstupuje hydraulická kapalina a sní i hydraulická energie buď do hydraulického válce, anebo do hydromotoru. V obou možných variantách se z hydraulické energie znovu stává mechanická, jelikož dalším prvkem systému jsou už přímo části konající nějaký úkon.

Zmíněné hydraulické válce zajišťují zvedání a pokládání lafety, pojezd vozíku, stisk a posuv svěry a výsuv „patek“ ke stabilizaci soupravy před vrtáním. Hydromotory jsou součástí vrtných hlav, vrátků, pohybové jednotky a otoče soupravy.



Obr. 19 Zjednodušené schéma Diesel-hydraulického systému – zdroj vlastní

V tabulce 5.1 jsou uvedeny hlavní výhody a nevýhody, které tento systém odlišují a zároveň jej srovnávají s elektrickými protějšky.

Tab. 1 Výhody a nevýhody diesel-hydraulického systému – zdroj vlastní

Výhody	Nevýhody
Nižší pořizovací cena	Tvorba skleníkových plynů
Nepřetržitý provoz	Hlučnost stroje
Možnost použití v nejsilnějších strojích	Větší výkonové ztráty
Možnost pracovat kdekoli	Dražší provoz

5.4.1 SR-75

SR-75 (Obr. 19) je moderní vrtná souprava, kterou výrobce Soilmec S.p.A. poprvé představil v roce 2020. Jedná se o první stroj nové řady Blue Tech Line, což je nová generace souprav zaručující energetickou úsporu, lepší výkon, lepší funkčnost ve všech vrtacích sestavách a větší eliminaci emisí [56] [57].

V tomto novém konceptu je optimalizovaný hydraulický systém, aby zmenšil nepříznivou ztrátu výkonu a tím ušetřil až 10,4 litrů nafty za hodinu. Snížení ztrát vede ke zlepšení vrtacích operací, jelikož rotační hlava tak získává kroučící moment větší o 13 % a síla hlavního vrátku také roste. [56]

Tato vrtná souprava je vybavena vznětovým motorem Volvo D13, který disponuje výkonem 345 kW, přeplňovaným turbodmychadlem a chlazením vzduchem. [58]



Obr. 20 Soilmec SR-75 Blue Tech [59]

5.5 Elektrické motory

Společnosti s těžkou stavební technikou jako je Liebherr Group nebo Bauer Maschinen GmbH se podílejí na vyvíjení moderního světa a stejně jako je tomu v automobilech, i zde začala být snaha vyrábět ekologicky šetrné pohony. Společnost Liebherr Group představila v roce 2019 první vrtnou soupravu na světě, která splňuje koncept elektrohydraulického pohonu s baterií jako jediným zdrojem energie, přitom tvrdí, že se elektricky poháněná souprava vyrovná stejnému typu soupravy se vznětovým motorem [60] [61]. Nyní vyrábí tři typy vrtných souprav s tímto pohonem, a to LB 16 unplugged, LB 25 unplugged a LB 30 unplugged [41].

Německá společnost Bauer Maschinen GmbH představila svou první elektrickou vrtnou soupravu v roce 2021. Souprava BAUER eBG 33 byla novou verzí konvenčních strojů BG 33 a BG 33 H (Obr. 20) [62].



Obr. 21 Vrtná souprava BAUER BG 33 H na Tomkově náměstí – zdroj vlastní

Elektrifikace hnacího ústrojí se začíná pro stavební stroje stávat klíčovou technologií s nulovými emisemi. Mnoho dodavatelů motorů, mezi něž patří právě Cummins Inc., Volvo Group, CAT nebo Deutz AG, investují do výzkumu elektrických pohonů, a některé „bateriové“ elektrické stroje jsou již uvedeny na trh [63].

Menší kompaktní stroje s relativně nízkými požadavky na pracovní cyklus jsou výchozím bodem pro většinu výrobců motorů. Pod nízkými požadavky si lze představit splnění denních požadavků z hlediska energie a výkonu s praktickou velikostí li-ionového akumulátoru, elektromotoru a praktického způsobu nabíjení stroje [63].

Společnost Volvo Construction equipment uznává potenciál elektrifikace v tomto segmentu a přesouvá celou svou řadu kompaktních kolových nakladačů a kompaktních rypadel na elektrické pohonné jednotky. Tímto se snaží zastavit vývoj nových dieselových modelů. Ostatní výrobci budou pravděpodobně tento koncept následovat [63].

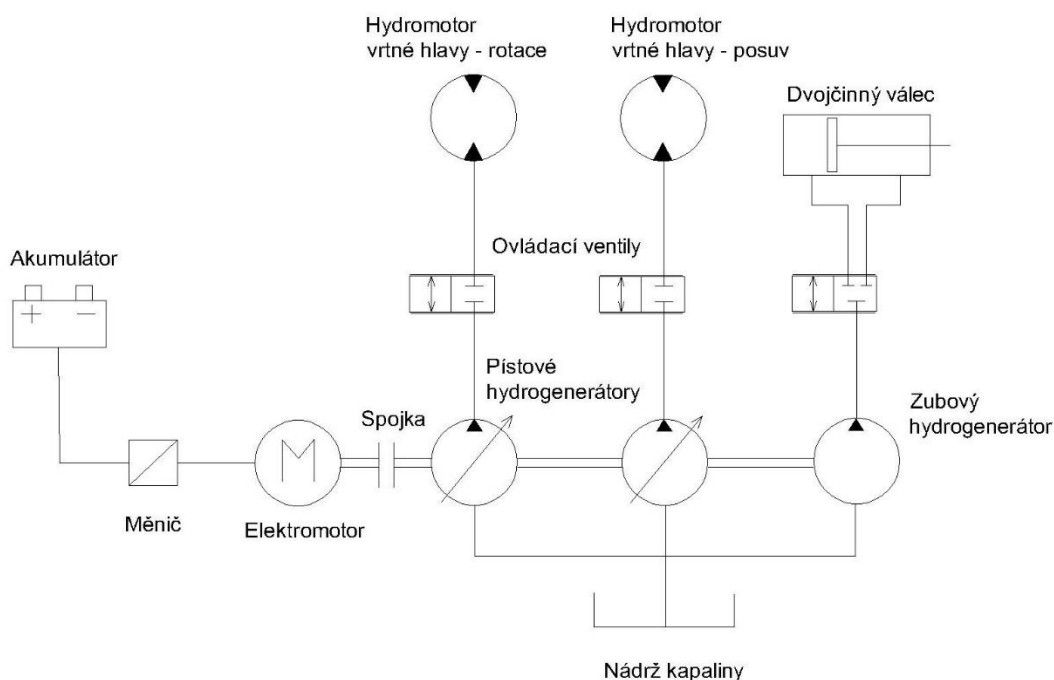
Ze všech stavebních strojů jsou právě rypadla nad deset tun, do kterých se řadí i rypadla osazená vrtnou technikou, zodpovědná za zhruba 46 % celkových emisí, a proto je důležité vyvinout elektrické řešení. Kvůli náročným pracovním cyklům spotřebují stroje nad 20 tun více než 300 kWh energie k pokrytí 8 hodin práce [63].

5.6 Elektricko-hydraulický systém s akumulátorem

Jak je vidět na obr. 21, tak u elektricko-hydraulického systému s akumulátorem je vznětový motor nahrazen elektrickým systémem skládajícím se z elektrického motoru, měniče, několika lithium-iontových „baterií“ tvořících celek akumulátoru.

Další komponenty zůstávají stejné, jedná se o pístové a zubové hydrogenerátory, ovládací ventily – rozvaděče, hydraulický obvod a hydromotory.

Akumulátor stroje je nabíjen z elektrické sítě silnoproudem po dobu několika hodin. Nashromážděná elektrická energie vstupuje do frekvenčního měniče – invertoru, který převádí vstupní parametry elektrické energie na parametry, které jdou do elektromotoru. Těmito parametry se rozumí časový průběh a hodnota napětí, proudu a frekvence [64]. Elektromotor pak mění přizpůsobenou elektrickou energii na energii mechanickou a přes hřídel s pero drážkami ji předává hydrogenerátorům, jejichž počet se odvíjí od výbavy stroje. Další prvky v systému jsou obdobné jako u diesel-hydraulického systému.



Obr. 22 Zjednodušené schéma Elektricko-hydraulického systému s akumulátorem – zdroj vlastní

5.6.1 Akumulátor

Pohon velkých stavebních vozidel vyžaduje velké množství energie, a to značí použití hodně akumulátorů, které jsou velmi drahé. Sarah Golden, specialista na přechod na čistou energii, která v roce 2022 navštívila dánskou stavební výstavu Danfoss, uvedla příklad: „Kolový nakladač, který jsem viděla v závodě Danfoss, stál celkem asi 150 000 USD. Bateriový displej, který byl použit k napájení prototypu, stál dalších 90 000 USD. To je navýšení nákladů o 60 %.“ [65] Tento akumulátor má kapacitu 140 kWh, což je asi dvojnásobek jako u standardního elektromobilu s dlouhým dojezdem. Vozidlo s ním zvládne pracovat pouze 4 hodiny, tedy polovinu požadované pracovní doby [65]. (Sarah Golden, 2022)

V současné době jsou počáteční náklady u elektrických variant mnohem nákladnější než u vznětových protějšků, ale následně nižší náklady na provoz a údržbu časem vyrovnají rozdíl [66]. (Mourad Chergui, 2023)

Casper Olesen [65], systémový inženýr společnosti Danfoss A/S řekl: „Nejde jen o záměnu spalovacího motoru za elektromotor, je to přehodnocování celého stroje. Navyšování energetické účinnosti je nejpřímější cestou k dosažení potřebných parametrů. A toto navyšování je dáno počtem baterií, které se do stroje dají vložit.“

Další účinnou změnou z hlediska navýšení doby provozu by mohlo být výměna konvenčního hydraulického systému za něco účinnějšího. Důležité jsou pístové hydrogenerátory, které regulují výkon a tlak, protože umožňují snížit ztráty při nečinnosti vozidla [65].

Společnost Danfoss uvádí, že lze elektrifikací získat mnoho efektivity. Příkladem může být rypadlo, které má s vznětovým motorem účinnost 30 %, to znamená, že asi 70 % energie dodané se spotřebuje dříve, než se pohne nástroj rypadla. Z jejich výpočtů vyplývá, že kombinací elektrifikace a účinnosti by bylo ke stejnému pracovnímu úkonu potřeba pouze 25 % energetického vstupu [65].

5.6.2 Nabíjení akumulátorů

Důležitou a zároveň obtížnou problematikou při přechodu na stavební zařízení s elektrickým pohonem je infrastruktura pro nabíjení, která bude potřeba do budoucna rozšířit a vytvořit tak servisní síť [65]. Na stavbách ve městech se pravděpodobně dá najít a připojit ke zdroji vysokého napětí, to ovšem nemusí platit vždy a už vůbec to neplatí pro stavby na venkově. Zde je zapotřebí velká kapacita akumulátoru a stroje se buď vozí nabíjet na jiné místo anebo se na stavbu každý den přiveze akumulární stanice [65]. Nabíjecí stanice se aktuálně vyrábí v nabídce od 120 V/AC až po 480 V/DC třífázové napájení. Nejrychlejší nabití zajišťuje stejnosměrný proud [67].

Nově se v odlehlých nebo nepřístupných místech bude využívat solární nabíjení, protože jej lze rychle a snadno nastavit a poskytuje spolehlivý zdroj energie [66].

Právě způsob dobíjení akumulátorů je rozhodující v tom, jestli se opravdu jedná o čistou, bezemisní cestu. Pokud elektrická energie pochází z uhelné nebo zemní plynové elektrárny, které při svém provozu produkují CO₂, tak už se nejedná o čistou nulu [67]. Podle

studií Agentury pro ochranu životního prostředí elektromobily na akumulátory, byť nabíjené elektřinou z těchto elektráren, vyprodukují asi o polovinu méně emisí než spalovací motor [67]. Podobný poměr lze nejspíš předpokládat i u stavebních strojů.

5.6.3 LB 16 unplugged

Tento stroj byl první akumulátorem poháněnou vrtnou soupravou, kterou společnost Liebherr Group uvedla v roce 2019 na veletrhu Bauma v Mnichově [61]. Jedná se o nejmenší soupravu tohoto výrobce, přesto je její hmotnost více než 59 tun a s výkonem 265 kW bez problému zvládá běžné vrtací operace. Například metodou vrtání Kelly se s nástrojem o průměru 1500 mm dokáže dostat až do 34,5 metrů. Oproti její konvenční verzi neexistují žádná omezení a soupravy jsou si tak výkonem rovné [68]. Holger Streit, [69] výkonný ředitel inženýrství a designu v závodě Liebherr Nenzing v Rakousku tvrdí, že je v některých provozních bodech rotačnímu pohonu dodáváno více energie než u dieselového stroje.

Akumulátor (Obr. 22), který se skládá s dvanácti bateriových sad, každá o výkonu 60 kWh, je umístěn na střeše a v prostorách motoru. Je navržen tak, aby dokázal stroj pracovat 10 hodin bez nabití, a pak je lze jednoduše dobít běžným zdrojem elektrické energie přímo na stavbě [60]. Možnosti napájení jsou tři, a to 32 A, 63 A nebo 125. Při napájení 63 A bude doba nabíjení 12–14 hodin, při 125 A se baterie nabije už za 7 hodin. Všechny tři varianty fungují přes běžné elektrické zásuvky 400 nebo 480 V střídavého proudu [60]. Kapacita akumulátoru LB 16 je 720 kWh, a to se rovná sedmi akumulátory vozů Tesla, které mají dojezd zhruba 2900 km [69]. Stroj je také možné zapojit k elektrické síti i během práce a fungovat tak neomezeně [69].



Obr. 23 Elektrický akumulátor LB 16 unplugged [60]

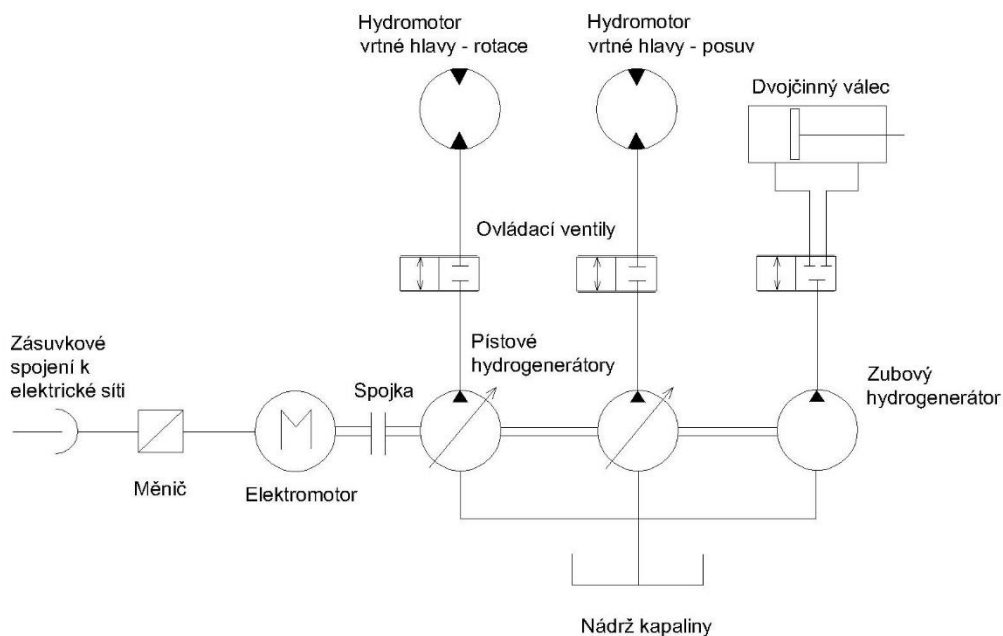
V tabulce 5.2 je shrnutí všech pro a proti, které tento systém obsahuje a zároveň ho srovnává s ostatními druhy pohonů.

Tab. 2 Výhody a nevýhody Elektricko-hydraulického systému s akumulátorem – zdroj vlastní

Výhody	Nevýhody
Nulové emise stroje při práci – šetrnost vůči životnímu prostředí	Použití zatím jen u slabších a středně silných strojů
Levnější provoz	Mnohem dražší pořizovací cena
Tichý provoz	Potřeba zajistit přívod elektrické energie
Méně pohyblivých prvků – větší spolehlivost	Tam kde nelze připojit stroj natrvalo je pracovní provoz omezen výdrží baterie
Srovnatelný výkon s naftovými protějšky	Životnost baterie

5.7 Elektricko-hydraulický systém s přímým napájením

Narozdíl od předchozího systému zde není elektrická energie nabíjena do akumulátoru, ale přímo přiváděna kabelem ze sítě přes frekvenční měnič do asynchronního elektromotoru (Obr. 23). Hydraulický systém a ovládací prvky jsou zde také řešeny zavedeným, konvenčním způsobem.



Obr. 24 Zjednodušené schéma Elektricko-hydraulického systému s přímým napájením – zdroj vlastní

Zhodnocení kladů a záporů (Tab. 3) je také podobné u obou elektrických variant. Zde se k nevýhodám přidává nutnost pracovat s obezřetností na připojený kabel. Tento zápor je kompenzován časově neomezeným provozem stroje.

Tab. 3 Výhody a nevýhody Elektricko-hydraulického systému s přímým napájením – zdroj vlastní

Výhody	Nevýhody
Nulové emise stroje při práci – šetrnost vůči životnímu prostředí	Použití zatím jen u slabších a středně silných strojů
Levnější provoz	Mnohem dražší pořizovací cena
Tichý provoz	Potřeba zajistit přívod elektrické energie
Méně pohyblivých prvků – větší spolehlivost	Potřeba pracovat s ohlazením se na připojený kabel
Srovnatelný výkon s naftovými protějšky	
Neomezený provoz	

5.7.1 eBG 33

V roce 2021 byla na výstavě společnosti Bauer maschinen GmbH představena jejich první elektrická vrtná souprava s názvem eBG 33 (Obr. 24) [70]. Jedná se o stroj střední řady, který se může pyšnit výkonem motoru 405 kW a rozsahem kroutícího momentu 280–390 kNm a dosahuje tak podobných parametrů jako BG 36. To znamená, že zvládne nejen běžné opera, jako je Kelly vrtání, ale i náročné procesy míchání půdy nebo vrtání se dvěma hlavami [71].

Základním hnacím prvkem je třífázový asynchronní motor zajišťující nejen velký výkon, ale i tišší provoz, a to až o 50 % oproti vznětovému motoru. Chlazení je zde řešeno vodou [71] [72].

Stroj e BG 33 je napájený přímo z elektrické sítě napětím o velikosti 690 V. Vedení kabelů je řešeno tlustou hadicí, která má silný ochranný plášť a je namontována na speciálním, hybném rameni určeném právě pro vedení kabelu. Uvnitř této hadice se nachází 7 kabelů. Takto napájená vrtná souprava je vhodná hlavně pro dlouhotrvající stavby ve městech, kde je možnost zajistit trvalé napájení a v delším časovém období se projeví i snížené provozní náklady [71] [73].

Co se týče využití napětí, tak motor stroje potřebuje celých 690 V, pro klimatizace a topení stačí 400 V a ovládání v kabině si vystačí s 24 V, jak je tomu standartně. Nutno zmínit i zásuvku s 230 V, která může být použita v případě potřeby zapojit nějaké přídatné díly [73].



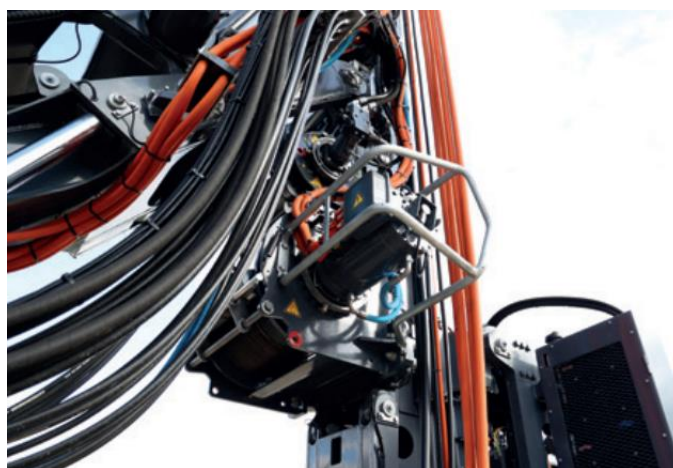
Obr. 25 eBG 33 v provozu na stavbě [74]

5.8 Vývoj nového typu systému

V návaznosti na výše popsanou soupravu eBG 33 vyvinul BAUER maschinen GmbH koncem roku 2022 nový, plně elektrický stroj s označením eBG 33 H all electric [75]. Jde o úplně novou kapitolu v elektrifikaci, protože je to první stavební vrtná souprava, která má elektrické i hlavní komponenty, jako je rotační hlava a hlavní naviják (Obr. 25). Pomocný a podávací naviják jsou stále ovládány hydraulicky [75] [76].

Od svého předchůdce se liší také tím, že není napájena přímo ze sítě, má totiž vlastní elektrický akumulátor. Pro nabíjení postačuje běžná staveništní elektrická přípojka (max. 125 A) a plné nabití prázdného akumulátoru trvá 7 hodin [76].

Nahrazení hydraulických prvků elektrickými zvedá účinnost a efektivitu systému nad všechny ostatní typy. To se pak odráží i v lepší spotřebě a provozních časech stroje [76]. Dalším krokem vpřed je do souprav nově zavedená rekuperace energie, která bude získávána při spouštění hlavního navijáku, tedy v momentě pohybu náradí dolů [76].



Obr. 26 Elektrifikace hlavního navijáku [76]

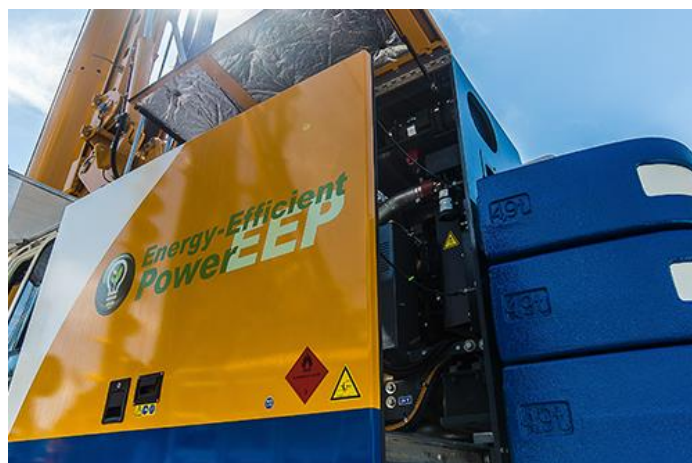
6 Posouzení rozdílů a využití v budoucnu

Pohon vrtných souprav zakládajících stavby je do nynějška realizován třemi způsoby. Každý z nich má při použití své výhodné, ale i nevýhodné stránky. Úkolem všech je vytvářet enormní výkon, který je nedílnou součástí většiny stavebních strojů.

Byť jsme na začátku cesty, konvenční diesel-hydraulický systém bude časem čím dál více nahrazován elektrickými variantami. Tento trend se bude týkat hlavně dlouhotrvajících stavenišť ve městech, kde není problém zajistit připojení k elektrické síti. Zde může stroj pracovat celou směnu neomezeně a navíc nebude znečišťovat ovzduší obydlených oblastí a vytvářet hluk.

Na stavbách situovaných v odlehlých místech nebo v malých vesnicích bude pravděpodobně stále využívána pomoc vznětového motoru s nejnovějšími technologiemi eliminace skleníkových plynů (Obr. 26). Jako možnost se nyní po představení nové eBG 33 H all electric jeví koncept hybridizace s potenciálem v rekuperaci energie při spouštění navijáku. Tato inovace by se pravděpodobně dala využít i v kombinaci s vznětovým motorem, jako je tomu u automobilů. Došlo by tak k menší spotřebě nafty a navýšení účinnosti. Otázkou je, jestli by se přidané prvky vešly do stroje standartní velikosti.

Aktuální snaha velkých společností se stavební technikou zabývat se vývojem revolučních pohonných systémů a dosavadní úspěchy napovídají, že se bude v následujících letech rozšiřovat provedení pohonů. Pravděpodobně dojde k rozsáhlejší elektrifikaci hydrauliky v zájmu snížení ztrát a navýšení účinnosti.



Obr. 27 BAUER Energy-Efficient Power

7 Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo vytvořit přehled používaných pohonných systémů moderních vrtných souprav, které jsou využívány ke stavebním pracím. Součástí analýzy mělo být vysvětlení principu každého systému, vytvoření schématických obrázků a porovnání technických parametrů daných systémů pohonů.

Ukázalo se, že vrtné soupravy, stejně jako většina stavebních strojů, jsou prozatím na počátku cesty k elektrifikaci a hybridizaci. Drtivá většina stále využívá síly vznětových motorů a nafty. Každopádně snaha tento trend změnit je velká a světoví výrobci vrtných souprav jako je Liebherr Group nebo Bauer Maschinen GmbH se aktivně pokouší vyrábět nové, větší stroje s elektrickými motory.

Hlavní rozdělení systémů bylo tedy navrženo podle toho, jaká energie je při provozu spotřebovávána a odkud ji stroj bere:

- Diesel-hydraulický systém
- Elektricko-hydraulický systém s elektrickým akumulátorem
- Elektricko-hydraulický systém s přímým napájením z elektrické sítě

Novodobé vrtné soupravy s prvním ze zmíněných pohonů podléhají emisní normě STAGE V zavedené v roce 2019 a obsahují tak komponenty k co největší eliminaci skleníkových plynů. Jejich pořizovací cena je menší a doba provozu takřka neomezená.

Jejich elektrické protějšky jsou sice dražší, ale samotný provoz pak vychází mnohem levněji. Při práci nevypouští žádné uhlíkové plyny, jsou tiché a z hlediska síly a výkonu se naftové variantě naprosto vyrovnají. Problémem je zde omezená výdrž elektrického akumulátoru, potřeba mít k dispozici připojení k elektrické síti a fakt, že výroba a likvidace akumulátoru jsou často neekologickou metodou (tepelné elektrárny).

Nově se bude zavádět elektrické ovládání hlavních spotřebičů a také možnost rekuperace energie z navijáku.

8 Seznam použitých zdrojů

- [1] CELJAK, Ivo. Zemní vrtací stroje. In: *Komunální technika* [online]. České Budějovice: Profi Press s.r.o., 2013 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://komunalweb.cz/zemni-vrtaci-stroje/>
- [2] Offshore Drilling: Pros and Cons. In: *BOP products* [online]. Houston: BOP team, 2022 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.bop-products.com/blog/drilling/offshore-drilling-pros-and-cons/>
- [3] SKÁLA, Mikuláš. *Plošina zvaná Statfjord B: Takto vypadá ropný div ze Severního moře!* [online]. In: . Praha: RF Hobby, 2015 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://epochaplus.cz/plosina-zvana-statfjord-b-takto-vypada-ropny-div-ze-severniho-more/>
- [4] POJAR. Půdní vrták, nářadí, které v zahradě nevyužijeme pravidelně, ale rozhodně pomůže. In: *České stavby* [online]. České Budějovice: Petr Pojar [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.ceskestavby.cz/clanky/pudni-vrtak-naradi-ktere-v-zahrade-nevyuzijeme-pravidelne-ale-rozhodne-pomuze-30738.html>
- [5] Půdní vrták. In: *Bystroň* [online]. Valašské Meziříčí: Bystroň-integrace s.r.o, 2023 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.bystron.cz/eshop/kategorie/stroje-bystron/pudni-vrtak/60/0/pudni-vrtak/>
- [6] Půdní vrták za traktor ,Zemní vrták CR-12. In: *Malotraktory Silesia, Traktor Cronimo* [online]. Ludgeřovice: Cronimo s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.malotraktorysilesia.cz/prislusenstvi-pro-malotraktory/puda/pudni-vrtak-za-traktor-zemni-vrtak-hphd/>
- [7] Typy vrtaných souprav. In: *Ekodrill Zlín* [online]. Zlín: Ekodrill s.r.o, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.ekodrill.cz/sluzby/vrtane-studny/typy-vrtnych-souprav/>
- [8] Vrtné soupravy. In: *JaNo, s.r.o* [online]. Brno: JaNo s.r.o, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.jano.cz/cz/vrtne-soupravy>
- [9] DRILLING RIG MI45. In: *Massenza drilling rigs* [online]. Parma: MASSENZA FU GIUSEPPE, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.massenzarigs.com/drilling-rig-mi45/>
- [10] KRAUS, Michal. Vrtání studny: Jak se dělá vrtaná studna od A do Z. In: *Zakra* [online]. Plzeň: Zakra s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://zakra.cz/blog/vrtani-studny-jak-se-dela-vrtana-studna-od-a-do-z/>
- [11] PETR, Luboš. Postup vrtané studny. In: *Vrtané studny* [online]. Polná: Luboš Petr, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <http://vrtanistudny.cz/kontakt-vrtane-studny/>

- [1] IVIČIČ, Jiří. (*Lidarik s.r.o, Brno, Czech Republic*) [online]. In: . [cit. 2023-05-18].
2]
- [1] Vrtané studny. In: *TERRAexpert* [online]. Příbram: TERRAexpert s.r.o., 2023 [cit. 2023-
3] 05-18]. Dostupné z: <https://terraexpert.cz/sluzby/vrtane-studny/>
- [1] KLEMPA, Martin, Vojtěch ZEMAN, Petr BUJOK, Jaroslav STRUNA a Ján PINKA. Vrtý
4] pro tepelná čerpadla. In: *Technika a technologie hlubinného vrtání* [online]. Ostrava:
VŠB - Technická univerzita Ostrava Hornicko - geologická fakulta Institut
geologického inženýrství, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z:
<http://geologie.vsb.cz/techldob/hlubinnevrtani/vrtani/vrtyTepelnaCerpada.html>
- [1] A Guide to borehole drilling for ground source heat pumps. In: *Thermal Earth* [online].
5] Wales: Thermal Earth Ltd., 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z:
<https://www.thermalearth.co.uk/blog/borehole-drilling-for-ground-source-heat-pumps>
- [1] VRTÁNÍ STUDNÍ: Vlastní vrtnou soupravou provádíme zemní vrtý pro tepelná čerpadla
6] a vrtané studny. In: *Infraclima* [online]. Brandýs nad Labem: Infraclima, s.r.o., 2023
[cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.infraclima.cz/vrtani-studni/>
- [1] Průzkumné vrtý. In: *Vodní zdroje* [online]. Praha: Vodní zdroje a.s., 2023 [cit. 2023-05-
7] 18]. Dostupné z: <https://www.vodnizdroje.cz/pruzkumne-vrty>
- [1] Vrtý průzkumné. In: *OHGS s.r.o.* [online]. Ústí nad Orlicí: OHGS s.r.o., 2023 [cit. 2023-
8] 05-18]. Dostupné z: <http://www.ohgs.cz/geologie/?o=dokument-14>
- [1] Horninové kotvy. In: *Pilote service* [online]. Brno: Pilot service s.r.o., 2023 [cit. 2023-
9] 05-18]. Dostupné z: <https://www.pilotservice.cz/horninove-kotvy/>
- [2] Pažení: Kotvení a rozepření. In: *Katedra technologie staveb* [online]. Praha: Fakulta
0] stavební, Katedra technologie staveb, 2013 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z:
<http://technologie.fsv.cvut.cz/aitom/podklady/online-zakladani/textjama34.html>
- [2] Velkopřůměrové piloty a pilotové stěny. In: *Pilote service* [online]. Brno: Pilot service
1] s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: <https://www.pilotservice.cz/piloty-pilotove-steny/>
- [2] Vrtání jako metoda zakládání staveb. In: *Liebherr* [online]. Ochsenhausen: Liebherr
2] group, 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z:
<https://www.liebherr.com/int/cs/cze/%C4%8Desk%C3%A1-republika/produkty/stavebn%C3%AD-stroje/p%C5%99ehled-metod-zakl%C3%A1d%C3%A1n%C3%AD-staveb/metod/vrt%C3%A1n%C3%AD/vrt%C3%A1n%C3%AD.html#!/content=technika-vrt-n--kelly>

- [2 MUZIKANT, Miroslav. (*JaNo s.r.o., Brno, Czech Republic*). Conversation with, : Zdeněk
3] Klíč. (Vysoké učení technické Brno, Czech Republic). 2023 Mar 18.
- [2 KLEMPA, Martin, Vojtěch ZEMAN, Petr BUJOK, Jaroslav STRUNA a Ján PINKA.
4] Technika pro provádění vrtných prací. In: *Technika a technologie hlubinného vrtání*
[online]. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava Hornicko - geologická fakulta
Institut geologického inženýrství, 2011 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
<http://geologie.vsb.cz/techldob/hlubinneVrtani/vrtani/technikaPraci.html>
- [2 PITELKA, Vojtěch. Soilmec SR-45: Recenze. In: *Bagry.cz* [online]. Brno: Construction
5] Equipment Grid, s.r.o., 2020 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
https://bagry.cz/cze/clanky/recenze/soilmec_sr_45_recenze
- [2 OPĚLA, Jaroslav. *Vrtací lafeta* [online]. Ostrava, 2016 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
6] <https://core.ac.uk/download/pdf/84394678.pdf>. Bakalářská práce. Technická
univerzita Ostrava Fakulta strojní. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
- [2 Příkladné vrtné zařízení CF3B. In: *Intermarket* [online]. Praha: INTERMARKET s.r.o.,
7] 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: [http://www.intermarket.eu/?id=11-
prodej&cat=1&man=7&prod=283](http://www.intermarket.eu/?id=11-prodej&cat=1&man=7&prod=283)
- [2 Lone Star Drills Upgrades LS400T+ Rotary Head. In: *The Driller* [online]. Troy: The
8] Driller magazine, 2018 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z:
[https://www.thedriller.com/articles/91292-lone-star-drills-upgrades-ls400t-rotary-
head](https://www.thedriller.com/articles/91292-lone-star-drills-upgrades-ls400t-rotary-head)
- [2 Hydraulické svěry. In: *Vrtací technika svoboda* [online]. Liberec: Vrtací technika
9] svoboda s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-18]. Dostupné z: [http://www.vrtaci-
technika.cz/svery.html](http://www.vrtaci-technika.cz/svery.html)
- [3 LB 20.1. In: *Liebherr* [online]. Bulle: Liebherr group, 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné
0] z: [https://www.liebherr.com/en/nzl/products/construction-machines/deep-
foundation/drilling-rigs/lb-series/details/lb201.html](https://www.liebherr.com/en/nzl/products/construction-machines/deep-foundation/drilling-rigs/lb-series/details/lb201.html)
- [3 Vrtná souprava HVS 6XX. In: *All.biz* [online]. Kypr: All-Biz Ltd., 2023 [cit. 2023-05-23].
1] Dostupné z: <https://cz.all.biz/vrtna-souprava-hvs-6xx-g6280>
- [3 BELL, David. Elektrický pohon stavebních strojů nebude lepší než diesel. Ani v
2] ekologii. In: *Bagry.cz* [online]. Brno: Construction Equipment Grid, s.r.o., 2018 [cit.
2023-05-19]. Dostupné z:
[https://bagry.cz/cze/clanky/zaostreno/elektricky_pohon_stavebnich_stroju_nebude
_lepsi_nez_diesel_ani_v_ekologii](https://bagry.cz/cze/clanky/zaostreno/elektricky_pohon_stavebnich_stroju_nebude_lepsi_nez_diesel_ani_v_ekologii)
- [3 VAŠÍKOVÁ, Simona. Pouze v Evropě: Nejprísnejší emisní norma Stage V vstupuje v
3] platnost. In: *Bagry.cz* [online]. Brno: Construction Equipment Grid, s.r.o., 2019 [cit.
2023-05-19]. Dostupné z:

https://bagry.cz/cze/clanky/zaostreno/pouze_v_evrope_nejprisnejsi_emisni_norma_stage_v_vstupuje_v_platnost

- [3] Historie naftových motorů. In: *Cummins* [online]. Columbus: Tiskové centrum
- 4] Cummins, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
<https://www.cummins.com/cz/news/2023/04/04/history-diesel-engines>
- [3] Cummins extends its stage V lineup with new power unit range. In: *Cummins*
- 5] [online]. Darlington: Cummins Inc., 2018 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
<https://www.cummins.com/news/releases/2018/06/26/cummins-extends-its-stage-v-lineup-new-power-unit-range>
- [3] CUMMINS REVEALS NEW INTEGRAL INNOVATIONS TO MEET STAGE V EMISSIONS
- 6] REGULATIONS. In: *Cummins* [online]. Mnichov: Cummins Inc., 2016 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.cummins.com/news/releases/2016/04/11/cummins-reveals-new-integral-innovations-meet-stage-v-emissions>
- [3] SR-95 Blue-Tech. In: *Soilmec* [online]. Itálie: Soilmec S.p.A, 2023 [cit. 2023-05-19].
- 7] Dostupné z: https://www.soilmec.com/en/products/piling_rigs/sr-95
- [3] X15 PRODUCTIVITY SERIES (2021). In: *Cummins* [online]. Columbus: Cummins Inc.,
- 8] 2021 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.cummins.com/engines/x15-productivity-series-2021>
- [3] Caterpillar Stage V Engines: High Performance, Low Operating Costs. In: *CAT* [online].
- 9] Texas: Caterpillar Inc., 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
https://www.cat.com/en_US/by-industry/industrial-power/engines/proven-ready.html
- [4] Overview Drilling Rigs. In: *BAUER maschinen* [online]. Německo: BAUER maschinen
- 0] GmbH, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
<https://www.bauer.de/bma/Produkte/drehbohrgeraete/Uebersicht-Drehbohrgeraete/>
- [4] Drilling rigs: Portfolio. In: *Liebherr* [online]. Bulle: Liebherr group, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/aus/products/construction-machines/deep-foundation/drilling-rigs/drilling-rigs.html>
- [4] Common rail systems. In: *Liebherr* [online]. Bulle: Liebherr group, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/aus/products/components/injection-systems/common-rail-systems/common-rail-systems.html>
- [4] Konstrukce turbodmychadla. In: *Turbocar* [online]. Velká Bíteš: Turbocar s.r.o., 2021
- 3] [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.turbocar.cz/turbodmychadla/>
- [4] Co je to turbodmychadlo?. In: *Profiturbo* [online]. Praha: ProfiRepas, s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://profiturbo.cz/Turbodmychadlo-co-je-to>

- [4 CUMMINS INTRODUCES THE ADVANCED SERIES 150 HOLSET WASTEGATE (WG)
5] TURBOCHARGER. In: *Cummins* [online]. Indiana: Cummins Inc., 2021 [cit. 2023-05-26].
Dostupné z: <https://www.cummins.com/news/2021/03/25/cummins-introduces-advanced-series-150-holset-wastegate-wg-turbocharger>
- [4 GANNON, Mary a Josh COSFORD. Piston pump technology ensures power and
6] efficiency. In: *Mobile Hydraulic Tips* [online]. USA: Mobile Hydraulic Tips, 2022 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.mobilehydraulictips.com/piston-pump-technology-ensures-power-and-efficiency/>
- [4 All About Radial Piston Pumps - What They are and How They work. In: *Thomas*
7] [online]. Severní Amerika: Thomas Publishing Company, 2023 [cit. 2023-05-19].
Dostupné z: <https://www.thomasnet.com/articles/pumps-valves-accessories/all-about-radial-piston-pumps/>
- [4 Piston Pumps and Plunger Pumps Information. In: *GlobalSpec* [online]. NewYork:
8] GlobalSpec, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
https://www.globalspec.com/learnmore/flow_transfer_control/pumps/piston_plunger_pumps
- [4 Useful information on External Gear Pumps. In: *Michael Smith Engineers* [online].
9] Woking: Michael Smith Engineers Ltd, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z:
<https://www.michael-smith-engineers.co.uk/resources/useful-info/external-gear-pumps>
- [5 What are gear pumps?. In: *saVRee* [online]. London: saVRee 3D Interactive media,
0] 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://savree.com/en/encyclopedia/gear-pump>
- [5 Hydraulické rozvaděče. In: *Kardanka* [online]. Dvůr Králové nad Labem: CS Technika
1] s.r.o., 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.kardanka.cz/hydraulicke-dily/hydraulicke-rozvadece/>
- [5 Hydraulický rozvaděč – jak to funguje a jak se používá?. In: *Sojka* [online]. Gorzyce:
2] FHU Viktor Sojka, 2020 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://fhusojka.pl/hydraulicky-rozvadec-jak-to-funguje-a-jak-se-pouziva/?lang=cs>
- [5 Hydraulic Motor Working Principle. In: *GlobalSpec* [online]. NewYork: GlobalSpec,
3] 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z:
<https://www.globalspec.com/pfdetail/motors/hydraulic-motor-working-principle>
- [5 What is a Hydraulic Motor? How it Works. In: *Flowtech* [online]. Skelmersdale:
4] Flowtech, 2022 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z:
<https://www.flowtech.co.uk/news/2022/june/what-is-a-hydraulic-motor-how-it-works/>
- [5 Development story of R18E, an eco-friendly electric excavator without emissions. In:
5] *Hyundai construction equipment* [online]. Ulsan: HD Hyundai Construction Equipment

- Co., Ltd., 2021 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.hyundai-ce.com/zh/media/englishNews/509>
- [5] Soilmec Introduces “Blue Tech” Line of Rigs at Conexpo 2020. In: *The Driller* [online].
- 6] The Driller magazine, 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.thedriller.com/articles/91805-soilmec-introduces-blue-tech-line-of-rigs-at-conexpo-2020>
- [5] DAVIS, Anthony. Soilmec releases Blue Tech line SR-75 piling rig. In: *Highways today*
- 7] [online]. Highways today, 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://highways.today/2020/01/21/soilmec-blue-tech-sr75/>
- [5] SR75-BLUE-TECH. In: *Soilmec* [online]. Cesena: Soilmec S.p.A, 2023 [cit. 2023-05-25].
- 8] Dostupné z: <https://www.soilmec.co.uk/wp-content/uploads/2021/01/SR75-BLUE-TECH.pdf>
- [5] Green running for Soilmec’s Blue Tech SR-75. In: *World Highways* [online]. Dartford:
- 9] Route One Publishing Ltd., 2020 [cit. 2023-05-25]. Dostupné z: <https://www.worldhighways.com/feature/green-running-soilmecs-blue-tech-sr-75>
- [6] PERNSTEINER, Peter. Elektromobilität auf der bauma 2019. In: *Peter Pernsteiner*
- 0] [online]. Zorneding: Peter Pernsteiner, 2019 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://peter-ernsteiner.de/journalismus/20190412-elektromobilitaet-auf-der-bauma-2019/>
- [6] LIEBHERR LB 16 unplugged. In: *Suncar* [online]. Schliener: Suncar HK, 2023 [cit.
- 1] 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.suncar-hk.com/en/references/liebherr-lb-16-unplugged/>
- [6] Bauer unveils electric drilling rig. In: *Trade link media Pte Ltd* [online]. Singapore:
- 2] Southeast Asia Construction, 2021 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://seac.tradelinkmedia.biz/publications/7/news/3062>
- [6] WYATT, David. Electric Construction Machines Vital for Greener Construction. In:
- 3] *IDTechEX* [online]. Boston: IDTechEx Ltd, 2022 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.idtechex.com/en/research-article/electric-construction-machines-vital-for-greener-construction/26187?fbclid=IwAR0z78mFgYYOP-mpRlnH2bujn7y-Z7p2NSTkfmR3GT2JUtLG04s63WynUPw>
- [6] Frekvenční měniče a vše o nich. In: *KDrives* [online]. Olomouc: K-Drives a.s., 2023 [cit.
- 4] 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.elektromotory.cz/frekvencni-menice-proc-a-jak?fbclid=IwAR2JbW1ulzEDa-i37oDsnJ-GzljycThkre47dmvDpED0EqPX30aJb-slrb0>
- [6] GOLDEN, Sarah. What it will take to electrify construction equipment. In: *GreenBiz*
- 5] [online]. Oakland: GreenBiz Group Inc., 2022 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.greenbiz.com/article/what-it-will-take-electrify-construction-equipment>

- [6] CHERGUI, Mourad. Trends in Electric Construction Equipment. In: *DEM off highway* [online]. Canada: Delta-Q Technologies, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.oemoffhighway.com/trends/electrification/article/22671184/deltaq-technologies-trends-in-electric-construction-equipment>
- [6] JACKSON, Tom. Future Fuels Pt. 1: The End of Diesel's Dominance?. In: *Equipment world* [online]. Tuscaloosa: Randall-Reilly, LLC., 2022 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.equipmentworld.com/alternative-power/article/15302787/batterypowered-and-electric-construction-equipment-pros-and-cons>
- [6] LB 16 unplugged. In: *Liebherr* [online]. Bulle: Liebherr group, 2023 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.liebherr.com/en/cze/products/construction-machines/deep-foundation/drilling-rigs/lb-series/details/lb16unplugged.html>
- [6] DOYLE, Marcia. Liebherr's prototype battery-powered LB 16 drilling rig has 10-hour run time. In: *Equipment world* [online]. Tuscaloosa: Randall-Reilly, LLC., 2020 [cit. 2023-05-20]. Dostupné z: <https://www.equipmentworld.com/equipment/video/14971773/lb-16-unplugged-drilling-rig-from-liebherr>
- [7] The electric BAUER eBG 33 – the drill rig of the future. In: *BAUER maschinen* [online]. Německo: BAUER maschinen GmbH, 2021 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://www.bauer.de/bma/company/bauer-newsletter/The-electric-BAUER-eBG-33-the-drill-rig-of-the-future/?lang=en&type=bmanewsletter>
- [7] Bauer's eBG 33 is its first electric drilling rig, may reduce costs enormously. In: *Equipment journal* [online]. Ontario: Pace Publishing Limited, 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.equipmentjournal.com/construction-equipment/bauers-ebg-33-is-its-first-electric-drilling-rig-may-reduce-costs-enormously/?fbclid=IwAR16PZ-BK1eozD__wVTR0FwfXg5M4UfXX4wSdqVLg80s-JepVeUvs_n22Hs
- [7] LEWIS, Michelle. A 'world-first' plug-in electric drilling rig is being piloted. In: *Electrek* [online]. White River Junction: Electrek, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://electrek.co/2023/04/17/world-first-plug-in-electric-drilling-rig/>
- [7] The electric BAUER eBG 33 – the drill rig of the future. In: *BAUER maschinen* [online]. Německo: BAUER maschinen GmbH, 2021 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.bauer.de/bma/company/bauer-newsletter/The-electric-BAUER-eBG-33-the-drill-rig-of-the-future/?lang=en&type=bmanewsletter>
- [7] KAJASTIE, Nia, ed. Cementation Skanska trials electric piling rig on High Speed 2 construction sites. In: *Ground engineering* [online]. Horsham: Ground engineering magazine, 2023 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z:

<https://www.geplus.co.uk/news/cementation-skanska-trials-electric-piling-rig-on-high-speed-2-sites-24-05-2023/>

- [7] New electric and hybrid technologies from Bauer, RTG and Klemm. In: *Trade link media* [online]. Singapore: Southeast Asia Construction, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: <https://www.tradelinkmedia.biz/publications/7/news/4377>
- [7] BAUER eBG 33 H all electric Großdrehbohrgerät. In: *BAUER maschinen* [online]. Německo: BAUER maschinen GmbH, 2023 [cit. 2023-05-26]. Dostupné z: https://www.bauer.de/export/shared/documents/pdf/bma/datenblatter/BG_Rotary_Drilling_Rig/eBG_33_H_all_electric_DE_905_945_1.pdf
- [7] Vrtná souprava HVS 4XX. In: *All.biz* [online]. Kypr: All-Biz Ltd., 2023 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://cz.all.biz/vrtna-souprava-hvs-4xx-g6278>

9 Seznam obrázků

Obr. 1 Vrtná plošina Statflord B. [3]	10
Obr. 2 Motorový ruční vrták [4]	10
Obr. 3 Vrták za traktor [6]	11
Obr. 4 Vrtná souprava jako rypadlo na pásovém podvozku s otočí [10]	12
Obr. 5 Vrtná souprava na pásovém podvozku [9]	12
Obr. 6 Vrtná souprava na kolovém podvozku [11]	12
Obr. 7 Vrtání vrtu pro tepelné čerpadlo [18]	14
Obr. 8 Lafeta s vrátkem na rypadle [29]	17
Obr. 9 Dva vozíky s vrtnými hlavami za sebou – zdroj vlastní	17
Obr. 10 Jednomotorová vrtná hlava [30]	18
Obr. 11 Vrtná souprava s rotačním stolem od firmy JaNo s.r.o. – zdroj vlastní	18
Obr. 12 Popis částí vrtné soupravy od firmy Liebherr, upraveno dle [32]	19
Obr. 13 Popis částí vrtné soupravy od firmy JaNo s.r.o., upraveno dle [33]	20
Obr. 14 Rozdělení pohonných systémů – zdroj vlastní	21
Obr. 15 Motor Cummins X15 [40]	22
Obr. 16 Turbodmychadlo Cummins [45]	23
Obr. 17 Dva pístové a jeden zubový hydrogenerátor v sériovém zapojení – zdroj vlastní ..	25
Obr. 18 Hydraulický rozvaděč k ovládání funkcí soupravy – zdroj vlastní	26
Obr. 19 Zjednodušené schéma Diesel-hydraulického systému – zdroj vlastní	27
Obr. 20 Soilmec SR-75 Blue Tech [60]	28
Obr. 21 Vrtná souprava BAUER BG 33 H na Tomkově náměstí – zdroj vlastní	29
Obr. 22 Zjednodušené schéma Elektricko-hydraulického systému s akumulátorem – zdroj vlastní	30
Obr. 23 Elektrický akumulátor LB 16 unplugged [61]	32
Obr. 24 Zjednodušené schéma Elektricko-hydraulického systému s přímým napájením – zdroj vlastní	33
Obr. 25 eBG 33 v provozu na stavbě [74]	35
Obr. 26 Elektrifikace hlavního navijáku [75]	35
Obr. 27 BAUER Energy-Efficient Power	36

10 Seznam tabulek

Tab. 1 Výhody a nevýhody diesel-hydraulického systému – zdroj vlastní	28
Tab. 2 Výhody a nevýhody Elektricko-hydraulického systému s akumulátorem – zdroj vlastní	33
Tab. 3 Výhody a nevýhody Elektricko-hydraulického systému s přímým napájením – zdroj vlastní	34