JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B4131 Zemědělství

Studijní obor: Zemědělská technika: obchod, servis a služby

Katedra: Zemědělské dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Hodnocení výkonnosti rýpadel rozdílných velikostních kategorií

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Ivo Celjak, CSc.

Autor bakalářské práce: Milan Mach

České Budějovice, 2015

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Fakulta zemědělská
Akademický rok: **2013/2014**

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení:	**Milan MACH**
Osobní číslo:	**Z12193**
Studijní program:	**B4131 Zemědělství**
Studijní obor:	**Zemědělská technika: obchod, servis a služby**
Název tématu:	**Hodnocení výkonnosti rýpadel rozdílných velikostních kategorií**
Zadávající katedra:	**Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Zásady pro vypracování:

Cíl práce:
Cílem práce je provést výběr pracovních operací prováděných rýpadly na vybraných stavbách a stanovit návrhy a zásady pro výpočet skutečné výkonnosti rýpadel v závislosti na těchto pracovních operacích.

Metodický postup:

1. Analýza prováděných těžebních, nakládacích a manipulačních prací rýpadel na stavbě;
2. Analýza technických parametrů rýpadel s vazbou na velikostní kategorii rýpadel;
3. Sběr dat pro stanovení skutečných časů pracovních cyklů v závislosti na prováděných pracích v rozdílných velikostních kategoriích rýpadel;
4. Určení faktorů, které ovlivňují výkonnost rýpadel v závislosti na prováděných pracích při rozdílných velikostních kategoriích rýpadel;
5. Stanovení skutečné výkonnosti rýpadel v závislosti na prováděných pracovních operacích;

Rozsah grafických prací:	**dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy:	**60 stran**
Forma zpracování bakalářské práce:	**tištěná**

Seznam odborné literatury:

Celjak, I.: Strojní zařízení pro realizaci stavebních prací. ZF JU, České Budějovice, 2009, 133 s.;
Jeřábek, K.: Stroje pro zemní práce, silniční stroje. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava, 1996. 464 s.;
Caterpillar performance handbook, Caterpillar Inc., Peoria, Illinois, USA, 2012, Edition 42, 4-263 pages;
Vaněk, A.: Moderní strojní technika a technologie zemních prací. Praha, Academia, 2003. 526 s.;
Tlapák, V.: Stroje pro zemní a meliorační práce. VŠZ, Brno, 1986, 222 s.;
Katalogy firem vyrábějících rýpadla:
Phoenix-Zeppelin ,www.p-z.cz/; KUHN Bohemia a.s. ,www.komatsu.cz;
Liebherr, www.liebherr.com; AGROTEC a. s., www.new-holland.cz;
Volvo Stavební stroje s.r.o, www.volvo.com;
www.tesastop.com;
www.jcb.cz;
www.ppsdetva.sk;
www.bilia.cz;
www.dressta.com.pl;
www.prodeco.cz;
www.stavostroj.cz; www.liebherr.de;
www.volvo-stavstroje.cz;
www.best.prodejce.cz;
www.terramet.cz;
www.bagry.cz.

Vedoucí bakalářské práce:	**Ing. Ivo Celjak, CSc.** Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky
Datum zadání bakalářské práce:	**14. ledna 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce:	**15. dubna 2015**

prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice

doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 12. března 2014

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své bakalářské práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum: 12. 3. 2015 Podpis studenta:

Poděkování

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Ivo Celjakovi, CSc. za jeho odborné rady a veškerou pomoc při zpracování. Dále musím poděkovat panu Michalovi Koryčanovi, který mi poskytl odborné materiály o strojích.

Anotace

Cílem této bakalářské práce s názvem Hodnocení výkonnosti rýpadel rozdílných velikostních kategorií bylo vybrat pět rýpadel s různým zařazením do hmotnostních kategorií. Následně u těchto rýpadel porovnat jejich skutečnou výkonnost. Byla sledována skutečná doba pracovního cyklu, na jejímž základě se stanovila skutečná výkonnost pro každé rýpadlo. Tyto výsledky byly vzájemně porovnány a z nich vytvořen závěr.

Klíčová slova: rýpadlo; výkonnost; hmotnostní kategorie; pracovní cyklus;

Annotation

The aim of my thesis titled Evaluation of performance of different size excavators was to select five excavators ranked in different weight categories and subsequently to compare their actual performance. I monitored the actual length of one cycle on the basis of which the real performance of each excavator was determined. These results were mutually compared and summarized.

Keywords: excavator; performance; weight categories; working cycle;

Obsah

1 Úvod **9**

2 Literární přehled **10**

2.1 Pracovní materiál - horniny 10

2.1.1 Vlastnosti hornin 10

2.1.1.1 Fyzikální vlastnosti hornin 11

2.1.1.2 Mechanické vlastnosti hornin 14

2.1.1.3 Technologické vlastnosti 15

2.2 Lopatová rýpadla 16

2.2.1 Historie rýpadel 16

2.2.2 Základní technické a provozní údaje lopatových rýpadel 17

2.2.3 Rozdělení rýpadel 18

2.2.4 Hlavní části rýpadel 20

2.2.5 Konstrukční části pásových a kolových podvozků 25

2.2.6 Parametry rýpadel 26

2.2.7 Technické a technologické požadavky kladené na rýpadla 27

2.3 Měřená rýpadla 27

3 Cíl práce **31**

4 Metodický postup **32**

5 Výsledky měření **33**

5.1 Rýpadla do 10 tun 34

5.1.1 Cat 301.8 34

5.1.2 JCB 8085 ZTS 35

5.2 Rýpadla v hmotnostní kategorii 10 - 22 tun 36

5.2.1 JCB JS 160 L 36

5.2.2 Komatsu PC 160 LC 37

5.2.3 JCB JS 210 LC 38
5.3 Shrnutí výsledků 40
5.3.1 Průměrné skutečné naměřené časy pracovních cyklů 40
5.3.2 Teoretické a skutečné výkonnosti 41
6 Závěr 42
7 Přehled použité literatury a zdrojů 43
8 Seznam obrázků 44
9 Seznam tabulek 45
10 Seznam příloh 46

1 Úvod

Lidé si již od pradávna díky své vynalézavosti a pohodlnosti snaží veškerou práci usnadnit. Není tomu jinak ani u strojů pro zemní práce. První rýpadla se na našem území vyskytovala již v 19. století při údržbě koryta řeky Vltavy. V dnešní době by bez pomoci strojů a mechanizace pro zemní práce nebyla možná realizace moderních staveb. Čím více se stavba rozléhá do šířky nebo výšky, tím větší sortiment strojů na stavbě nalezneme. Je velmi důležité sledovat nabízené stroje a vědět, kde může být stroj nasazen, nebo jakou přibližnou dobu bude potřebovat na zhotovení pracovního úkolu, tzn. mít přehled o podmínkách, v jakých stroj bude pracovat.

Zemský povrch není tvořen pouze homogenní horninou, ale skládá se z mnoha jejich rozmanitých druhů. Tento fakt hovoří o tom, že rozpojitelnost hornin je rozdílná téměř na každém metru. Rýpadla mají výkonný hydraulický systém, tudíž není problém rozpojovat a odebírat zeminu i s balvany. Rýpadlo je možné vybavit hydraulickým kladivem, které velké balvany rozdělí na menší části. Jelikož povrch naší planety není ideálně rovný, ale tvoří ho kopce, potoky, říčky, bažiny, nebo lesy, tak se rýpadla mnohdy stěží pohybují terénem. U těžené horniny je důležitý obsah vody, protože při změně počasí se obsah mění. Může tedy dojít ke stavu, že jeden den stroj pracoval v plném nasazení, ale druhý den po dešti stroj není schopen práce, neboť dochází k prokluzu, skluzu kol, tudíž jeho pohyb je nemožný nebo nebezpečný pro pracovní obsluhu daného stroje.

Výkonnost zemních strojů je možné dohledat v katalogu daného stroje, avšak tato výkonnost je pouze orientační, v praxi nepotřebná. Na staveništi ji ovlivňuje hned několik faktorů, které je nutné do výpočtu výkonnosti zahrnout, protože značně ovlivní její výpočet. Výsledná výkonost se pak značně liší od katalogové. V extrémních podmínkách nasazení stroje se může lišit až o polovinu. Téměř všechny stroje mají možnost realizovat pracovní úkol za pomoci různých nástrojů, proto je možné provést konečnou úpravu terénu s velkým strojem, záleží pouze na zručnosti operátora.

2 Literární přehled

2.1 Pracovní materiál - horniny

2.1.1 Vlastnosti hornin

Z hlediska zpracovatelnosti se řadí horniny (nerudné) k materiálům nehomogenním a anizotropním. Jejich mechanické vlastnosti jsou do značné míry ovlivněny působením vnějších vlivů, např. vlhkost, eroze apod., což způsobuje značné potíže při výpočtech odporů, kterými reagují na svoji zpracovatelnost. Proto je nutné se seznámit se základními a vzájemnými závislostmi těchto materiálů.

Horniny vznikají v průběhu geologických procesů zvětrávání, transportu a sedimentace z vyvřelých, hlubinných a sedimentárních skalních hornin. Toto zvětrávání může být buď:

- mechanické - nastává v důsledku: atmosférických účinků, vlivem střídání nízkých a vysokých teplot, gravitačními účinky, erozní činností povrchové a prosakující podzemní vody, ledu a větru
- chemické - způsobené slabými chemickými roztoky, které se vyskytují v přírodě (Celjak, 2013)

Třídění hornin

Se soudržností velmi úzce souvisí obtížnost rozpojitelnosti horniny. Rozpojitelnost je rozhodujícím hlediskem pro zařazení hornin do sedmi tříd podle normy. Při praktickém nasazení strojů pro zemní práce je otázka určení charakteristiky příslušné horniny zásadní, zejména z hlediska vzájemného působení pracovního nástroje s horninou.

- 1. třída. Ze soudržných zemin to jsou lehce rozpojitelné, měkké konzistence, jako je ornice, hlína, písčitá hlína nebo písek. Z nesoudržných do této třídy patří kypré zeminy, písek a štěrkopísek s drobnými zrny a stavební odpad.
- 2. třída. Ze soudržných zemin sem patří lehce rozpojitelné tužší konzistence, jako různé druhy ornice a hlíny, písčité hlíny. Ze středně nesoudržných zemin sem řadíme ulehlé zeminy se štěrkovými zrny, jako je písčitý štěrk se zrny do 10 centimetrů.
- 3. třída. Jsou horniny středně rozpojitelné. U soudržných hornin jde o pevné, tvrdé konzistence určitých druhů hlín, spraší, o jílové a písčité hlíny, písčitý jíl, apod.

Z nesoudržných zemin do této třídy zařazujeme ulehlé zeminy, popřípadě obsahující kameny do průměru 2,5 centimetrů, hrubý písčitý štěrk a hrubý štěrk do průměru 10 centimetrů, jakož i jílovito-písčité a skeletové zeminy, zvětraliny.

- 4. třída. Do této třídy patří horniny soudržné, těžko rozpojitelné, pevné a tvrdé konzistence, jako je jíl, jílovité hlíny a prachová hlína. Z nesoudržných hornin je to hrubý štěrk se zrny 10-25 centimetrů, zeminy s jednotlivými balvany do objemu 0,1 m^3 a dále poloskalní středně zpevněné materiály navětralé nebo zvětralé s oslabenou strukturální vazbou, např. navětralé jílovce, slínovce, vulkanické tufy, měkké zvětralé vápence a opuka.
- 5. třída. Do ní jsou začleněny horniny lehko rozpojitelné rozrušovacími nebo trhacími pracemi. Patří sem hrubý štěrk s kameny do objemu 0,1 m^3, střední a hrubý štěrk s jílovitými nebo hlinitými tmely, poloskalní zpevněné materiály, jako písčité a jílovité břidlice, travertin, pískovec s jílovitým tmelem a opuka. Také sem patří skalní a vyvřelé a navětralé materiály jako žula, rula, andezit a pískovec.
- 6. třída. Tu představují horniny těžko rozpojitelné trhacími pracemi, jsou jimi horniny s balvany nad 0,1 m^3, skalní vyvřelé a zčásti zdravé materiály jako např. žula, rula, andezit a čedič. Dále také balvanité slepence a aglomeráty s vápenitým a slínovým tmelem, vápence a dolomit.
- 7. třída. Zahrnuje horniny velmi obtížně rozpojitelné trhacími pracemi. Jde o zdravé skalní masivy, jsou jimi křemence, křemité žuly, ruly, čediče a andezity (Vaněk, 2003).

2.1.1.1 Fyzikální vlastnosti hornin

Tyto vlastnosti charakterizují horninu buď trvale (měrná hmotnost), nebo vyjadřují okamžitý stav, který se může vlivem vnějšího prostředí měnit (vlhkost, objemová hmotnost). Fyzikálními (popisnými) vlastnostmi se rozumí takové vlastnosti, které popisují hmotu materiálu ve vztahu k objemu, vztah mezi fázemi horniny, nebo si všímají důsledků vzájemného působení těchto fází.

Granulometrické složení (zrnitost)

Granulometrické složení (zrnitost) patří k základní vyhodnocovací vlastnosti nesoudržných i soudržných hornin, která zpravidla rozhoduje o zařazení horniny.

Údaje o zrnitosti jsou uvedeny v následující tabulce. V tabulce 1 vidíme, že zrnitost hornin má přímý vliv na jejich zpracovatelnost a jejich další mechanické vlastnosti.

Tabulka 1 - Označení zrn podle ČSN 72 1002

Označení	**Velikost zrn (mm)**
jíl, slín	menší než: 0,002
prach	0,002 - 0,063
jemný písek	0,063 - 0,250
střední písek	0,250 - 1
hrubý písek	1 - 2
drobný štěrk	2 - 8
střední štěrk	8 - 32
hrubý štěrk	1
kameny	128 - 256
balvany	větší než: 256

Pórovitost

Pórovitost horniny je určena poměrem objemu pórů k celkovému objemu vzorku. Z praktického hlediska je pórovitost měřítkem ulehlosti hornin. Čím je hornina více zhutněná, tím je pórovitost menší. Pórovitost má dále vliv na objemovou hmotnost, stabilitu, nasákavost, filtrační schopnosti a mrazuvzdornost hornin. Při těžení hornin dochází k jejich nakypření, čímž se pórovitost zvětšuje. Pórovitost hornin kolísá ve velkém rozsahu a je závislá především na způsobu vzniku horniny, dále na tvaru a velikosti zrn. Sypké horniny usazené v rychle tekoucí vodě mají větší pórovitost než při sedimentaci v pomalu tekoucí, nebo stojaté vodě.

Propustnost

Propustnost závisí ve značné míře na tvaru a velikosti zrn a dále na pórovitosti. Čím obsahuje hornina více kapilárních pórů, tím se propustnost snižuje, a naopak. Písčité horniny jsou velmi propustné, a proto se s výhodou používají jako horní, krycí vrstvy, neboť nezamrzají.

Vzlínavost

Představuje pohyb vody v hornině od hladiny spodní vody směrem k povrchu. Závisí na množství a jemnosti kapilárních pórů - čím jsou póry menší, tím více vzrůstá vzlínavost. Horniny hrubozrnné (například hlinitopísčité) mají malou vzlínavost, naopak horniny jemnozrnné – homogenní mají vzlínavost větší. Pórovitost, propustnost a vzlínavost jsou tedy v úzké vzájemné souvislosti. Z praktického hlediska jsou tyto vlastnosti zajímavé zejména z perspektivy mrazuvzdornosti hornin. Čím více volné vody hornina obsahuje, tím dochází k většímu promrzání a vzniká nebezpečí vážných poruch staveb. Pro budování násypů jsou nejvhodnější nesoudržné horniny, protože jsou propustné a dobře se zhutňují. Namrzající hornina působí vážné problémy při rozpojování.

Měrná hmotnost

Měrná hmotnost, resp. hustota, je poměr hmotnosti pevných částic horniny vysušené při teplotě 100–110 °C do stálé hmotnosti m_s k jejich objemu V_s. Voda, která je pevně vázaná k povrchu zrn a zůstane v hornině i po vysušení, se počítá za součást horniny.

Objemová hmotnost

Objemová hmotnost je hmotnost objemové jednotky horniny, sestávající z pevných částic a pórů, které jsou vyplněné částečně (případně úplně) vodou nebo vzduchem. Pro praktické použití má největší význam objemová hmotnost v přirozeném stavu. Tato hodnota je potřebná při výpočtech výkonnosti zemních strojů a při přepravě horniny. Objemová hmotnost vysušené horniny je měřítkem její ulehlosti, a proto je používána k hodnocení zhutnění hornin.

Vlhkost

Vlhkostí horniny se rozumí množství vody v ní obsažené, které lze z horniny odstranit vysoušením při teplotě 100–110 °C do stálé hmotnosti (viz ČSN 72 1012). Vyjadřuje se jako poměr hmotnosti vody k hmotnosti vysušené horniny. Nejčastěji se vlhkost udává v procentech. Vlhkost má na vlastnosti hornin podstatný vliv, přičemž se u různých hornin projevuje nestejně. Sypké horniny (písky) zvětšují s narůstající vlhkostí svůj objem, ztrácí sypké vlastnosti a hůře se přepravují. Soudržné horniny s přibývající vlhkostí zmenšují svou pevnost, čímž se snižují

odpory při rozpojování, avšak zpravidla se současně zvětšuje jejich lepivost. U jílovitých hornin dochází k rozbředání jejich povrchu, což vede ke zhoršování průjezdnosti strojů. Zejména u kolových podvozků dochází k prokluzu kol při překonávání svahu nebo terénních nerovností. Tvrdé horniny snižují na vrstevnatých plochách svou pevnost v tlaku při zvětšování vlhkosti v důsledku zmenšení tření na plochách.

Konzistence

Jak je důležitá u nesoudržných hornin jejich ulehlost a stupeň nasycení vodou, tak u hlinitých a jílovitých hornin je rozhodující vlastností jejich soudržnost, která je bezprostředně závislá na konzistenci horniny. Konzistence představuje soudržnost mezi jednotlivými částicemi horniny závisející na její vlhkosti.

Rozpustnost

Rozpustnost charakterizuje chování hornin, působí-li na ně proudící voda. Rozpouštění a s tím související odplavování hornin nastává při určité rychlosti proudění vody. Tato rychlost je závislá na druhu horniny. U hlinitých hornin se odplavování začne projevovat při rychlostech větších než je 0,1 $m.s^{-1}$. Rozpustnost a odplavování mají svou důležitost při těžení hornin proudem vody (Celjak 2013).

2.1.1.2 Mechanické vlastnosti hornin

K mechanickým vlastnostem patří vlastnosti, k jejichž zjištění je třeba vyvodit sílu, jejíž účinek na přetvárné charakteristiky materiálů se vyžaduje. Mechanické vlastnosti podstatně ovlivňují průběh rozpojovacího procesu a spotřebu energie (požadavek na výkon motoru stroje).

Kypřitelnost

Při rozpojování hornin dochází vždy ke zvětšování jejich původního objemu. V běžné praxi je zaveden pojem součinitele nakypření k_n, který vyjadřuje poměr objemu rozpojené horniny k původnímu objemu horniny v rostlém stavu. Hodnota součinitele nakypření k_n závisí na druhu horniny a také na způsobu těžby. Jeho průměrná hodnota se pohybuje v rozmezí 1,1 až 1,5. Ve stejném poměru, v jakém zvětší vytěžená hornina svůj objem, sníží se její objemová hmotnost. Z hlediska spotřeby energie může mít zvětšování objemu těžené horniny v případě,

kdy odřezaná tříska nemá možnost volného odsunu k povrchu horniny, za následek zvýšení tření v místě rozpojování, a tedy tomu odpovídající zvýšení spotřeby energie.

Smyková pevnost

Při mechanickém rozpojování horniny, např. působením pracovních nástrojů u strojů pro zemní práce, vzniká v hornině prostorový stav napětí, který se při pronikání pracovního nástroje zvětšuje, až dosáhne mezní hodnoty, odpovídající smykové pevnosti dané horniny. V tom okamžiku dojde k usmýknutí odřezávané třísky. Smyková pevnost je rozdílná u hornin nesoudržných a soudržných. Určení smykové pevnosti písčitých hornin laboratorně je obtížné, protože ze sypkých hornin nelze odebírat neporušené vzorky. Proto se jejich smyková pevnost určuje jednoduše podle úhlu přirozeného sklonu, který u sypkých hornin přibližně odpovídá úhlu vnitřního tření a snáze se zjišťuje.

Tření horniny o ocel

Toto tření má značný vliv na efektivnost rýpání. Závisí na podmínkách, druhu a stavu obou materiálů a na dalších faktorech, zejména na specifickém tlaku, rychlosti vnikání břitu nástroje do horniny apod. (Celjak, 2013).

2.1.1.3 Technologické vlastnosti

Technologické vlastnosti hornin mají vztah především k provádění zemních a podzemních staveb.

Akustická impedance

K určení akustické impedance hornin slouží tzv. metody sonické, které zkoumají šíření zvuku ve zkoušeném materiálu. Podle druhu použitého zvuku se používá buď metody ultrazvukové impulsové, nebo metody rezonanční.

Mrazuvzdornost

Mrazuvzdornost je schopnost horniny nasáknuté vodou odolávat střídavému zmrazování a rozmrazování. U pórovitých a nasákavých hornin se vady způsobené mrazem vyskytují tehdy, když vnitřní napětí vzniklé zvětšením objemu zmrzlé vody naruší strukturu horniny. Rozsah změn závisí na velikosti, tvaru, druhu a rozdělení pórů, na množství nasáknuté vody, na maximální a minimální teplotě, rychlosti zmrazování a počtu zmrazovacích a rozmrazovacích cyklů.

Sklon horniny

Hodnota přirozeného sklonu horniny závisí na druhu horniny, její zrnitosti a vlhkosti. Je podmíněna hodnotami úhlů vnitřního tření a kohezí. Jedná-li se o sypkou horninu, pak se uvažuje tzv. sypný úhel, jehož velikost bude záviset na součiniteli vnitřního tření, na zrnitosti a vlhkosti. Při vytvoření násypu ze sypaniny s dodržením určité bezpečnosti svahu je nutno zvolit sklon menší než je sypný úhel dané horniny. Pokud by se jednalo o stavbu násypu ze soudržných hornin (při současném zhutňování), pak v podmínce rovnováhy elementu horniny je třeba uvážit též soudržnost horniny. Soudržné horniny jsou schopné se udržet na určitou výšku jako svislá stěna. Dojde-li k sesunutí svahu, vytváří se u těchto hornin samovolná kluzná plocha zakřiveného tvaru. Většina teorií i výpočtových metod k řešení stability svahů vychází z předpokladu, že kluzná plocha má v řezu tvar kruhový.

2.2 Lopatová rýpadla

Lopatová rýpadla jsou stroje s vlastním pohonem pro rozpojování a přemísťování výkopku v dosahu pracovního nástroje. Pracují cyklickým způsobem pomocí jednoho pracovního zařízení, aniž by bylo nutno během pracovního cyklu se strojem pojíždět. Pracovní zařízení se otáčí prostřednictvím otočné nástavby v úhlu 360°. Typ rýpadla je charakterizován koncepcí, konstrukcí, parametry motoru (velikostní třídou) a rozměry stroje, resp. pracovních zařízení (Celjak 2013).

2.2.1 Historie rýpadel

Stopy používání primitivních rýpadel zaznamenali historici již ve starověkém Egyptě. První dochované výkresy rýpadel pocházejí ale až z 16. století. Tato rýpadla byla poháněna lidskou silou, většinou plavala po vodě a sloužila pro hloubení koryt řek.

Další pohyb kupředu přineslo století páry - ale již v roce 1796 bylo v Anglii postaveno parní rýpadlo GRIMSHAW - jednalo se o říční rýpadlo. To bylo osazeno na pramici a poháněl ho parní motor o výkonu 3 kW.

Je velmi zajímavé, že v oblasti suchozemských zemních prací se po dlouhou dobu žádný vývoj rýpadel nekonal. Důvodem byla levná pracovní síla a její nadbytek, a tak se investice do vývoje mechanizace jevily jako zbytečné. V Americe byla nutnost rozsáhlých zemních prací (železnice východ-západ), proto zde byla snaha

sestrojit rýpadlo. V roce 1839 stihnul Eilliam Otis patentovat tzv. jeřáb-rýpadlo, načež téhož roku ve svých 26 letech umírá. Jeřáb-rýpadlo bylo postaveno na kolejovém podvozku a umožňovalo veškeré výkopové práce, na které jsme stále zvyklí u lanových rýpadel - zvedání, pojíždění, prohrabávání, otáčení apod. Objem lopaty činil 1,0 až 1,2 m^3. Toto rýpadlo bylo často označováno jako první opravdové rýpadlo na světě. Již ve 40. letech 19. století se Otisova rýpadla (Příloha B) dostala mimo Ameriku (Staves s.r.o, 2015).

2.2.2 Základní technické a provozní údaje lopatových rýpadel

Základní rozdělení rýpadel je uvedeno v tabulce 2.

Tabulka 2 - Základní parametry rýpadel

1	**Třída rýpadla**	**mikro**		**mini**			**malá rýpadla**			
		01	02	03	04	05	06	07	08	09
2	**Jmenovitá provozní hmotnost G (t)**	do 0,6	1,2	2	2,5	3,2	4	5	6,3	8
3	**Doporučený výkon hnacího motoru P (kW)**	5	10	10 až 20	10 až 20	16 až 25	16 až 25	20 až 32	20 až 32	25 až 40
1	**střední**						**těžká**			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	10	16	20	15	32	40	50	63	80	100
3	40 až 50	63 až 80	80 až 100	100 až 125	125 až 160	160 až 200	200 až 250	250 až 320	320 až 400	400 až 500
4	0,4	0,63	0,8	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0

Legenda:

1. Jmenovitá provozní hmotnost rýpadla se základním pracovním zařízením včetně všech provozních hmot.
2. Výkon hnacích motorů při jmenovitých otáčkách ($n.min^{-1}$).
3. Jmenovitý objem pracovní nádoby (lopaty) je objem vnitřního prostoru zvětšený o navršený. Jmenovitý objem má velmi často zkreslené údaje, protože je udáván bez označení.
4. Jmenovité hodnoty hlavních parametrů lopatových rypadel. Z uvedených hlavních parametrů jsou sestaveny číselné hodnoty základních parametrů, viz Tabulka 2.

Řádek 4 udává orientační navršený objem základní lopaty. Rýpadla v dalších třídách 11 až 20 jsou označovány jako velkorýpadla o hmotnostech 125 až 1000 tun. (Vaněk, 2003).

2.2.3 Rozdělení rýpadel

1. Podle typu pracovního zařízení:

- Rýpadlo s hloubkovým pracovním lopatovým zařízením (rýpadlo s hloubkovou lopatou) - je to rýpadlo uzpůsobené pro práce zejména pod opěrnou rovinou (rovina, na níž stroj stojí), aniž by byly vyloučeny práce do určité úrovně nad opěrnou rovinou. Pracovním nástrojem je lopata, která se plní pohybem směrem k rýpadlu a zpravidla i směrem dolů.
- Rýpadlo s nakládacím lopatovým zařízením (s výškovým pracovním lopatovým zařízením) - je to rýpadlo uzpůsobené pro práce zejména nad opěrnou rovinou, avšak nejsou vyloučeny práce do určité úrovně pod opěrnou rovinou. Pracovním nástrojem je lopata, která se plní pohybem směrem od rýpadla nahoru.
- Další druhy rýpadel podle použitého pracovního adaptéru - rýpadlo s drapákem, s vlečným korečkovým zařízením, se srovnávacím zařízením, pro boční rýpání, s jeřábovým zařízením, s magnetem, s vytahovačem, s vrtací soupravou, s pěchovacím zařízením apod.

2. Podle schopnosti přemísťování (pohyblivosti):

- Samojízdné rýpadlo je rýpadlo, které se může přepravovat vlastní motorickou silou na svém pásovém nebo klovém podvozku.

- Přípojné rýpadlo se může přepravovat pomocí tahače.
- Přívěsné rýpadlo je přípojné rýpadlo, u něhož se přenáší jen nepodstatná část jeho hmotnosti na tažné vozidlo.
- Návěsné rýpadlo je přípojné rýpadlo, u něhož se podstatná část jeho hmotnosti přenáší na tažné vozidlo.
- Samohybné rýpadlo je takové, jehož podvozek nemá pohon, ale přemísťuje se pomocí pracovního zařízení, popř. pohonu otočného svršku. Pohybuje se zpravidla pouze v oblasti stavby (Celjak, 2013).

3. Podle konstrukce podvozku:

- Pásové rýpadlo - u pásových podvozků se hmotnost rýpadla rozkládá na relativně velkou plochu, to umožňuje přenášet na podložku značně větší pojezdové síly než je tomu u kolových podvozků. Tím se dociluje nízký měrný tlak na půdu i při relativně velmi vysoké hmotnosti, dále pak stabilita, vysoká průchodnost stroje terénem, schopnost pohybu po neschůdném terénu a velká stoupavost. Tyto vlastnosti umožňují používat stroje v terénech měkkých, hladkých, nerovných nebo svažitých. Hmotnost pásového podvozku činí 30–40% z celkové základní hmotnosti stroje. Životnost pásového podvozku je zhruba poloviční oproti kolovému podvozku.
- Kolové rýpadlo - kolové podvozky rypadel mají ve srovnání s pásovými podvozky tyto přednosti:
  - jejich hmotnost tvoří z celkové hmotnosti rýpadla asi 20%, zatímco u pásového rýpadla 30–40%
  - mají menší počet třecích částí a tím i vyšší životnost
  - při pojezdu mají menší dynamické namáhání, zvláště na tvrdém povrchu, proto mají menší opotřebení součástí
  - větší přepravní rychlost
  - levnější náklady na přepravu, protože nepotřebují podvalník.

Kolové podvozky se většinou používají s menším objemem lopaty, a to do objemu 1,5m^3. Ze světové produkce rypadel tvoří asi jednu třetinu kolová rýpadla.

- Automobilová rýpadla mají ve světovém měřítku velmi malou produkci, protože automobilové podvozky, na něž jsou montovány, jsou příliš drahé. Horní

otočný svršek rýpadla na automobilním podvozku je často shodný s některým typem kolového nebo pásového rýpadla sériové výroby.

- Kolejové rýpadlo - při stavbě nebo úpravě železnice jsou potřebná rýpadla, která umí pojíždět po kolejích. Jedná se o kolová rýpadla vybavená vhodným zařízením pro tyto práce. Mají k rámu podvozku přimontovány ovladatelné kolejové náklonky, které se po příjezdu na trať spustí na koleje tak, aby pojezdová kola byla odlehčena. Tento posuv je na obou nápravách stejný a jde nastavit tak, aby hnací pneumatiky měly dostatečný kontakt s kolejnicemi.
- Samohybné rýpadlo („kráčivé“) - podvozek má na zadní straně na ramenech kloubovitě uloženy dvě pneumatiky a na přední straně dvě podpěry, které jsou ovládané hydraulicky. Hydraulické ovládání ramen s pneumatikami je možné ve svislém směru nahoru nebo častěji dolu pod rovný terén do hloubky. Zdvih nebo spuštění pneumatik je možné provádět najednou nebo samostatným zdvihem. Podpěry lze hydraulicky ovládat jak horizontálně do stran, tak vertikálně buď současně, nebo každou podpěru samostatně (Vaněk, 2003).

4. Podle únosnosti podkladu pracovní roviny:

- Rýpadlo s podvozkem pro málo únosný podklad (LC - long crawler) je rýpadlo, jehož podvozek je přizpůsoben pro provoz na málo únosném terénu, zpravidla při středním měrném tlaku rýpadla na podklad menším než 30 kPa .
- Rýpadlo s podvozkem pro středně únosný podklad (ST - standart), střední měrný tlak v rozsahu 30–120 kPa.
- Rýpadlo s podvozkem pro vysoce únosný podklad (HD - heavy duty), střední měrný tlak je větší než 120 kPa (Celjak, 2013).

2.2.4 Hlavní části rýpadel

- podvozek
- otočný svršek
- pracovní zařízení
- pracovní nástroj
- výložník

Podvozek

Je to spodní část rýpadla, umožňující jeho přemísťování. Při pracovním cyklu rýpadla zůstává zpravidla v klidu. K automobilovým podvozkům jsou pevně uchyceny podpěry výložníku, na které se výložník položí při přepravě a zároveň tvoří ochranný rám kabiny. Při práci se pojezd provádí z kabiny podvozku, kam musí strojník přejít z rýpadla. Jsou i stroje, u nichž je možnost provádět přesun z kabiny rýpadla. Automobilové a kolové podvozky jsou velmi často vybaveny mikropojezdem.

Otočný svršek

Je to horní část konstrukce rýpadla, která je otočně uložena na velkoprůměrovém ložisku. Nachází se na ní hnací soustrojí rýpadla, kabina řidiče, hydraulické mechanismy a mechanismy pro ovládání rýpadla. Otočný svršek je vybaven vlastním hydrogenerátorem. Rychlost otáčení je přibližně 10 otáček za minutu.

Pracovní zařízení

Je to pracovní nástroj, včetně jeho nosných a funkčních částí (výložník, násada, lopata, přímočaré hydromotory, spojovací prvky), které po namontování na otočný svršek slouží k vykonávání pracovních úkonů rýpadla. Výložník se sklápí pomocí jednoho nebo dvou hydraulických přímočarých motorů výložníku. Výložníky lze rozdělit na hydraulicky stavitelné (dělené) a na jednodílné (monobloky).

Pracovní nástroj

Je to nástroj namontovaný na konci pracovního zařízení, kterým se bezprostředně vykonávají pracovní úkony rýpadla. Zpravidla je tímto nástrojem lopata**,** ale mohou to být i jiné pracovní nástroje. Pracovní nástroj může konat dva pohyby:

- naklápění lopaty v rozsahu 140–150° přímočarým hydromotorem,
- otáčení nástroje kolem podélné osy výložníku o 360° v obou směrech. Provádí se v otočné hlavě, kde jsou uloženy dva rotační hydromotory se šnekovým převodem zabírajícím do ozubeného věnce otočné hlavy. Na otočné hlavě je vpředu umístěn rychloupínač pracovních nástrojů.

Rýpadla jsou schopna provádět rozsáhlou škálu prací, proto je zapotřebí široký sortiment pracovních nástrojů:

- různé druhy lopat se zuby, bez zubů, drenážní, profilové, čistící a zarovnávací, dále lopaty na řepu a zemědělské produkty, lopaty na trhání dlažby,
- další druhy jsou: shrnovací radlice, kleště na balvany, drapákové zařízení dvou a vícečelisťové, hydraulické vidle na manipulaci se slámou, chlévskou mrvou, rozrývací nůž, hydraulické bourací kladivo, řezač asfaltu, zhutňovací válce, vibrační deska, prodlužovací ramena výložníku, přípojka pro použití jiných hydraulických poháněných zařízení apod.

Výložník

- Je to nosná část pracovního zařízení s příslušným hydraulickým zařízením. Je připojen zpravidla kloubově k otočnému svršku (jednodílný, vícedílný, teleskopický). Násada je spojovací článek mezi výložníkem a pracovním nástrojem. Násada je kloubově upevněna na výložníku a je ovládána válcem násady. Násady jsou:
  - krátké - 1,6–2m,
  - střední - 2,0–2,8m,
  - středně dlouhé - 2,8–3,2m,
  - dlouhé - 3,2–4,0m,
  - mimořádně dlouhé - nad 4,0 m
  - teleskopické (délka se variabilně prodlužuje).

Druhy výložníků a jejich použití:

- Jednodílné výložníky - jsou zhotoveny z jednoho kusu, svařeného z ocelových lechů. Jejich předností je značná pevnost a možnost velkého zatížení. Proto se používají u strojů, u kterých je vyžadován velký hloubkový nebo výškový dosah, nebo pro speciální pracovní zařízení, jakými jsou drapáky, magnety a vrtné soupravy. Vyrábějí se pro jeden typ stroje ve dvou až čtyřech různých délkách, od 4 do 12 metrů. Jednodílné výložníky jsou výhodnější pro větší rýpadla, protože jsou lehčí a pevnější než výložníky dělené. Mají méně spojovacích částí, lépe přenášejí rypnou sílu od násady na zuby lopaty.
- Dělené výložníky (vícedílné) - jsou obvykle složeny ze dvou dílů. Změnou jejich zalomení nebo změnou délky lze dosáhnout různých dosahů zubů lopaty

a záběrových drah. Z pohledu přestavitelnosti rozdělujeme dva druhy systémů výložníků:

- Mechanicky přestavitelné - jsou používány u rypadel pro svou univerzálnost v uplatnění rozmanitých pracovních zařízení, pro snadnou volbu optimálních parametrů při práci stroje bez výložníku.
- Hydraulicky přestavitelné - u těchto výložníků se přestavení provádí přímočarým hydromotorem.

- Účelové výložníky – používají se pro velké dosahy
  - Dělené - určené pro velké výškové dosahy. Jsou určeny pro bourací práce na různých stavebních konstrukcích. Na konci násady jsou ovladatelně uchyceny různé pracovní nástroje, jako jsou strhávací hák, bourací čelisťové zařízení pro drcení, vylamování nebo stříhání betonových či železobetonových konstrukcí a další.
  - Výložníky pro velké vodorovné dosahy - pro práce, u kterých je zapotřebí velký vodorovný dosah se používají obzvlášť dlouhé jednodílné výložníky a dlouhé násady. Toto zařízení se nachází na rypadlech střední třídy, která jsou vybavena širokými pásy zajišťujícími dobrou stabilitu stroje. Dosahy činí 12 metrů a více.
- Ramenové výložníky - jsou určeny pro velké výškové dosahy. Jejich výložník je složen z několika kloubově spojených ramen, která jsou ovládána samostatně za pomoci hydromotoru. Na konci je ovládaná násada, která je zakončená pracovním nástrojem. Tento výložník se používá k bouracím pracím různých stavebních konstrukcí.
- Výložníky posouvatelné a teleskopické:
  - Hydraulicky posouvatelný - umožňuje plynule měnit délku vyložení z kabiny strojníka.
  - Teleskopický - výložník s násadou pro zvláště velké vodorovné dosahy. Při velkém vyložení záběru lopaty vzniká na rypadle velký klopný moment. Jeho vyrovnání zajišťuje protizávaží, které se vysouvá automaticky úměrně s vyložením.
  - Teleskopické soupravy - určené pro hluboké výkopové dosahy. Na jednodílném výložníku je kloubově uchyceno třídílné teleskopické rameno, směrově ovládané přímočarým hydromotorem. Na konci ramene je uchycen

hydraulicky ovládaný čelisťový drapák, který je do záběru přitlačován teleskopickým ramenem.

- Speciální výložníky stranově lomené - používají se při hloubení rýh podle zdiva nebo při hloubení příkopů podél vozovek, které by bylo obtížné při použití rýpadla s normálními výložníky, protože je třeba příkopy vybírat mimo opěrnou plochu rýpadla. Tento proces umožňují stranově lomené výložníky, které hydromotorem vychýlí horní výložník proti základnímu o úhel 35–50°
- Výložníky příhradové - vyrábějí se v různých délkách, mají mnohoúčelové použití a jejich ovládací lana jsou ovládána navíjecími vrátky s hydraulickým pohonem. Tyto stroje se používají jako dosavadní klasické stroje: vlečný koreček, drapákové zařízení a jeřábové zařízení. Nyní se jejich použití rozšiřuje i pro speciální inženýrské práce, jako je hloubení podzemních stěn, velkoprůměrové vrtání, dynamické zhutňování, bourací práce apod. (Vaněk, 2003).

Rozdělení lopat:

- nakládací - těží na úrovni nebo pod úrovní postavení rýpadla a vytěženou horninu nakládá

- hloubkové - pro těžbu pod úrovní postavení rýpadla

- výškové - pro těžbu nad úrovní postavení rýpadla

- drenážní - těží pod úrovní postavení rýpadla úzkou lopatou

- srovnávací - srovnává terén a přebytečnou zeminu nakládá

- shrnovací - rozprostírá zeminu směrem od sebe nebo k sobě

- na trhání dlažby

- profilové - na čištění příkopů

Podle velikosti lopaty se rozlišují rýpadla:

a) malá - do objemu 0,63 m^3

b) střední - od objemu 0,63–4,0 m^3

c) velká - od 4,0 m^3

Lopata je opatřena zuby, které jsou různě tvarované podle předurčení:

- krátké - pro rýpání v těžkých podmínkách;

- dlouhé - pro všeobecné použití;

- penetrační - pro práci v horninách vyšších tříd rozpojitelnosti;

- ostré - pro práci ve zhutnělém materiálu.

Zuby jsou celistvé nebo uchycené v držácích, které mohou být:

- jednoramenné

- dvouramenné

Příslušenství rýpadla je pomocné zařízení, přístroje a prostředky s rýpadlem pevně spojené, které jsou po technické stránce nezbytné pro funkci rýpadla, popř. jsou předepsány technickou normou (návěstní, osvětlovací zařízení, mazací, chladící a ohřívací zařízení, pohyblivá kabina a ochranná konstrukce FOPS - failling object protective structures - chrání řidiče proti padajícím předmětům).

2.2.5 Konstrukční části pásových a kolových podvozků

Pás podvozku je nekonečný pás skládající se z kloubově spojených článků pásu nebo řetězu, jehož články jsou opatřeny deskami. Pásy mohou být různé šířky. U malých rýpadel 200 mm, velká rýpadla mají pásy široké 500 mm s tlakem na opěrnou plochu 50–70 kPa, 600 mm s tlakem na opěrnou plochu 40–50 kPa a šířkou 700 mm s tlakem na opěrnou rovinu 30–40 kPa.

Pás je hnán hnacím kolem a na odvrácené straně je veden vodícím kolem. Na horní části je podpírán podpěrnými kladkami a na spodní části se pohybuje v nosných kladkách. Kola a kladky jsou připevněny na nosiči pásu podvozku.

Rám podvozku je základní nosná konstrukce podvozku. Rámy jsou vyráběny podle toho, pro jaká rýpadla jsou určena. Rám tvaru „X“ je pro menší rýpadla. Rám typu „H“ je pro rýpadla v těžkém provozu. Součástí podvozku je kolo hnací (pohání pás podvozku) a kolo vodící (napíná se jím pás podvozku).

Náprava (tuhá, výkyvná, hnaná, hnací, řízená) je nosná část kolového podvozku.

Opěry (sklopné, výsuvné) jsou zařízení, kterými se zvyšuje stabilita rýpadla při práci. Pásy tvoří u pásových rýpadel opěry.

Hnací ústrojí rýpadla je celek tvořený hnací jednotkou, spojkou, popř. převodovkou a hydraulickým zařízením (hydrogenerátor, nádrž, rozvaděče, rozvody).

Hnací jednotka - motor rýpadla, zpravidla spalovací, vznětový nebo elektrický se všemi přídavnými zařízeními potřebnými pro jeho chod. V poslední době se prosazují motory hybridní (kombinace vznětového motoru a elektromotoru).

Ovládání strojového spodku rýpadla a pracovních orgánů se provádí ovladači, které musí vyhovovat technickým normám a ergonomickým zásadám. Ovládací systém je soustředěn do nejmenšího počtu ovladačů. Smysl jejich pohybu je shodný se smyslem pohybu stroje nebo jeho pracovního zařízení. Ovladače sloužící k ovládání pracovních pohybů stroje nebo jeho částí se z pracovní polohy do nulové vrací samočinně.

2.2.6 Parametry rýpadel

Provozní hmotnost je hmotnost základní části rýpadla včetně přídavné zátěže a příslušného pracovního zařízení (s prázdnou lopatou), včetně hmotnosti řidiče (75 kg), plné palivové nádrže a náplně provozních hmot ve všech systémech. Jmenovitá provozní hmotnost rýpadla je provozní hmotnost rýpadla se základním pracovním zařízením.

Rypná síla (kN) - F je síla působící na špici zubu pracovního nástroje (na jeho břitu).

Hloubící rypná síla - $F1_h$ je rypná síla hloubkového, výškového pracovního zařízení a zařízení s rozrývacím zubem, vyvozená výhradně činností násady hydromotoru, procházející ve směru kolmém ke spojnici osy otáčení násady a špice zubu, popř. břitu bezzubé lopaty působící ve smyslu pohybu pracovního nástroje.

Vylamovací rypná síla F_2 je rypná síla vyvozená výhradně činností hydromotoru lopaty, procházející ve směru kolmém ke spojnici osy otáčení lopaty a špice zubu, popřípadě břitu bezzubé lopaty působící ve smyslu pohybu pracovního nástroje.

Zvedací síla F_4 (hydraulická nosnost Q_h) je největší akční svislá síla vyvozená výhradně činností HM pracovního zařízení, procházející těžištěm jmenovitého objemu lopaty (V_R), kterou může rýpadlo vynaložit při jmenovitém tlaku hydraulické soustavy.

Výpočtová rypná síla F_r je síla potřebná k rozpojení nebo urýpnutí horniny nebo jiného materiálu, při stanoveném měrném rypném odporu (k), vnitřní šířce pracovní nádoby (W) a průměrné tloušťce třísky nutné k naplnění pracovní nádoby na jmenovitý objem (V_R).

2.2.7 Technické a technologické požadavky kladené na rýpadla

Při těžení zemin je základním pochodem řezání třísky**.**

Tvoření třísky je závislé na vlhkosti a soudržnosti zemin:

a) vlhké - tříska je celistvá a posunuje se po klínu

b) nesoudržné a sypké - tříska se drobí a hrne před klínem

c) suché a pevné - tříska se láme v blocích a sune se po klínu

U lopaty se přihlíží ještě k dalšímu teoretickému rozdělení třísky:

a) blokové řezání - tříska se odděluje z celé masy materiálu (lopata je pod úrovní terénu a zahlubuje se do terénu)

b) polovázané řezání třísky - tříska je již ze dvou stran uvolněna (postupné ubírání horniny z jedné strany)

c) volné řezání třísky - tři strany jsou již uvolněny (nabírání z hromady horniny) (Celjak, 2013)

2.3 Měřená rýpadla

Cat 301.8

Výkon motoru: 13,5 kW

Hmotnost: 1,78 t

Objem lopaty: 0,05 m^3

Maximální hloubkový dosah: 2,3 m

Maximální vodorovný dosah: 3,8 m

Obrázek 1 - Cat 301.8

JCB 8085 ZTS

Výkon motoru: 43 kW

Hmotnost: 8,03 t

Objem lopaty: 0,2 m^3

Maximální hloubkový dosah: 4,3 m

Maximální vodorovný dosah: 6,9 m

Obrázek 2 - JCB 8085ZTS

JCB JS 160 L

Výkon motoru: 92 kW

Hmotnost: 16,5 t

Objem lopaty: 0,5 m^3

Maximální hloubkový dosah: 5,32 m

Maximální vodorovný dosah: 9,59 m

Obrázek 3 - JCB JS 160 L

Komatsu PC 160 LC

Výkon motoru: 90 kW

Hmotnost: 16,6 t

Objem lopaty: 0,8 m^3

Maximální hloubkový dosah: 5,96 m

Maximální vodorovný dosah: 9,23 m

Obrázek 4 - Komatsu PC 160 LC

JCB JS 210 LC

Výkon motoru: 128 kW

Hmotnost: 21,7 t

Objem lopaty: 1,02 m^3

Maximální hloubkový dosah: 5,53 m

Maximální vodorovný dosah: 8,89 m

Obrázek 5 - JCB JS 210 LC

3 Cíl práce

Cílem práce bylo změření pracovních cyklů rýpadel rozdílných velikostních kategorií při rozmanitých pracovních činnostech. Během měření rýpadel bylo nutné zjistit objem jejich pracovní lopaty, stanovit koeficient zaplnění lopaty na základě třídy rozpojitelnosti nabírané horniny a úhel otáčení stroje. Z naměřených hodnot určuji skutečnou výkonnost každého rýpadla v závislosti na prováděné operaci a obě výkonnosti poté mezi sebou vzájemně porovnávám.

4 Metodický postup

Pro výpočet skutečné výkonnosti rýpadel byla data sbírána na strojích, které ovládal zkušený operátor, a pro sběr dat byl volen tento postup:

- nastudování cíle práce a následné obstarání odborné literatury
- nastudování odborné literatury a vypracování odborné rešerše, ve které byla provedena analýza prováděných těžebních, nakládacích a manipulačních prací rýpadel na stavbě a analýza technických parametrů rýpadel s vazbou na velikostní kategorii rýpadel
- výběr lokality, ve které bude proveden sběr dat
- stanovení sledovaných parametrů:
  - objem lopaty
  - typ horniny
  - velikostní třída stroje
  - úhel otáčení
  - čas pracovního cyklu
- provedení vlastního sběru dat bylo vykonáno pomocí stopek s mezičasem, byl sledován jak celkový čas cyklu, tak i mezičasy potřebné pro nabrání, otočení k místu vyložení, vyložení a otočení zpět k místu nabírání. Získané hodnoty byly zapisovány do tabulky, hodnoty byly zprůměrovány, a poté vyhodnoceny.
- stanovení skutečné výkonnosti rýpadel v závislosti na prováděných pracovních operacích
- určení faktorů, které ovlivňují výkonnost rýpadel v závislosti na prováděných pracích při rozdílných velikostních kategoriích rýpadel
- vypracování závěru práce

5 Výsledky měření

Nejprve je nutné si stanovit teoretické časy pracovních cyklů rýpadel, které jsou stěžejní pro výpočet teoretické výkonnosti rýpadla. Tyto časy jsou uvedeny v tabulce 3.

Tabulka 3 - Teoretické časy pracovních cyklů rýpadel v závislosti na objemu lopaty (Maršál, 2004)

V **jmenovitý objem lopaty** **(m^3)**	**T_c** **čas teoretického pracovního cyklu (s)**
0,2	16,0
0,3	16,8
0,5	18,4
1,0	21,2
1,5	23,6
2,0	25,3
2,5	28,3
3,0	31,1
3,5	33,4
4,0	36,0
4,5	39,2

Teoretická výkonnost Q_t ($m^3.h^{-1}$)

Největší teoretické množství nakypřené horniny (materiálu), které lze nabrat rýpadlem za 1 hodinu nepřetržité práce. Tato výkonnost je nezávislá na geometrických a pevnostních vlastnostech rozpojovaného materiálu. (Vaněk, 2003)

Pro výpočet teoretické výkonnosti platí vztah:

$$Q_t = 3600.\frac{V}{Tc} \quad (m^3.h^{-1}) \qquad (1)$$

kde:

V - teoretický objem vytěženého materiálu během jednoho pracovního cyklu (m^3)

T_c - doba teoretického pracovního cyklu (s)

3600 - konstanta pro převedení na $m^3.h^{-1}$

Skutečná výkonnost Q_s ($m^3.h^{-1}$)

Pro výpočet skutečné výkonnosti je nutné znát opravný koeficient zaplnění lopaty k_p, který jsem zvolil na základě pozorování jednotlivých strojů.

Pro výpočet skutečné výkonnosti platí vztah:

$$\boldsymbol{Q_s = 3600.\frac{Vs}{Tcm}.k_p} \ (m^3.h^{-1}) \qquad (2)$$

kde:

Vs - objem skutečně naloženého materiálu v lopatě (m^3)

Tcm - celková doba naměřeného pracovního cyklu podle skutečných podmínek (s), vypočítá se:

$$\boldsymbol{Tcm = t_{d1} + t_{d2} + t_{d3} + t_{d4}} \ (s) \qquad (3)$$

t_{d1} - čas potřebný k naplnění lopaty (s)

t_{d2} - čas potřebný k otočení na místo vysypání (s)

t_{d3} - čas potřebný pro vyprázdnění lopaty (s)

t_{d4} - čas potřebný k otočení na místo náběru (s)

3600 - konstanta pro převedení na $m^3.h^{-1}$

k_p - koeficient plnění lopaty (Celjak, 2013)

5.1 Rýpadla do 10 tun

5.1.1 Cat 301.8

Technické údaje rýpadla:

Výkon motoru: 13,5 kW, provozní hmotnost: 1,78 t, maximální hloubkový dosah: 2,3 m, maximální vodorovný dosah: 3,8m, objem lopaty: 0,05 m^3.

Údaje o prováděné práci:

Rýpadlo prohlubuje koryto potoka, zeminu 2. třídy rozpojitelnosti přemisťuje svým pootočením o 90° do strany, koeficient zaplnění k_p činí 0,99.

Teoretická výkonnost

$Q_t = 3600.\frac{V}{Tc} = 3600.\frac{0,05}{16} =$ **11,25 m^3.h^{-1}**

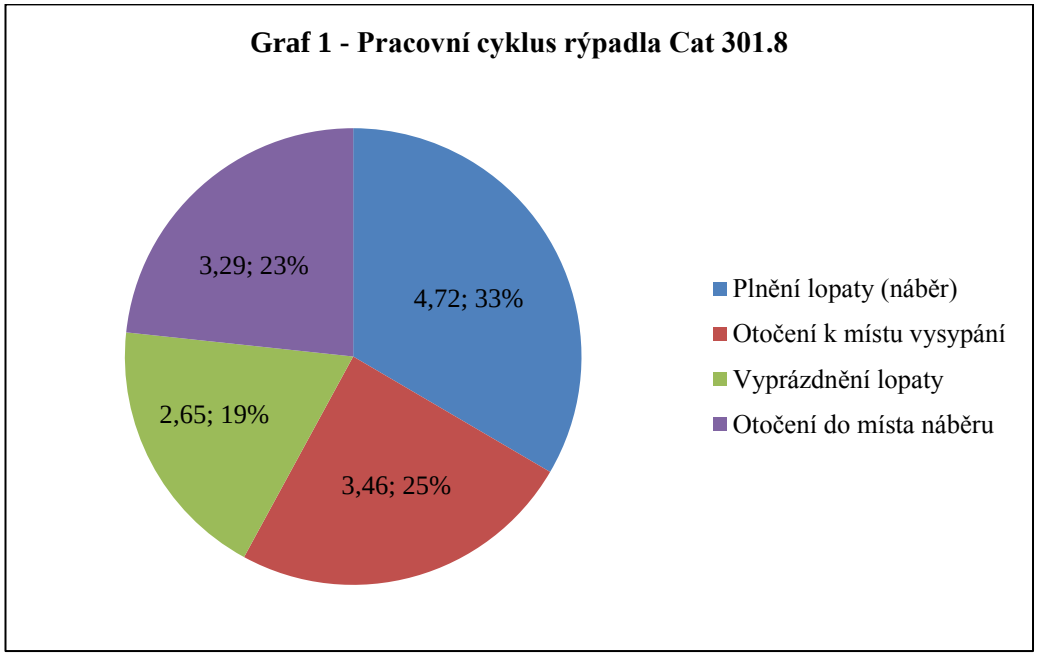
Skutečná naměřená výkonnost

$Q_s = 3600.\frac{Vs}{Tcm}.k_p = 3600.\frac{0,05}{14,12}.0,99 =$ **12,62 m^3.h^{-1}**

Skutečný naměřený čas pracovního cyklu rýpadla CAT 301.8

Tcm = $t_{d1} + t_{d2} + t_{d3} + t_{d4}$ = 4,72 + 3,46 + 2,65 + 3,29 = **14,12 s**

Naměřené časy jednotlivých cyklů byly využity pro sestrojení grafu 1.



Obrázek 6 - Pracovní cyklus rýpadla Cat 301.8

5.1.2 JCB 8085 ZTS

Technické údaje rýpadla

Výkon motoru: 43 kW, provozní hmotnost: 8,03 t, maximální hloubkový dosah: 4,3 m, maximální vodorovný dosah: 6,9m, objem lopaty: 0,2 m^3.

Údaje o prováděné práci

Rýpadlo hloubí stavební šachtu, otáčí se o 90° a horninu ukládá volně vedle šachty. Nabírá horninu 3. třídy rozpojitelnosti, koeficient zaplnění lopaty k_p činí 0,96.

Teoretická výkonnost

$Q_t = 3600.\frac{V}{Tc} = 3600.\frac{0,2}{16} =$ **45 m^3.h^{-1}**

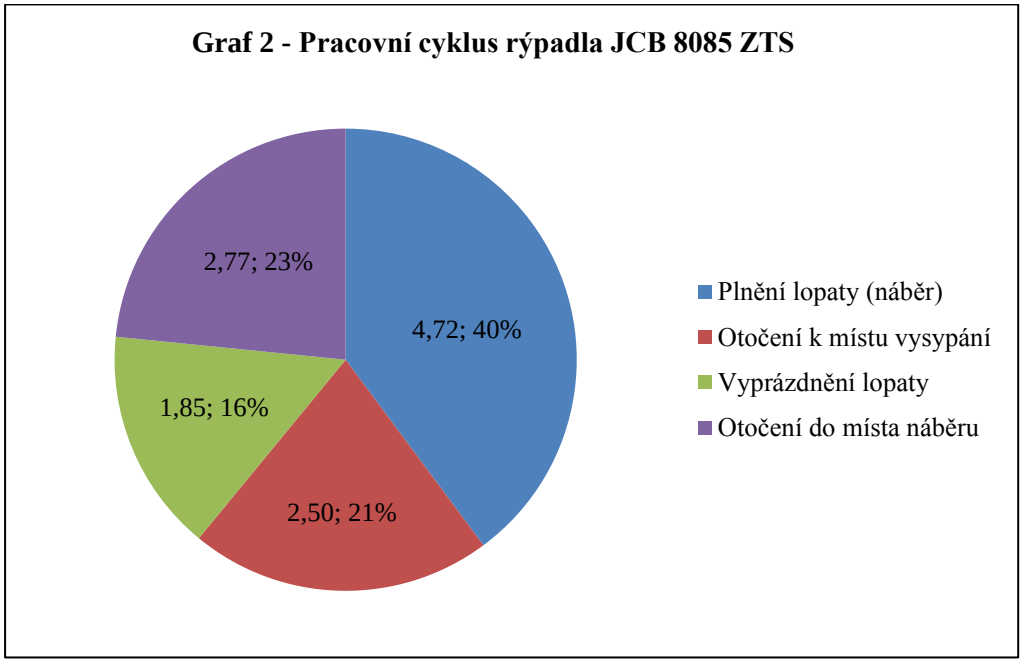
Skutečná naměřená výkonnost

$Q_s = 3600.\frac{Vs}{Tcm}.k_p = 3600.\frac{0,2}{11,85}.0,96 =$ **58,32 m^3.h^{-1}**

Skutečný naměřený čas pracovního cyklu rýpadla JCB 8085 ZTS

Tcm = $t_{d1} + t_{d2} + t_{d3} + t_{d4}$ = 4,72 + 2,50 + 1,85 + 2,77 = **11,84 s**

Naměřené časy jednotlivých cyklů byly využity pro sestrojení grafu 2.



Obrázek 7 - Pracovní cyklus rýpadla JCB 8085 ZTS

5.2 Rýpadla v hmotnostní kategorii 10 - 22 tun

5.2.1 JCB JS 160 L

Technické údaje rýpadla

Výkon motoru: 92 kW, provozní hmotnost: 16,5 t, maximální hloubkový dosah: 5,32 m, maximální vodorovný dosah: 9,59 m, objem lopaty: 0,72 m^3.

Údaje o prováděné práci

Rýpadlo lopatou shrnuje a nabírá ornici 1. třídy rozpojitelnosti, kterou odkládá do strany na deponii. Otáčí se v úhlu 70°, koeficient zaplnění lopaty k_p činí 1,1.

Teoretická výkonnost

$Q_t = 3600.\frac{V}{Tc} = 3600.\frac{0,72}{19,2} =$ **135 m^3.h^{-1}**

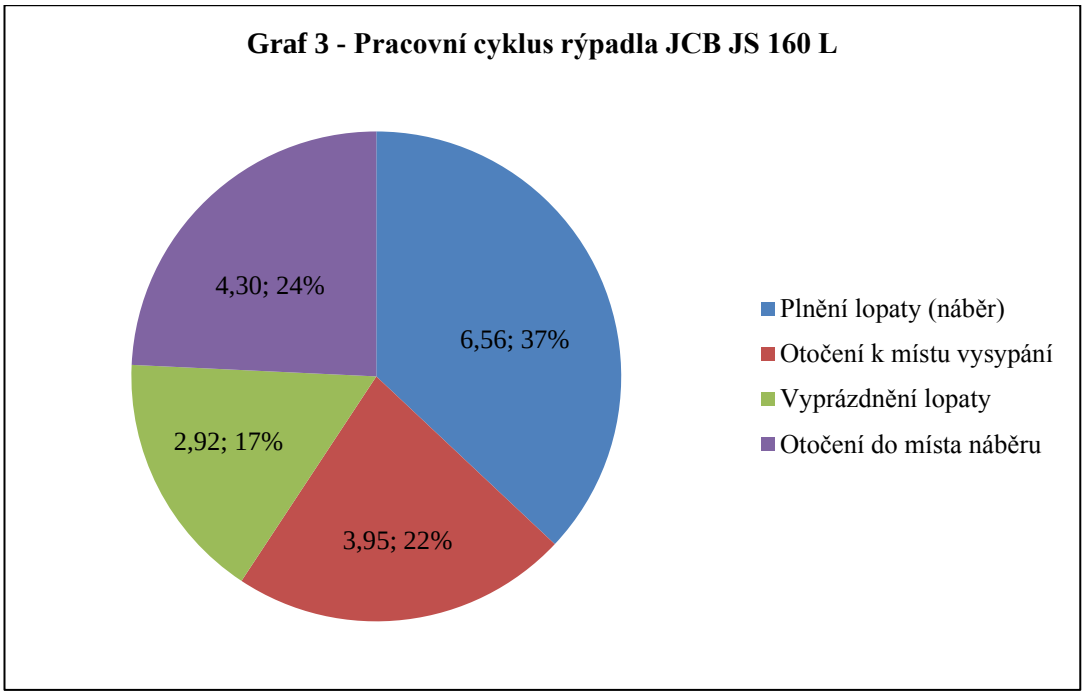
Skutečná naměřená výkonnost

$Q_s = 3600.\frac{Vs}{Tcm}.k_p = 3600.\frac{0,72}{17,73}.1,1 =$ **160,81 m^3.h^{-1}**

Skutečný naměřený čas pracovního cyklu rýpadla JCB JS 160 L

Tcm = $t_{d1} + t_{d2} + t_{d3} + t_{d4}$ = 6,56 + 3,95 + 2,92 + 4,30 = **17,73 s**

Naměřené časy jednotlivých cyklů byly využity pro sestrojení grafu 3.



Obrázek 8 - Pracovní cyklus rýpadla JCB JS 160 L

5.2.2 Komatsu PC 160 LC

Technické údaje rýpadla

Výkon motoru: 90 kW, provozní hmotnost: 16,6 t, maximální hloubkový dosah: 5,96 m, maximální vodorovný dosah: 9,23 m, objem lopaty: 0,95 m^3.

Údaje o prováděné práci

Rýpadlo stojí na deponii a nakládá horninu 2. třídy rozpojitelnosti do korby odvozních automobilů. Stroj se otáčí o 180°, koeficient zaplnění lopaty k_p činí 1,2.

Teoretická výkonnost

$Q_t = 3600.\frac{V}{Tc} = 3600.\frac{0,95}{20,8} =$ **164,42 $m^3.h^{-1}$**

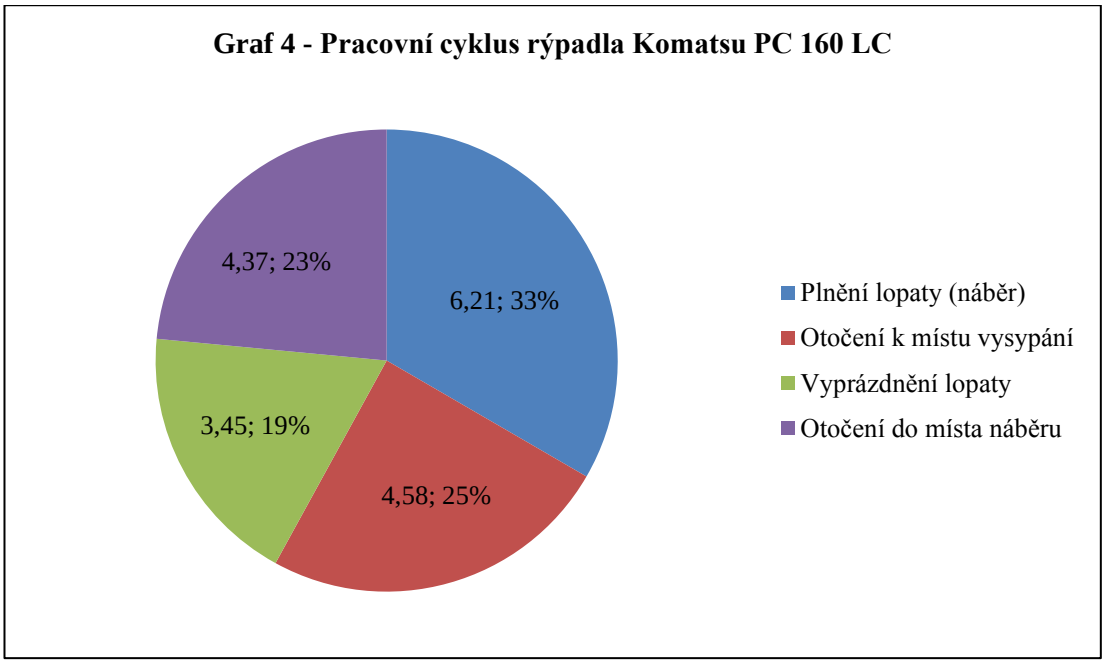
Skutečná naměřená výkonnost

$Q_s = 3600.\frac{Vs}{Tcm}.k_p = 3600.\frac{0,95}{18,61}.1,2 =$ **220,53 $m^3.h^{-1}$**

Skutečný naměřený čas pracovního cyklu rýpadla Komatsu PC 160 LC

$Tcm = t_{d1} + t_{d2} + t_{d3} + t_{d4} = 6,21 + 4,58 + 3,45 + 4,37 =$ **18,61 s**

Naměřené časy jednotlivých cyklů byly využity pro sestrojení grafu 4.



Obrázek 9 - Pracovní cyklus rýpadla Komatsu PC 160 LC

5.2.3 JCB JS 210 LC

Technické údaje rýpadla

Výkon motoru: 128 kW, provozní hmotnost: 21,7 t, maximální hloubkový dosah: 5,53 m, maximální vodorovný dosah: 8,89 m, objem lopaty: 1,02 m^3.

Údaje o prováděné práci

Rýpadlo těží horninu 3. třídy rozpojitelnosti a nakládá ji do koreb odvozních automobilů. Při práci se otáčí o 100°, koeficient zaplnění lopaty k_p činí 0,99.

Teoretická výkonnost

$Q_t = 3600.\frac{V}{Tc} = 3600.\frac{1,02}{21,4} =$ **171,59 $m^3.h^{-1}$**

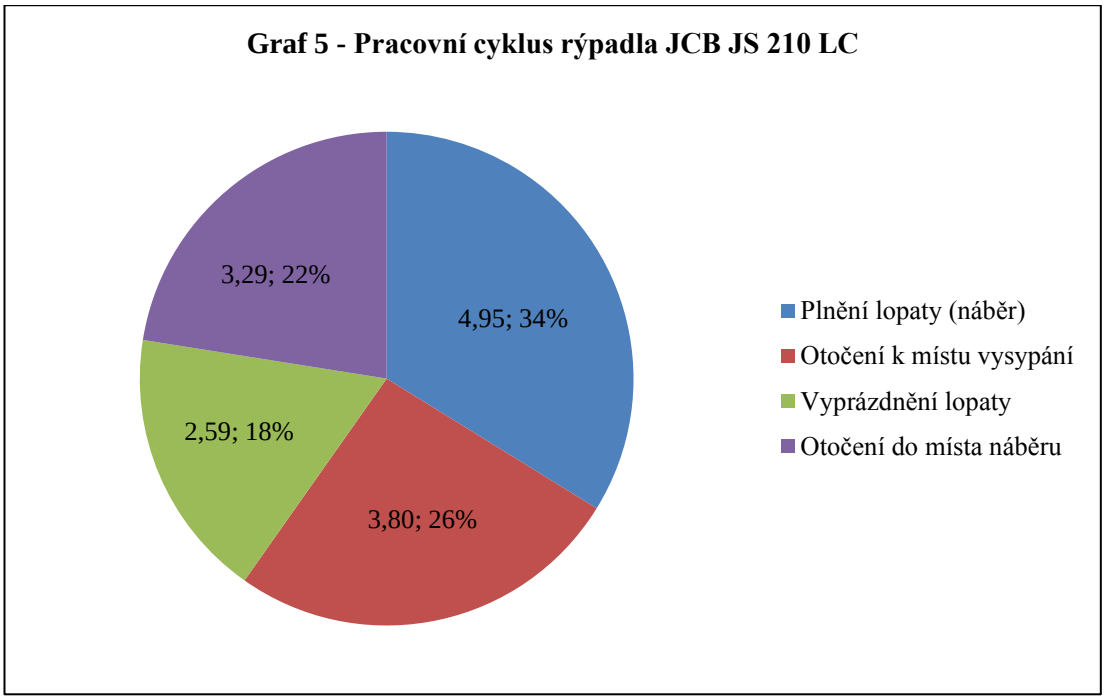
Skutečná naměřená výkonnost

$Q_s = 3600.\frac{Vs}{Tcm}.k_p = 3600.\frac{1,02}{14,63}.0,99 =$ **248,48 $m^3.h^{-1}$**

Skutečný naměřený čas pracovního cyklu rýpadla JCB JS 210 LC

$Tcm = t_{d1} + t_{d2} + t_{d3} + t_{d4} = 4,95 + 3,80 + 2,59 + 3,29 =$ **14,63 s**

Naměřené časy jednotlivých cyklů byly využity pro sestrojení grafu 5.



Obrázek 10 - Pracovní cyklus rýpadla JCB JS 210 LC

5.3 Shrnutí výsledků

5.3.1 Průměrné skutečné naměřené časy pracovních cyklů

Přehled průměrných časů pracovních cyklů u měřených rýpadel rozdělených podle velikostní kategorie s přihlédnutím k prováděným pracím je uveden v tabulkách 4 a 5.

Tabulka 4 - Průměrné skutečné časy pracovních cyklů rýpadel do 10 tun

Výrobce a model	Prováděná práce	Plnění lopaty (náběr)	Otočení k místu vysypání	Vyprázdnění lopaty	Otočení do místa náběru	Celkem
Cat 301.8	Prohlubování koryta potoka	4,72	3,46	2,65	3,29	14,12
JCB 8085 ZTS	Hloubení stavební šachty	4,72	2,5	1,85	2,77	11,84

Tabulka 5 - Průměrné skutečné naměřené časy pracovních cyklů rýpadel od 10 do 22 tun

Výrobce a model	Prováděná práce	Plnění lopaty (náběr)	Otočení k místu vysypání	Vyprázdnění lopaty	Otočení do místa náběru	Celkem
JCB JS 160 L	Shrnování a nabírání ornice s následným odhozem	6,56	3,95	2,92	4,3	17,73
Komatsu PC 160 LC	Nakládání horniny do korby automobilů	6,21	4,58	3,45	4,37	18,61
JCB JS 210 LC	Těžení horniny s následným nakládáním do korby automobilů	4,95	3,8	2,59	3,29	14,63

5.3.2 Teoretické a skutečné výkonnosti

Vypočítané teoretické a skutečné výkonnosti měřených rýpadel jsou uvedeny v tabulce 6.

Tabulka 6 - Teoretické a skutečné výkonnosti měřených rýpadel

Výrobce a model	Objem lopaty V (m^3)	Teoretická výkonnost Q_t ($m^3.h^{-1}$)	Skutečná naměřená výkonnost Q_s ($m^3.h^{-1}$)
Cat 301.8	0,05	11,25	12,62
JCB 8085 ZTS	0,2	45	58,32
JCB JS 160 L	0,72	135	160,81
Komatsu PC 160 LC	0,95	164,42	220,53
JCB JS 210 LC	1,02	171,59	248,48

Z tabulky 6 vyplývá, že časy teoretických pracovních cyklů, které byly použity pro výpočet teoretické výkonnosti, jsou autorem tabulky 3 zvoleny nepřesně a jsou kratší. Je to pravděpodobně dáno snahou autora stanovit průměrné časy pro obecné výpočty výkonnosti rýpadel rozmanitých výrobců, kteří se uplatňují na trhu zemních strojů. Výrobci v běžné technické dokumentaci neuvádějí teoretické časy pracovních cyklů, ale poskytují pouze grafy výkonnosti za hodinu při určitém objemu lopaty. V technické dokumentaci firmy Caterpillar (Caterpillar Performance Handbook, 2012) jsou uvedeny teoretické časy cyklů v závislosti na modelu rýpadel a nikoliv na velikosti lopaty. Na základě znalosti modelu rýpadla lze stanovit vazbu teoretického času na objemu lopaty následovně: 13,8 s/0,8 m^3, 15,0 s/1,0 m^3, 16,2 s/1,4 m^3, 16,8 s/2,3 m^3, 21,0 s/3,8 m^3. Pokud se hodnoty z firmy Caterpillar porovnají s hodnotami v tabulce 6, vycházejí rozdíly následovně: v tabulce 6 je teoretický čas pracovního cyklu pro lopatu o objemu 1 m^3 21,2 s, v dokumentaci firmy Caterpillar je 15 s, což je rozdíl o 6,2 s. Pro lopatu o objemu 3,5 m^3 je rozdíl 12,4 s. Jestliže se porovnají hodnoty naměřené v mé práci u rýpadla JCB JS 210 LC, kdy byl stanoven průměrný čas pracovního cyklu 14,63 s, je rozdíl pouhých 0,37 s. Z této skutečnosti je patrné, že ne vždy jsou hodnoty uváděné v současné literatuře směrodatné pro výpočty výkonností rýpadel, proto je žádoucí realizovat další doplňková měření, obdobná jako jsou v této práci.

6 Závěr

V této bakalářské práci jsem se zaměřil na porovnání rýpadel různých hmotnostních kategorií a stanovením jejich skutečné výkonnosti. Pro vlastní měření bylo vybráno pět rýpadel, u kterých byla výkonnost sledována.

Jak je z výsledků vlastního měření patrné, teoretická výkonnost je pouze orientační údaj, podle kterého se v praxi nemůžeme řídit. V mém případě jsem měřením a výpočtem teoretické a skutečné výkonnosti (přehled uveden v tabulce 6) zjistil, že se rozdíl teoretické a skutečné výkonnosti pohybuje v rozmezí 12 až 29% v hmotnostní kategorii do 10 tun. V kategorii od 10 do 22 tun je rozdíl znatelnější a pohybuje se v rozmezí od 19 do 45 %. Tyto rozdíly mohou být zapříčiněny zkušenostmi operátora, prováděnou prací, těženou horninou, úhlem otáčení a v neposlední řadě také tím, že výložník s násadou nedosahují mezních úvratí.

Porovnáním hmotnostní kategorie rýpadel do 10 tun s hmotnostní kategorií od 10 do 22 tun zjistíme, že kategorie do 10 tun má v průměru kratší pracovní cyklus o 3 sekundy. Mohlo by se zdát, že rýpadla z nižší hmotnostní kategorie budou mít díky kratším pracovním cyklům vyšší skutečnou výkonnost, ale to se neprokázalo. Tento fakt je způsoben tím, že stroje z vyšší hmotnostní kategorie mohou být osazovány lopatami o větších objemech. Výjimku tvoří rýpadla JCB JS 210 LC a Cat 301.8, která mají téměř shodný čas cyklu, i když jsou z rozdílné hmotnostní kategorie. Průměrné časy pracovních cyklů těchto dvou rýpadel se výrazněji liší od průměrných časů pracovních cyklů v jejich kategorii. To bylo u rýpadla Cat 301.8 zapříčiněno charakterem prováděné činnosti, kdy při prohlubování koryta potoka musel nabírat z pod úrovně rýpadla. Pro pracovní činnost, kterou provádělo rýpadlo JCB JS 210 LC panovaly téměř ideální podmínky, což mělo pozitivní vliv na celkový čas pracovního cyklu, který se tak zkrátil.

Při navrhování vhodnosti rýpadla pro rozmanité pracovní technologie se nelze orientovat pouze podle času teoretického pracovního cyklu, jehož rozdíly činí pouze 6,77 sekund, ale hlavně podle skutečné výkonnosti rýpadla, jejíž rozptyl je mnohem širší. Výsledky této práce mohou být podkladem pro zpřesnění časových harmonogramů na stavbách. Tím se přiblíží realitě časové a nákladové kalkulace a nebude docházet k pracovním skluzům a k dodatečnému zvyšování nákladů při realizaci staveb.

7 Přehled použité literatury a zdrojů

Literární zdroje:

(1) CELJAK, I. *Strojní zařízení pro zemní a melioračních práce.* České Budějovice : Zemědělská fakulta JČU, 2013, s. 146

(2) VANĚK, A. *Moderní strojní technika a technologie zemních prací.* Praha : Academia, 2003. ISBN 80-200-1045-9, s. 526

(3) MARŠÁL, P. *Technologie staveb I - Technologie provádění zemních prací.* Brno : Fakulta stavební VUT, 2005, s. 56

(4) Caterpillar Performance Handbook, edition 42, 2012, SEBD0351-42, 4-203, s 800

Internetové zdroje:

(4) http://www.staves.cz staženo dne 8. 2. 2015

(5) http://www.terramet.cz staženo dne 19. 3. 2015

(6) http://www.ritchiespecs.com staženo dne 25. 3. 2015

(7) http://www.bagry.cz staženo dne 31. 3. 2015

8 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Cat 301.8 28

Obrázek 2 - JCB 8085ZTS 28

Obrázek 3 - JCB JS 160 L 29

Obrázek 4 - Komatsu PC 160 LC 30

Obrázek 5 - JCB JS 210 LC 30

Obrázek 6 - Pracovní cyklus rýpadla Cat 301.8 35

Obrázek 7 - Pracovní cyklus rýpadla JCB 8085 ZTS 36

Obrázek 8 - Pracovní cyklus rýpadla JCB JS 160 L 37

Obrázek 9 - Pracovní cyklus rýpadla Komatsu PC 160 LC 38

Obrázek 10 - Pracovní cyklus rýpadla JCB JS 210 LC 39

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 - Označení zrn podle ČSN 72 1002 12

Tabulka 2 - Základní parametry rýpadel 17

Tabulka 3 - Teoretické časy pracovních cyklů rýpadel v závislosti na objemu lopaty (Maršál, 2004) 33

Tabulka 4 - Průměrné skutečné časy pracovních cyklů rýpadel do 10 tun 40

Tabulka 5 - Průměrné skutečné naměřené časy pracovních cyklů rýpadel od 10 do 22 tun 40

Tabulka 6 - Teoretické a skutečné výkonnosti měřených rýpadel 41

10 Seznam příloh

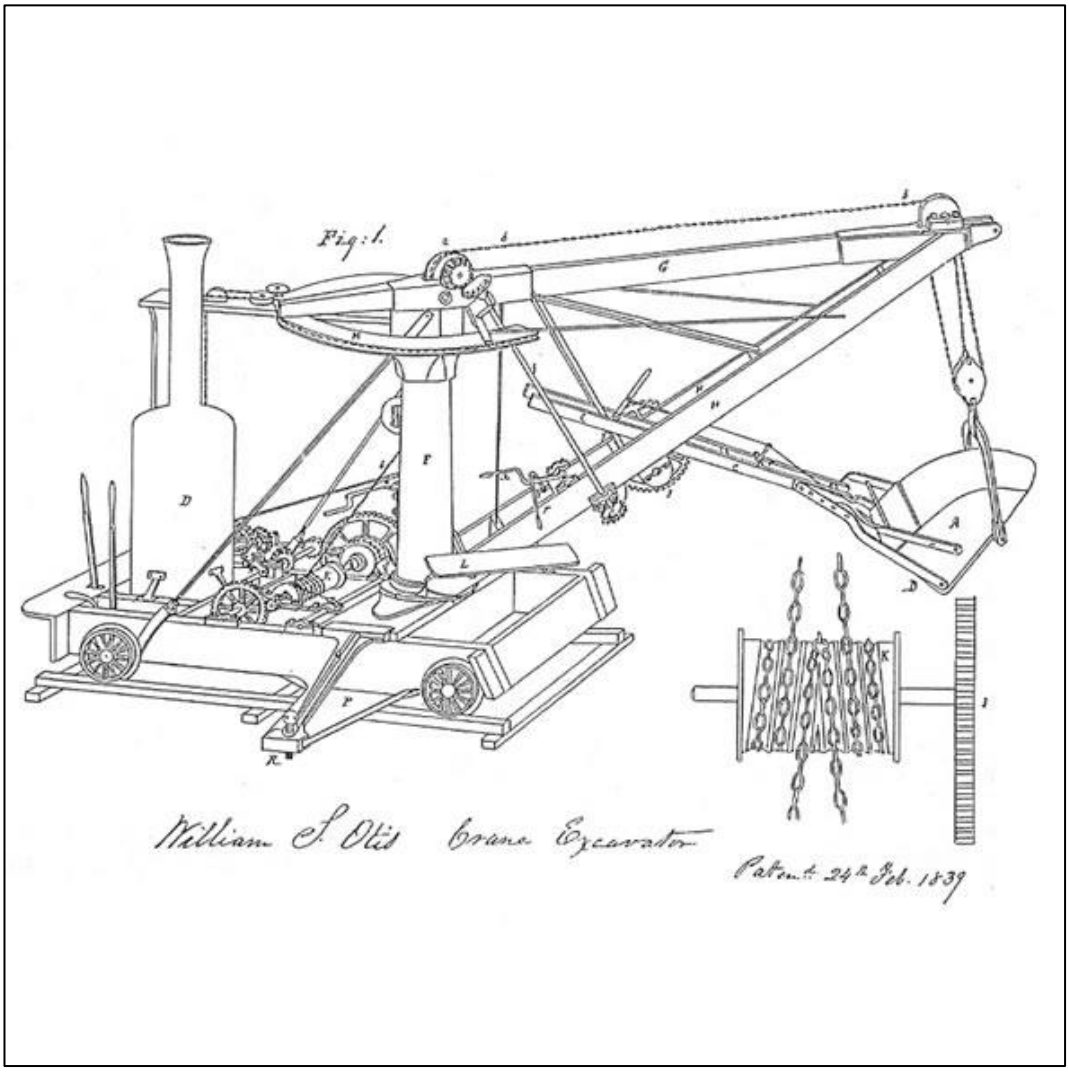
Příloha A: Tabulky naměřených skutečných délek pracovních cyklů rýpadel

Pokus	Plnění lopaty (náběr)	Otočení k místu vysypání	Vyprázdnění lopaty	Otočení do místa náběru	Celkem	
1	5,24	3,56	3,38	3,07	15,25	
2	5,20	3,29	2,34	3,19	14,02	
3	4,82	3,04	2,60	3,77	14,23	
4	4,42	3,63	2,44	4,69	15,18	
5	5,12	3,18	2,63	3,68	14,61	
6	4,86	3,41	2,96	3,24	14,47	
7	4,86	3,74	1,80	3,47	13,87	
8	4,71	4,10	2,27	3,03	14,11	
9	4,60	3,54	2,96	3,43	14,53	
10	5,15	3,62	2,89	3,45	15,11	
11	4,38	3,86	2,40	2,25	12,89	
12	4,07	3,94	3,01	3,08	14,10	
13	4,35	3,51	2,88	3,29	14,03	
14	3,65	3,24	2,43	3,22	12,54	
15	5,10	2,98	2,36	3,41	13,85	
16	5,07	3,13	2,62	2,93	13,75	Typ horniny: 2. třída rozpojitelnosti
17	4,89	3,69	2,29	2,78	13,65	
18	3,92	3,68	2,56	2,72	12,88	
19	3,89	3,13	2,74	3,09	12,85	
20	4,23	3,71	2,36	3,03	13,33	
21	4,71	3,46	2,43	3,09	13,69	
22	4,19	3,51	2,61	2,65	12,96	Objem lopaty: 0,05m^3
23	4,14	3,76	2,70	2,99	13,59	
24	4,53	3,39	2,28	3,01	13,21	
25	4,29	3,64	2,79	2,85	13,57	
26	3,84	3,48	2,37	2,90	12,59	
27	4,61	3,56	2,83	3,12	14,12	
28	4,67	3,60	2,86	3,94	15,07	Úhel otáčení: 90°
29	5,26	3,29	2,97	3,77	15,29	
30	4,98	3,67	2,36	3,61	14,62	
31	5,13	3,42	2,55	3,98	15,08	
32	4,76	4,02	3,14	2,99	14,91	
33	4,81	3,57	2,97	3,00	14,35	
34	4,69	3,36	2,96	2,95	13,96	Druh práce: Prohlubování koryta potoka
35	4,96	3,47	2,57	3,24	14,24	
36	5,03	3,19	2,61	3,65	14,48	
37	5,21	3,64	2,72	3,81	15,38	
38	5,16	2,97	2,81	3,29	14,23	
39	4,96	3,15	2,64	3,17	13,92	
40	5,07	2,89	2,59	3,62	14,17	Stroj: Cat 301.8
41	4,95	3,65	2,41	3,28	14,29	
42	4,83	3,54	2,95	3,49	14,81	
43	4,88	3,09	2,36	3,27	13,60	
44	4,73	3,23	2,73	3,07	13,76	
45	5,12	3,41	2,49	3,61	14,63	
46	4,65	3,27	2,38	3,55	13,85	
47	5,09	3,49	2,82	3,12	14,52	
48	4,85	3,09	3,03	3,64	14,61	
49	4,65	3,67	2,89	3,52	14,73	
50	4,73	3,44	2,65	3,56	14,38	
Průměr	**4,72**	**3,46**	**2,65**	**3,29**	**14,12**	

Pokus	Plnění lopaty (náběr)	Otočení k místu vysypání	Vyprázdnění lopaty	Otočení do místa náběru	Celkem	
1	5,20	3,12	1,86	4,52	14,70	
2	3,97	2,20	1,80	2,99	10,96	
3	6,76	2,79	1,79	3,49	14,83	
4	3,32	3,53	2,11	2,87	11,83	
5	4,57	3,45	2,06	3,25	13,33	
6	4,13	2,10	3,12	3,78	13,13	
7	3,82	3,48	3,05	4,23	14,58	
8	3,58	2,13	1,76	3,63	11,10	
9	3,86	2,48	2,36	3,96	12,66	
10	3,31	2,76	2,13	3,30	11,50	
11	3,93	2,17	1,96	3,17	11,23	
12	3,68	2,99	1,98	2,74	11,39	
13	4,23	2,80	1,81	2,08	10,92	
14	5,04	2,07	1,75	3,89	12,75	
15	5,36	2,82	1,78	2,32	12,28	
16	4,81	1,95	1,60	2,37	10,73	Typ horniny: 3. třídy rozpojitelnosti
17	5,48	2,28	2,15	2,23	12,14	
18	5,63	2,38	1,85	2,38	12,24	
19	4,68	2,56	1,79	2,23	11,26	
20	4,50	2,59	2,04	2,16	11,29	
21	5,11	3,03	1,95	2,39	12,48	
22	5,21	2,87	2,01	3,13	13,22	Objem lopaty: 0,2 m^3
23	4,98	2,05	1,58	3,03	11,64	
24	4,83	2,46	1,92	2,14	11,35	
25	5,09	2,66	1,51	2,70	11,96	
26	4,91	2,22	2,09	2,36	11,58	
27	3,27	2,47	2,01	2,56	10,31	
28	4,51	2,56	1,85	3,12	12,04	Úhel otáčení: 90°
29	4,44	2,46	1,97	2,42	11,29	
30	4,68	2,61	1,38	2,15	10,82	
31	4,20	2,45	1,89	2,28	10,82	
32	5,30	2,06	1,43	2,61	11,40	
33	5,03	2,09	1,77	2,98	11,87	
34	4,76	2,47	1,16	2,77	11,16	Druh práce: hloubení stavební šachty
35	5,11	2,50	1,37	2,46	11,44	
36	5,42	2,35	1,85	2,63	12,25	
37	5,16	2,10	1,99	2,33	11,58	
38	4,89	2,13	1,86	2,61	11,49	
39	4,91	2,49	1,57	2,65	11,62	
40	5,19	2,12	1,91	2,24	11,46	Stroj: JCB 8085 ZTS
41	4,48	2,74	1,69	2,68	11,59	
42	4,73	2,47	1,76	2,19	11,15	
43	4,36	2,11	1,61	2,78	10,86	
44	5,27	2,45	1,80	2,35	11,87	
45	5,16	2,48	1,79	2,69	12,12	
46	4,91	2,50	1,67	2,45	11,53	
47	4,96	2,10	1,53	2,59	11,18	
48	5,13	2,33	1,27	2,61	11,34	
49	4,94	2,81	1,82	2,69	12,26	
50	5,13	2,31	1,84	2,50	11,78	
Průměr	**4,72**	**2,50**	**1,85**	**2,77**	**11,84**	

Pokus	Plnění lopaty (náběr)	Otočení k místu vysypání	Vyprázdnění lopaty	Otočení do místa náběru	Celkem	
1	6,82	3,80	2,57	4,35	17,54	
2	7,44	4,45	2,45	4,31	18,65	
3	6,61	4,30	3,01	3,74	17,66	
4	6,63	4,11	3,12	4,80	18,66	
5	6,74	4,50	3,28	4,81	19,33	
6	6,68	3,58	3,64	4,92	18,82	
7	6,51	4,55	2,25	4,41	17,72	
8	6,60	4,43	3,02	4,12	18,17	
9	5,76	3,88	2,55	4,63	16,82	
10	6,14	4,08	3,84	4,62	18,68	
11	6,62	4,28	3,18	4,47	18,55	
12	5,73	3,73	2,82	4,65	16,93	
13	5,97	4,09	3,09	3,77	16,92	
14	6,21	3,94	3,13	4,61	17,89	
15	5,76	3,55	2,80	4,35	16,46	
16	6,04	3,87	3,28	4,16	17,35	Typ horniny: 1. třídy rozpojitelnosti
17	6,73	4,12	3,14	4,34	18,33	
18	6,15	4,20	3,06	4,47	17,88	
19	6,82	3,54	2,53	4,77	17,66	
20	6,09	5,07	2,75	4,39	18,30	
21	6,29	4,57	2,11	4,12	17,09	
22	6,37	4,06	2,56	4,67	17,66	Objem lopaty: 0,72 m^3
23	7,02	4,39	2,47	4,69	18,57	
24	7,09	3,86	2,69	4,34	17,98	
25	7,26	4,23	3,02	3,25	17,76	
26	6,95	3,61	3,25	3,69	17,50	
27	6,23	3,26	2,86	3,57	15,92	
28	6,84	3,48	2,54	3,69	16,55	Úhel otáčení: 70°
29	6,33	3,99	2,64	4,39	17,35	
30	6,92	4,02	2,31	4,98	18,23	
31	6,57	4,39	2,95	4,76	18,67	
32	5,91	4,55	2,78	4,37	17,61	
33	6,26	3,64	3,31	4,45	17,66	
34	5,88	3,88	3,25	4,29	17,30	Druh práce: nabírání omice
35	6,45	3,71	3,24	4,61	18,01	
36	7,59	3,19	2,69	4,57	18,04	
37	7,29	3,56	3,54	3,97	18,36	
38	6,81	3,15	3,29	4,32	17,57	
39	6,34	3,73	3,18	3,67	16,92	
40	6,29	4,24	2,97	3,49	16,99	Stroj: JCB 160 L
41	6,73	3,63	2,59	4,15	17,10	
42	5,99	3,42	2,83	3,29	15,53	
43	6,02	3,94	3,27	4,33	17,56	
44	6,54	3,85	2,69	4,59	17,67	
45	7,39	4,13	3,15	4,72	19,39	
46	7,01	4,09	2,85	4,39	18,34	
47	7,36	3,56	2,64	4,28	17,84	
48	6,98	3,88	2,98	4,39	18,23	
49	6,81	4,06	2,54	3,68	17,09	
50	6,53	3,34	3,37	4,61	17,85	
Průměr	**6,56**	**3,95**	**2,92**	**4,30**	**17,73**	

Pokus	Plnění lopaty (náběr)	Otočení k místu vysypání	Vyprázdnění lopaty	Otočení do místa náběru	Celkem	
1	6,73	5,62	3,75	3,96	20,06	
2	7,75	3,51	4,33	3,32	18,91	
3	6,85	5,55	3,60	3,95	19,95	
4	7,78	5,63	3,87	4,41	21,69	
5	5,86	7,08	3,89	3,81	20,64	
6	5,98	3,99	6,18	4,68	20,83	
7	5,89	4,28	3,21	3,93	17,31	
8	6,29	4,16	2,48	3,54	16,47	
9	5,98	4,01	3,45	5,02	18,46	
10	5,79	4,53	3,67	4,65	18,64	
11	6,76	5,38	3,20	4,59	19,93	
12	7,64	5,12	3,32	5,03	21,11	
13	6,21	5,62	4,65	5,19	21,67	
14	6,72	5,25	4,50	4,46	20,93	
15	6,98	5,02	4,61	4,39	21,00	
16	5,29	4,56	3,65	4,29	17,79	Typ horniny: 2. třídy rozpojitelnosti
17	5,69	4,00	3,35	4,72	17,76	
18	5,74	4,21	3,72	4,34	18,01	
19	5,82	4,24	3,38	4,22	17,66	
20	5,37	4,18	2,55	4,45	16,55	
21	6,09	4,30	3,81	4,15	18,35	
22	6,82	4,25	2,98	4,50	18,55	Objem lopaty: 0,95 m^3
23	6,98	4,85	2,56	4,90	19,29	
24	6,36	4,63	2,87	4,65	18,51	
25	6,68	4,27	3,51	4,33	18,79	
26	5,70	4,35	2,88	5,94	18,87	
27	6,20	4,62	2,00	3,79	16,61	
28	6,84	3,35	2,49	3,90	16,58	Úhel otáčení: 180°
29	6,59	4,02	2,89	3,65	17,15	
30	6,01	3,49	2,82	4,16	16,48	
31	5,95	4,65	5,78	4,00	20,38	
32	6,03	4,30	3,39	4,58	18,30	
33	6,07	4,91	3,64	4,62	19,24	
34	6,12	4,87	3,23	4,53	18,75	Druh práce: Nakládání horniny
35	6,32	4,76	3,29	4,27	18,64	
36	6,29	4,82	3,34	4,61	19,06	
37	6,34	4,63	3,41	4,21	18,59	
38	6,25	4,71	3,29	4,46	18,71	
39	5,96	4,57	3,35	4,28	18,16	
40	6,02	4,36	3,51	4,11	18,00	Stroj: Komatsu PC 160 LC
41	5,40	4,30	3,42	4,85	17,97	
42	6,45	4,35	3,61	4,29	18,70	
43	5,98	4,44	3,18	4,21	17,81	
44	5,65	4,98	2,37	4,57	17,57	
45	5,83	4,98	2,92	4,05	17,78	
46	6,69	4,08	3,53	4,95	19,25	
47	5,51	4,24	3,46	4,23	17,44	
48	5,30	4,26	2,86	4,46	16,88	
49	5,70	4,45	3,59	4,21	17,95	
50	5,29	4,37	2,98	4,27	16,91	
Průměr	**6,21**	**4,58**	**3,45**	**4,37**	**18,61**	

Pokus	Plnění lopaty (náběr)	Otočení k místu vysypání	Vyprázdnění lopaty	Otočení do místa náběru	Celkem	
1	4,49	3,72	2,89	3,07	14,17	
2	4,84	3,65	2,01	3,54	14,04	
3	4,11	3,96	2,35	3,21	13,63	
4	4,45	3,24	2,88	3,11	13,68	
5	4,09	3,67	2,72	3,01	13,49	
6	4,02	3,37	2,48	2,71	12,58	
7	3,99	3,45	2,63	2,96	13,03	
8	3,96	3,76	2,91	2,91	13,54	
9	4,36	3,24	2,36	2,68	12,64	
10	4,28	3,54	2,66	2,47	12,95	
11	4,57	3,88	2,53	2,08	13,06	
12	4,32	4,13	2,85	2,37	13,67	
13	5,01	3,67	2,65	2,14	13,47	
14	4,07	3,53	2,70	2,04	12,34	
15	4,49	3,77	2,26	2,16	12,68	
16	5,20	3,06	2,17	3,59	14,02	Typ horniny: 3. třída rozpojitelnosti
17	5,15	3,70	2,40	3,13	14,38	
18	5,36	3,21	2,53	3,26	14,36	
19	4,95	3,58	2,12	3,24	13,89	
20	4,98	3,41	2,31	3,61	14,31	
21	4,92	4,01	2,74	3,57	15,24	
22	5,03	3,67	2,65	3,61	14,96	Objem lopaty: 1,02m^3
23	5,06	3,95	2,31	3,26	14,58	
24	4,95	4,19	2,90	3,75	15,79	
25	5,32	4,32	2,67	3,62	15,93	
26	5,61	4,68	2,47	3,69	16,45	
27	5,36	4,27	2,19	3,25	15,07	
28	5,25	4,15	2,65	3,61	15,66	Úhel otáčení: 100°
29	5,19	3,95	2,36	3,11	14,61	
30	5,24	3,78	2,98	3,09	15,09	
31	5,39	3,65	2,54	3,38	14,96	
32	5,21	4,09	2,95	3,74	15,99	
33	5,47	4,37	2,84	3,61	16,29	
34	5,09	3,95	2,67	3,45	15,16	Druh práce: Těžení a nakládání horniny
35	4,89	4,59	2,99	3,25	15,72	
36	5,37	4,23	3,02	3,21	15,83	
37	5,21	3,58	3,05	3,19	15,03	
38	4,99	3,29	2,99	3,38	14,65	
39	5,34	4,19	2,95	3,68	16,16	
40	5,56	4,23	2,81	3,75	16,35	Stroj: JCB JS 210 LC
41	4,79	4,05	2,44	3,91	15,19	
42	5,13	3,99	2,37	3,83	15,32	
43	5,36	4,01	0,94	3,67	13,98	
44	5,27	3,87	2,74	3,92	15,80	
45	5,64	3,65	2,81	3,65	15,75	
46	4,90	3,29	2,83	4,01	15,03	
47	5,61	3,64	2,79	3,55	15,59	
48	5,24	3,92	2,33	3,27	14,76	
49	5,11	3,54	2,85	4,09	15,59	
50	5,07	3,19	2,49	4,15	14,90	
Průměr	**4,95**	**3,80**	**2,59**	**3,29**	**14,63**	

Příloha B