

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra zemědělských strojů



Diplomová práce

**Analýza výkonnosti, včetně provozních a servisních
parametrů u rypadel**

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Heřmánek, Ph.D.

Autor práce: Bc. Jakub Hromádko

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jakub Hromádko

Obchod a podnikání s technikou

Název práce

Analýza výkonnosti, včetně provozních a servisních parametrů u rypadel

Název anglicky

Efficiency analysis, including operating and service parameters for excavators

Cíle práce

Cílem práce je naměřit a porovnat výkonnost klasického rypadla a rypadla s hybridním pohonem. Dílčím cílem bude i porovnání provozních a servisních parametrů zvolených rypadel.

Metodika

Student prostuduje zahraniční literaturu týkající se rypadel. Popíše zvolená rypadla. Naměří jejich výkonnost při srovnatelných pracovních režimech. Získá informace o provozních a servisních datech zvolených strojů. Naměřená a vypočítaná data vzájemně porovná z hlediska využití a uplatnění strojů v provozu.

Doporučený rozsah práce

35 až 40 stran textu včetně tabulek a obrázků

Klíčová slova

rypadlo lopatové, výkonnost, servis

Doporučené zdroje informací

BLAHOVEC, Antonín. Elektrotechnika I. Šesté, nezměněné vydání. Praha: Informatorium, 2016. ISBN 978-80-7333-123-8.

KOPÁČEK, J. – PAVLOK, B. *Tekutínové mechanismy*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 1994. ISBN 80-7078-238-2.

ROH, J. – VYSOKÁ ŠKOLA ZEMĚDĚLSKÁ V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Tekutínové mechanismy*. V Praze: Vysoká škola zemědělská, 1994. ISBN 80-213-0172-4.

SLABÝ, P. – DLOUHÁ, E. – ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE. TECHNICKÁ FAKULTA. *Dopravní stavby a systémy 20, 30*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-01-02453-9.

ŠKRÉTA, K. – VÝZKUMNÝ ÚSTAV BEZPEČNOSTI PRÁCE. *Bezpečnost práce ve stavebnictví-CD ROM : správná praxe pro malé a střední podniky 14*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce, 2008.

Webové stránky výrobců a prodejců rypadle a přídatných zařízení, včetně výrobců jednotlivých komponent.

Předběžný termín obhajoby

2020/2021 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Petr Heřmánek, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra zemědělských strojů

Elektronicky schváleno dne 29. 1. 2020

prof. Dr. Ing. František Kumhála

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 19. 2. 2020

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 12. 05. 2021

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: **Analýza výkonnosti, včetně provozních a servisních parametrů u rypadel** vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů.

Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí.

Jsem si vědom že, na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.“

V Praze dne:

.....
Bc. Jakub Hromádko

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Petru Heřmánkovi, Ph.D. za odborné vedení a cenné připomínky při zpracování této diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě Stavoka Hradec Králové a. s., konkrétně panu Aleši Kodetovi, za poskytnutí rypadel a jejich prostor na testování.

Analýza výkonnosti, včetně provozních a servisních parametrů u rypadel

Abstrakt: Cílem této diplomové práce bylo porovnání výkonnosti dvou rypadel, přičemž jedno rypadlo bylo s hybridním pohonem a druhé s pohonem klasickým. Dílčím úkolem bylo porovnání provozních parametrů. V kapitole „Rypadla“ jsou obecně popsány informace o těchto stavebních strojích včetně jejich historie nebo vývoje hybridních pohonů. V kapitole „Popis zkoumaných rypadel“ jsou uvedeny parametry zkoumaných rypadel a je zde především podrobně popsán hybridní pohon. V následující kapitole „Teoretický výpočet výkonnosti“ jsou uvedeny vztahy, které sloužily pro výpočty jednotlivých druhů výkonnosti. V kapitole „Srovnání provozních parametrů“ jsou uvedeny dlouhodobé spotřeby pohonných hmot obou rypadel, z nich vypočítaná průměrná spotřeba a následné porovnání. Kapitola „Metodika měření výkonnosti“ popisuje, jak probíhalo samotné měření výkonnosti a v následující kapitole „Zpracování naměřených hodnot“ jsou hodnoty z měření seříděny a uspořádány do jednotlivých výpočtů. Práce je zakončena diskusí o dané problematice, ekonomickým zhodnocením a závěrem.

Klíčová slova: rypadlo lopatové, výkonnost, hybridní pohon, spotřeba

Efficiency analysis, including operating and service parameters for excavators

Abstract: The aim of this diploma thesis was to compare the performance of two excavators, first excavator with a hybrid drive and second with a classic drive. A partial task was to compare the operating parameters. The chapter "Excavators" generally describes information about these construction machines, including their history or the development of hybrid drives. In the chapter "Description of the examined excavators" the parameters of the examined excavators are given and the hybrid drive is described in detail. The following chapter "Theoretical calculation of performance" lists the relationships that were used to calculate each type of performance. The chapter "Comparison of operating parameters" shows the long-term fuel consumption of both excavators, from which the average consumption is calculated and the subsequent comparison. The chapter "Performance Measurement Methodology" describes how the performance measurement itself took place, and in the following chapter "Processing of Measured Values", the values from the measurements are sorted and arranged into individual calculations. The work ends with a discussion of the issue, economic evaluation and conclusion.

Key words: shovel excavator, performance, hybrid drive, consumption

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl a metodika práce	2
2.1	Cíl práce	2
2.2	Metodika.....	2
3	Rypadla.....	3
3.1	Historie	3
3.2	Legislativa	4
3.3	Rozdělení.....	5
3.4	Hydraulická soustava	6
3.4.1	Princip činnosti hydraulické soustavy.....	6
3.4.2	Rozvod kapaliny v hydraulické soustavě	7
3.5	Centrální mazací systém.....	8
3.6	Vývoj hybridních rypadel.....	9
3.7	Komatsu Komtrax	9
3.8	Hybridní technologie od značky Volvo	10
4	Popis zkoumaných rypadel.....	12
4.1	Hybridní rypadlo Komatsu HB215LC-2.....	12
4.1.1	Parametry hybridního rypadla	13
4.2	Klasické rypadlo Komatsu PC210LC-5	13
4.2.1	Parametry klasického rypadla.....	14
4.3	Podvozek	14
4.4	Otočný svršek	15
4.5	Kabina	15
4.5.1	Ochrana strojníka	17
4.6	Pracovní zařízení rypadla	17
4.6.1	Výložník	17
4.6.2	Násada	17
4.6.3	Pracovní nástroj	18
4.7	Hybridní pohon.....	19
4.7.1	Princip hybridního pohonu.....	19
4.8	Porovnání provozních parametrů.....	22
5	Výpočet výkonnosti rypadla	24
5.1	Výkonnost.....	24
5.2	Teoretická výkonnost.....	25
5.2.1	Teoretický pracovní cyklus	25
5.3	Provozní výkonnost.....	25

5.4	Skutečná výkonnost	27
6	Metodika měření výkonnosti	28
6.1	Postup měření	29
6.1.1	Jednotlivé fáze pracovního cyklu.....	31
7	Zpracování naměřených hodnot.....	33
7.1	Výpočet teoretické výkonnosti	34
7.1.1	Hybridní rypadlo	34
7.1.2	Klasické rypadlo	34
7.2	Výpočet provozní výkonnosti.....	34
7.3	Výpočet skutečné výkonnosti	35
8	Diskuse.....	36
9	Ekonomické zhodnocení	39
10	Závěr.....	42
11	Seznam literatury	44
11.1	Zdroje	44
11.2	Seznam obrázků	46
11.3	Seznam tabulek	46
12	Přílohy	47

1 Úvod

Hybridní pohony jsou stále častěji využívanou formou čerpání energie, a to z důvodu zmírnění negativního vlivu na životní prostředí, které je v dnešní době velmi diskutovaným tématem. Stroje s hybridním pohonem částečně využívají elektrického zdroje, čímž snižují celkové množství emisí výfukových plynů. Otázkou ovšem zůstává, jak účinné jsou v porovnání s klasickými pohony. Právě od tohoto tématu se odráží obsah této diplomové práce. [1]

Zařazení hybridních pohonů do automobilů je dnes již poměrně časté, ale stavební stroje s tímto pohonem jsou poměrně novou technologií a v praxi se dá s těmito stroji setkat pouze zřídka. Právě hybridním stavebním strojem, konkrétně hybridním rypadlem, se tato diplomová práce zabývá. Tento stroj byl společně s klasickým rypadlem testován, přičemž jednotlivé výsledky z testování budou mezi sebou postupně porovnávány. Na závěr bude uvedeno samotné porovnání výkonu a také bude uveden výpočet úspory finančních prostředků v závislosti na nižší spotřebě pohonných hmot.

Pro relevantní výsledky z testování bylo zapotřebí zajistit rypadla s velmi podobnými technickými parametry, s čímž dopomohla stavební firma Stavoka Hradec Králové, která poskytla obě potřebná rypadla – jedno s hybridním a jedno s klasickým pohonem. Obě rypadla byla ze stejné výkonnostní třídy stejného výrobce (Komatsu), což bylo pro měření výhodou. Již zmiňovaná stavební firma také poskytla knihy jízd obou rypadel, které sloužily pro analýzu dlouhodobé spotřeby pohonných hmot.

2 Cíl a metodika práce

2.1 Cíl práce

Cílem práce je naměřit a porovnat výkonnost klasického rypadla a rypadla s hybridním pohonem. Dílčím cílem bude i porovnání provozních a servisních parametrů zvolených rypadel.

2.2 Metodika

Po nastudování tuzemské i zahraniční literatury, týkající se rypadel, bude vypracována literární rešerše, která se z převážné většiny bude zabývat obecným popisem rypadel, podrobným výčtem informací o zkoumaných rypadlech či detailním popisem principu hybridního rypadla.

Zkoumaná rypadla byla při srovnatelných podmínkách i pracovních režimech (těžba písku pod vodní hladinou) testována z hlediska výkonnosti a výsledky z tohoto měření budou mezi sebou porovnány. Výsledky testování budou analyzovány i z ekonomického hlediska. Ve spolupráci s firmou Stavoka Hradec Králové a. s. byla získána data z knih jízd obou zkoumaných rypadel, která budou sloužit k porovnání provozních parametrů.

3 Rypadla

Rypadla (lopatová) jsou stroje, které jsou určeny primárně pro těžbu a rozpojování hornin s následným přemístěním na požadované místo. Tyto stroje mohou konat i další operace, jako je například úprava svahů nebo čištění kanálů, příkopů atd. Výhodou je, že mají vyměnitelné pracovní zařízení (hydraulické nůžky, kladivo, mulčovač) a po této výměně mají rypadla několik dalších aplikací. Lopatová rypadla patří do cyklicky pracujících strojů, což znamená, že konají opakované pracovní operace. V následujících podkapitolách bude stručně uvedena historie, legislativa týkající se obsluhy, rozdělení, konstrukce lopatových rypadel i vývoj hybridní technologie v rypadlech.

3.1 Historie

První zmínky o vzniku primitivních rypadel jsou historiky zaznamenány již z dob starověkého Egypta. Nicméně první dochované nákresy rypadel, podobné těm dnešním, pocházejí z 16. století. Tato historická rypadla byla plovoucí a převážně se používala pro hloubení koryt řek. Na rozdíl od dnešních strojů byla poháněna lidskou silou, například ručními navijáky či šlapacím kolem. Zmínka o takovém stroji se dochovala i od slavného Leonarda da Vinciho z roku 1513. [5]

Významnější pokrok v historii rypadel přineslo až tzv. století páry. V roce 1796 bylo v Anglii postaveno parní rypadlo s názvem Grimshaw a jelikož se o tomto stroji nedochovaly žádné nákresy, nejpravděpodobněji se jednalo o jediný kus tohoto druhu. Toto rypadlo bylo stejně jako jeho předchůdci určeno pro práci na vodě, aby hloubilo říční koryta a bylo poháněno parním motorem o výkonu 3 kW. [5]

První rypadlo na světě, které je svou konstrukcí a celkovým výkonem alespoň z části podobné těm dnešním, bylo parní rypadlo, které vynalezl Williams Otis. První zmínka o tomto rypadle je známá z roku 1835 z USA. Tento stroj měl kolejovou konstrukci a byl primárně používán pro stavbu železnic. Tento stroj již dokázal to, co umí dnešní lanová rypadla – zvedání, pojíždění, prohrabávání, otáčení atd. Základní principy tohoto stroje jsou dodnes používány. Na základě tohoto rypadla se odvíjely další podobné stroje, které se později staly nezbytnou složkou při rozměrnějších stavbách, například při rozvíjení severoamerických měst nebo při stavbě Panamského průplavu. Útlum parních rypadel začal při vynálezu levnějšího, benzínového motoru. Postupem času se rypadla utvářela a upravovala podle toho, jaké byly vytvářeny nároky dané doby. Parní motory byly nahrazovány spalovacími či elektrickými, kolejové podvozky se začaly přetvářet v pásové nebo kolové podvozky, pracovní kabina se začala otáčet o 360 stupňů nebo se začala vytvářet a inovovat různá pracovní zařízení. [5]

3.2 Legislativa

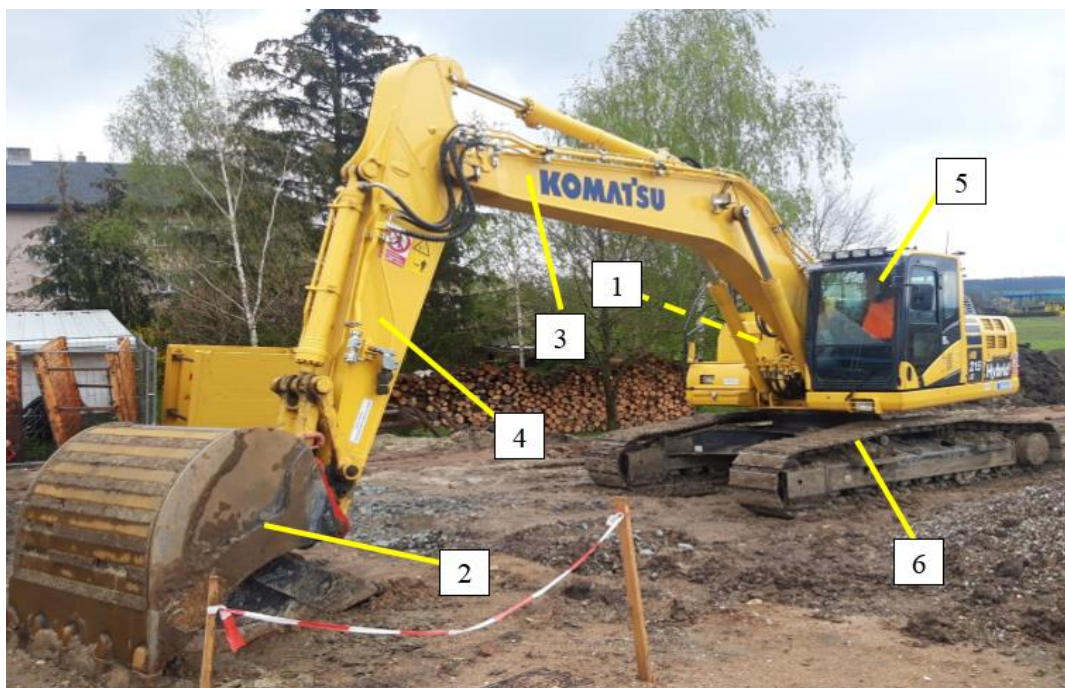
Každý, kdo chce řídit a obsluhovat stroje pro stavební nebo zemní práce, musí mít dle zákoníku práce (§ 103 odst. 2, 3) nebo vyhlášky č. 77/1965 Sb. určité oprávnění, které se nazývá průkaz strojníka. Tento průkaz vydává Ministerstvo průmyslu a obchodu nebo jiný orgán, který je k tomu pověřený. Toto oprávnění může dostat jen ten, který dosáhl věku 18 let, je tělesně a duševně schopný a spolehlivý k takové službě, absolvoval předepsaný výcvik a prokázal odbornou způsobilost v podobě zkoušky. Oprávnění může být Ministerstvem průmyslu a obchodu zrušeno, jakmile je jakákoli podmínka obdržení porušena nebo byla při práci ohrožena bezpečnost a ochrana zdraví. Další požadavky a informace jsou uvedeny v zákoníku práce, kde je například uvedeno, jak má vypadat organizace staveniště, aby nedošlo k porušení předpisů ohledně bezpečnosti na staveništi a ochraně zdraví fyzických osob. [22]

3.3 Rozdělení

Lopatová rypadla se dají rozdělit do určitých skupin podle několika hledisek, které mohou posloužit k výběru konkrétního typu rypadla například podle prostředí, v jakém bude stroj pracovat nebo jak velký objem práce bude stroj vykonávat:

- Účel využití – těžební, dokončovací, tunelové (stísněné podmínky), skrývkové (povrchové doly);
- Typ podvozku – kolové, pásové, kráčivé, kolejové;
- Přenos sil – mechanické (lanové), hydraulické;
- Pracovní zařízení – hloubková lopata, výšková lopata, pracovní adaptéry (drapák, magnet, vrták, korečky, srovnávač, jeřáb, pěchy atd.);
- Objem lopaty – mikro (0,01-0,6 m³), mini, malé, střední, velké (nad 5 m³);
- Druh pohonu – spalovací motor, elektrický motor, kombinovaný pohon;
- Jednoúčelové (jeden pracovní nástroj), víceúčelové (vyměnitelné pracovní nástroje). [6]

Konstrukce rypadel se odvíjí od konkrétního druhu rypadla. Obecně se dá říci, že konstrukce lopatových rypadel je zpravidla u všech typů velmi podobná, pouze se liší v jednotlivých částech. Tím je myšlena například volba pojezdového mechanismu nebo pracovního zařízení. Konstrukce rypadla je znázorněna na obrázku č. 1. [20]

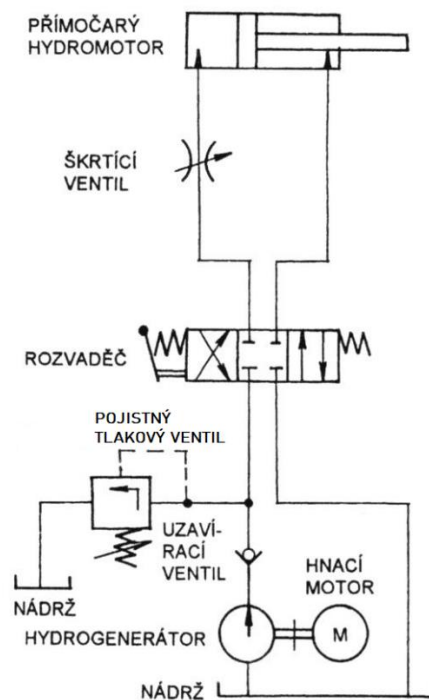


Obrázek 1: Konstrukce rypadla - Komatsu HB215LC-2

1-spalovací motor (z tohoto pohledu za kabinou); 2-lopata; 3-výložník; 4-násada; 5-otočný svršek (kabina); 6-pojezdový mechanismus

3.4 Hydraulická soustava

Princip ovládání pracovních mechanismů je u rypadla, ale i u jiných strojů, založen především na správném zapojení hydraulického systému, který slouží k přeměně mechanické energie na hydraulickou. Tato vzniklá hydraulická energie je přiváděna k hydromotorům, kde se přeměňuje zpět na energii mechanickou, která je potřebná k již zmíněnému ovládání pracovních mechanismů, jelikož pohání jednotlivé části stroje jako je například zdvih výložníku, ovládání násady a pracovního nástroje, samotný pojezd stroje nebo otoč nástavby. Právě zmiňovaná otoč nástavby se ovšem u hybridního rypadla nepohání přes hydraulickou soustavu, ale přes speciální elektrický okruh poháněný elektromotorem. Rozdíl je také u pohonu hydrogenerátoru, který může být u hybridního rypadla dopoháněn speciálním generátor-motorem, čímž je zaručena případná potřeba vyššího výkonu. Principem hybridního pohonu se budu podrobně zabývat v následujících kapitolách. Jednoduché schéma hydraulické soustavy je na obrázku č. 2. a konkrétní hydraulické schéma rypadla je na obrázku č. 3. [16, 20]



Obrázek 2: Jednoduché schéma hydraulické soustavy [20]

3.4.1 Princip činnosti hydraulické soustavy

Základem každé hydraulické soustavy je zdroj energie, což u klasické hydraulické soustavy je zpravidla hnací motor, který pohání hydrogenerátor (čerpadlo), jenž má za úkol vytvářet tlakovou energii. Nejčastěji se u rypadel používá pístový hydrogenerátor s proměnlivým průtokem, což umožňuje přítomnost vyšších tlaků a sil. Jak bylo uvedeno v předchozím

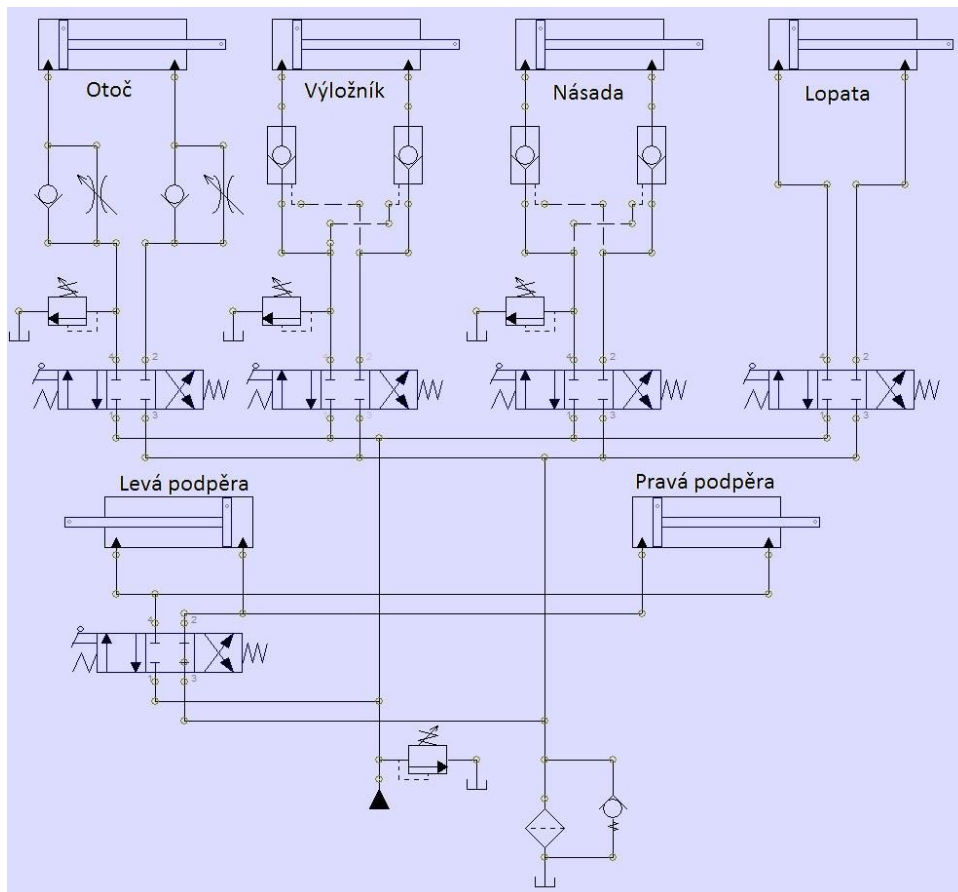
odstavci, u hybridního rypadla je hnací motor doplněn speciálním generátor-motorem, který může napomáhat ke zvýšení otáček. Pracovní kapalina (hydraulický olej) vytvořenou tlakovou energii přenáší průtokem přes filtry, které čistí hydraulickou kapalinu, a rozdělovač až k hydromotorům, které vykonávají potřebnou mechanickou práci. Hydromotor je korigován škrticím ventilem, který řídí jeho rychlost pohybu, a hydraulickým zámkem, který dokáže stabilizovat polohu pístu. U rypadel se zpravidla používají rotační a přímočaré hydromotory. Rotační hydromotory se používají pro pohon pojezdu a k pohonu otočného svršku a přímočaré se používají pro práci s výložníkem, násadou a pracovním nástrojem. Jelikož kapalina ztrácí tlak, je přes rozdělovač vedena zpět do nádrže, odkud se vrací zpět do hydrogenerátoru. Jako bezpečnostní prvek je v soustavě zapojený pojistný ventil, který dokáže zabraňovat v překročení nastaveného pracovního tlaku. [16, 20]

3.4.2 Rozvod kapaliny v hydraulické soustavě

Jak již bylo napsáno v předchozím odstavci, nejčastější pracovní kapalinou v hydraulické soustavě jsou různé druhy olejů, jejichž životnost se pohybuje okolo 2000 – 4000 provozních hodin. Životnost je odvozena od toho, k jak velkým tlakům a třením je kapalina vystavována. Velmi důležitým prvkem v hydraulické soustavě jsou filtry, které zajišťují čistotu kapaliny, čímž je zabráněno poruchám i opotřebení ostatních prvků v soustavě. [15, 19]

Aby byl správně usměrňován přívod kapaliny k jednotlivým hydromotorům, používá se rozvaděč, který slouží jako řídicí prvek. Rozvaděč tedy dokáže spouštět nebo zastavovat přívod kapaliny nebo měnit směr a intenzitu průtoku. [16, 20]

Kapalina obíhá přes soustavu několika prvků, kterými jsou například kovové trubky, hydraulické hadice, šroubení, přírubové a kloubové spoje nebo různé přípojky, přičemž nejvíce namáhanou konstrukční částí jsou hadice, které musí přenést různé tlaky, ale také musí snášet ohebnost, otěry, teplotní rozdíly či rázy. Hadice jsou zpravidla vyrobeny z pryžových duší, které jsou protkané polymerovými textilními vlákny, jsou vyztuženy několika ocelovými a elastickými vrstvami a jsou chráněny obalem. [16, 20]



Obrázek 3: Konkrétní hydraulický obvod rypadla [7]

3.5 Centrální mazací systém

Postupným vývojem také prochází i mazací systémy. Čím dál častěji je ve strojích využíváno centrálního mazacího systému, jehož instalace do stavebních strojů přináší především vyšší pracovní komfort spojený s výraznější úsporou nákladů na údržbu. Princip tohoto mazacího systému je založen na tom, že mazivo je v malých dávkách při krátkých časových intervalech pravidelně dodáváno do ložisek při provozu stroje. Tímto procesem je tedy v ložiskách zajištěno stálé a optimální množství maziva. Je například prokázáno, že ložiska strojů, které jsou vybavené právě centrálním mazacím systémem, mají mnohem delší životnost, než ložiska strojů, které jsou mazaná manuálně. Pořízení centrálního mazacího systému je sice finančně náročnější, ale právě instalací tohoto systému se sníží náklady na náhradní díly, opravy, prostoje a na mazivo, což může následně vést k rychlému vrácení počáteční investice. [10]

3.6 Vývoj hybridních rypadel

Mohlo by se zdát, že historie hybridních rypadel není příliš dlouhá, ale opak je pravdou. První hybridní rypadlo bylo sice vyrobeno až v roce 2008, což je samotnou firmou Komatsu nazýváno jako 1. generace hybridních rypadel (konkrétně se jednalo o model Hybrid PC200-8), ale do povědomí vývojářů se tento typ rypadel dostal již v roce 1999, kdy začal vývoj hybridních rypadel. Vývojáři z firmy Komatsu začali poznávat různé možnosti a verze, jak by hybridní stroj mohl vypadat. Je samozřejmé, že podnětem pro začátek tohoto vývoje byl zhoršující se stav životního prostředí. Prvním větším krokem mezi samotným začátkem vývoje hybridních rypadel a sestavením finálního rypadla byl rok 2003, kdy byl sestaven první prototyp tohoto typu rypadla. Prvním větším milníkem byl právě rok 2008, kdy bylo firmou Komatsu sestaveno první, již zmiňované, oficiální rypadlo s hybridním pohonem s názvem Hybrid PC200-8. Největší prodej byl ze začátku zaznamenán především v Japonsku v Tokiu, odkud se tyto stroje rozšířily i do Spojených států a do Číny. Dalším důležitým milníkem ve vývoji hybridních rypadel byl rok 2011, kdy byla díky neustálým inovacím vyrobena druhá generace strojů s označením HB215LC-1, které můžeme nazvat již „kompletním hybridem“. Tyto stroje se již rozšířily po celém světě. V roce 2013 vyjela z výrobní linky první generace rypadel, které byly také poháněny hybridním pohonem, ale jednalo se o vyšší třídu rypadel, konkrétně se jednalo o model HB335LC-1, který byl ovšem určen pouze pro australský trh. V roce 2014 přišla na řadu třetí generace modelu HB215LC-2. Tento stroj, o hmotnosti 21 tun, již byl určen výhradně pro evropský trh. S tímto modelem také probíhalo testování pro potřeby této diplomové práce. Zlom pro firmu Komatsu přišel v roce 2016, kdy byla vyrobena další, čtvrtá generace s označením HB365LC-3 s hmotností 36 tun. Tento model se prodával ve více než 17 evropských zemích a prodalo se ho více než 100 kusů. Sama firma Komatsu tento model již nazývá jako „perfect hybrid“. V tomto roce také vznikla čtvrtá generace lehčích rypadel HB215LC-2 PLUS, která má zatím nejpropracovanější mechanismus. Firma Komatsu uvádí, že po celém světě se do dnešní doby prodalo více než 5000 hybridních rypadel. [8]

3.7 Komatsu Komtrax

Aby se uživateli rypadla usnadnil přístup ke všem důležitým provozním údajům o stroji, tak společnost Komatsu vyvinula satelitní monitorovací systém Komtrax. Pokud je tento systém na stroji správně nainstalován a zároveň je spojen se systémem GPS, dokáže všechny tyto provozní údaje, včetně zobrazení polohy, jednoduše předávat a vyobrazovat například na mobilním telefonu. [13]

Jak sama společnost uvádí, je aplikace systému Komtrax výhodná především tehdy, pokud stroj pracuje v odlehlejších a hůře dostupných místech pro servisní techniky, jakmile nemá zodpovědná osoba za stroj v kompetencích osobně kontrolovat stav stroje, protože systém Komtrax, mimo dalších údajů, dává přehled i o technickém stavu stroje, respektive o potřebných opravách. Včasné a přesně naplánovaná údržba tak může mít za důsledek prodloužení životnosti stroje. Komtrax se také může ukázat jako velmi cennou pomůckou v případě, že byl stroj odcizen. Jak jsem již napsal výše, pokud má stroj správně nainstalovaný systém i ve spojení s GPS, lze ho jednoduše vypátrat. [13]

Systém Komtrax pracuje tak, že všechny provozní údaje, včetně údaje o poloze, přenáší na družici (Orbcomm), ze které jsou tyto údaje dále předávány do centra, který se zabývá zpracováním těchto údajů. Z tohoto centra jsou zpracované údaje přes internet přenášeny na datový server Komatsu, kde jsou všechny údaje zpracovávány, analyzovány a ukládány. Dále jsou tyto data přes intranet vyhodnoceny a přiřazeny k jednotlivým zákazníkům. Ukázka výkazu o úspoře energie zpracovaného právě přes systém Komtrax je k vidění v příloze č. 1. [13]

Systém Komtrax může zobrazovat tyto údaje:

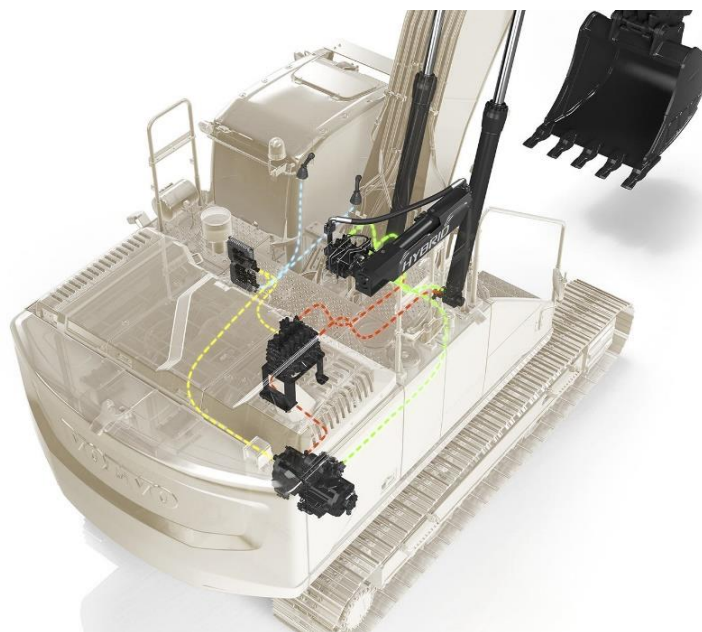
- Aktuální i historická poloha stroje;
- Hlášení závad stroje včetně nenadálých změn ve stroji;
- Hladina paliva včetně hladiny chladicí směsi;
- Doba do příští údržby včetně seznamu potřebných náhradních dílů;
- Denní i měsíční součty odpracovaných hodin. [13]

3.8 Hybridní technologie od značky Volvo

Nejen ve společnosti Komatsu se snaží o udržitelný rozvoj Země. Hybridními technologiemi použitými v rypadlech podobnými těm od společnosti Komatsu, či jinými, se zabývají i firmy jako je například Caterpillar, Kobelco či Volvo. Právě Volvo (Volvo Construction Equipment) přišlo na trh v roce 2020 s hybridním 30tunovým rypadlem s odlišnou technologií pohonu než právě společnost Komatsu. [4, 19]

Tato technologie primárně využívá energii, která vzniká při práci výložníku směrem dolů. Takto vygenerovaná energie se akumuluje v hydraulickém akumulátoru, odkud je následně použita pro pohon hydraulického čerpadla, což dokáže podpořit výkon hlavního motoru. Princip této technologie je vyobrazen na obrázku č. 4. Výrobce uvádí, že předpokládaná úspora paliva by se měla pohybovat okolo 15 %, což je doloženo testováním u zákazníku, kdy úspora paliva dosahovala od 11 % do 22 %. Rovněž také udává, že by se měly snížit emise CO₂ přibližně o 12 %, přičemž výrobce odhaduje návratnost investice na necelé dva roky i s ohledem na to, že tato hybridní technologie je oproti jiným hybridním technologiím méně náročná na výrobu a případně i na servis (myšleno především z finančního hlediska). [4, 19]

Hlavním rozdílem hybridní technologie od značky Volvo a technologie od firmy Komatsu je tedy v získávání dočasné energie, kdy Volvo získává energii generovanou při pohybu výložníku směrem dolů a Komatsu tuto energii získává při dobrždování otoče. Z těchto principů vyplývá, že rypadlo od značky Volvo dokáže svůj hybridní potenciál maximálně využít při režimu výkop-výsyp a rypadlo od značky Komatsu dokáže svoji hybridní technologii využít při velmi častém otáčení. [4, 19]



Obrázek 4: Schéma hybridní technologie od značky Volvo [4]

4 Popis zkoumaných rypadel

Následující podkapitoly budou zaměřeny na konstrukci konkrétních typů rypadel, které budou zkoumány. Jedná se o rypadla Komatsu HB215LC-2 a Komatsu PC210LC-5. Tato rypadla jsou téměř totožné s velmi podobnou konstrukcí a parametry. Jediný větší rozdíl je v typu pohonu, jelikož první jmenovaný stroj má hybridní pohon a druhý stroj má pohon na základě spalovacího motoru. Popis hybridního pohonu bude uveden v následujících podkapitolách.

4.1 Hybridní rypadlo Komatsu HB215LC-2

První rypadlo, které bude uvedeno v této práci a které sloužilo pro měření, je hybridní rypadlo Komatsu HB215LC-2 (viz obrázek č. 5). Firma Komatsu, založena v roce 1921 a sídlící v Japonsku, se zabývá výrobou a prodejem stavební a těžební techniky, komunálních služeb nebo lesních a průmyslových strojů. [15]



Obrázek 5: Hybridní rypadlo Komatsu HB215LC-2

4.1.1 Parametry hybridního rypadla

Tabulka 1: Parametry hybridního rypadla

Parametry	Hybridní rypadlo HB215LC-2
výkon motoru [kW]	110
objem motoru [l]	4,46
emisní třída motoru	Stage IIIB
spotřeba PHM [l/hod]	7 – 11
hmotnost [kg]	22 500
rypná síla na lopatě [N]	15 200
pracovní hloubkový dosah [mm]	6 620
hlučnost uvnitř kabiny [dB(A)]	69
vnější hlučnost [dB(A)]	102
servisní interval prohlídek motoru [mth]	500
rok výroby	2018

[11]

4.2 Klasické rypadlo Komatsu PC210LC-5

Druhým rypadlem, které sloužilo pro měření na tuto diplomovou práci, bylo klasické rypadlo Komatsu PC210LC-5 (viz obrázek č. 6). Je důležité podotknout, že toto rypadlo bylo vyrobeno v roce 1995, ovšem pro potřeby tohoto typu měření by větší stáří stroje nemělo být problémem i z toho důvodu, že se strojníci o toto rypadlo pravidelně a pečlivě starali a samotné rypadlo vykonává stále stejnou práci – těžba písku.



Obrázek 6: Klasické rypadlo Komatsu PC210LC-5

4.2.1 Parametry klasického rypadla

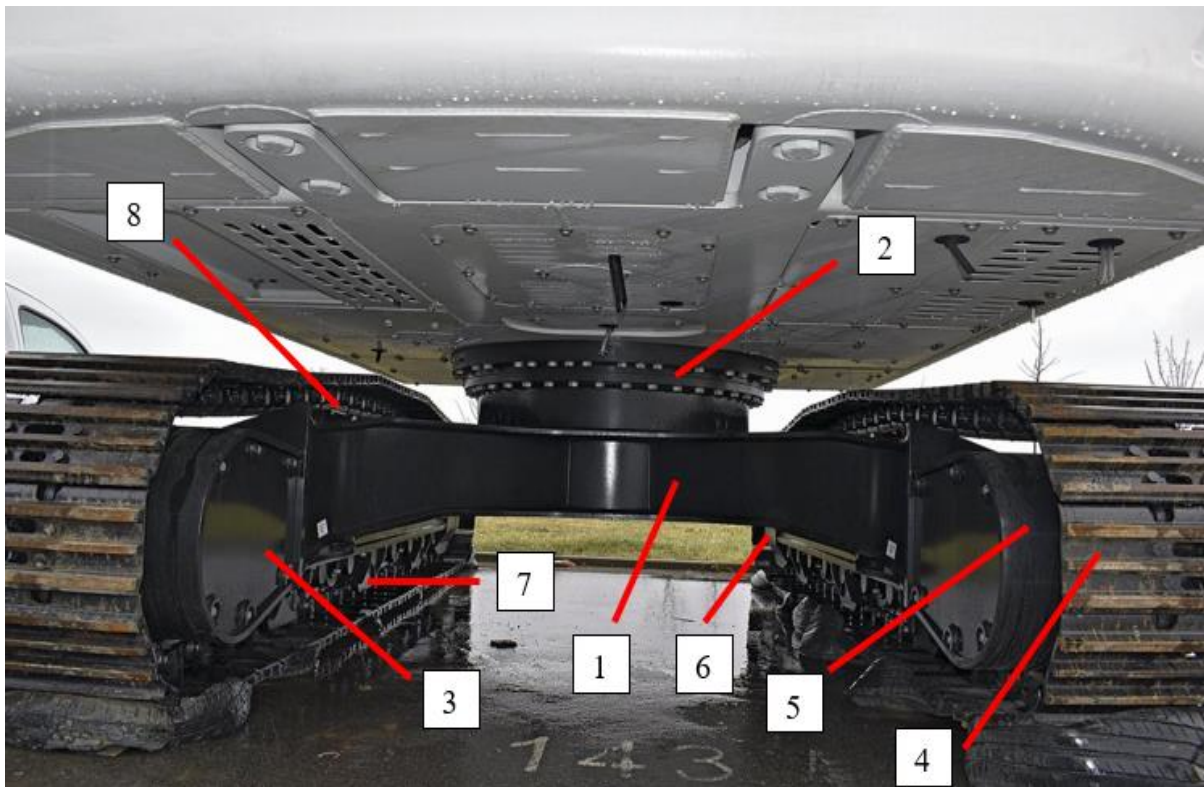
Tabulka 2: Parametry klasického rypadla

Parametry	Klasické rypadlo PC210LC-5
výkon motoru [kW]	92
objem motoru [l]	5,98
emisní třída motoru	Stage I
spotřeba PHM [l/hod]	16 – 18
hmotnost [kg]	21 500
rypná síla na lopatě [N]	14 300
pracovní hloubkový dosah [mm]	6 590
hlučnost uvnitř kabiny [dB(A)]	74
vnější hlučnost [dB(A)]	105
servisní interval prohlídek motoru [mth]	250
rok výroby	1995

[11]

4.3 Podvozek

Oba zkoumané stroje mají pásový podvozek. Hlavní výhodou v porovnání s kolovým podvozkem je, že se tento typ podvozku vyznačuje menšími hodnotami tlaků, ke kterému dochází při kontaktu stykové plochy a podložky, což vede k rozložení celkové hmotnosti stroje na podložku a stroj má tak menší tendenci se bořit. Jelikož se tedy celková hmotnost rozkládá na větší plochu, je tím také zajištěn větší záběrový účinek, ať už se jedná o hnací či brzděné síly, což je výhodné především při práci v náročnějším terénu. Díky tomuto podvozku je také dosaženo větší stability, jelikož tato konstrukce podvozku zajišťuje nižší těžiště. Pásový podvozek je sice levnější, co se týče pořizovací ceny, ovšem oproti kolovému podvozku vznikají větší náklady spojené s údržbou a opravami. Pásky tvoří přibližně třetinu celkové hmotnosti rypadla. Konstrukci samotného podvozku lze vidět na obrázku č. 7. [9, 20]



Obrázek 7: Konstrukce pásového podvozku [17]

1-rám, 2-kruhová příruba, 3-podélné nosiče pásů, 4-pásky, 5-planetový koncový převod (turas), 6-vodicí kolo (zakončení podélných nosičů), 7-nosné kladky, 8-podpěrné kladky (na horní straně podélných nosičů)

4.4 Otočný svršek

Na otočném svršku je umístěna kabina a energetické zdroje. Základním konstrukčním prvkem svršku je otoč s rámem, na kterém jsou uloženy motory, generátory, baterie, kompresory, nádrže na oleje a palivo, převodové ústrojí, protizávaží, výložník a kabina strojníka. Spojení mezi otočným svrškem a podvozkem zajišťuje velké ložisko, a to tak, že podvozek je spojen přes kruhovou přírubu právě s tímto ložiskem, do kterého zapadá věnec otoče a tím je také zajištěno samotné otáčení. Všechna tato příslušenství a mechanismy musí být účelně rozmístěny, aby bylo dosaženo požadované spolehlivosti, výkonnosti a stability rypadla. [20]

4.5 Kabina

Všechny řídicí a ovládací prvky stroje, které jsou určeny k tomu, aby mohla obsluha ovládat stroj, se nacházejí v kabině. Kabina jako taková musí podle daných norem splňovat různé parametry jako je například bezpečnost, ale důležitá je také hygieničnost, pohodlnost a dobrá obslužnost. Podle mezinárodní normy ISO 3471:2008 je dáno, jak pevná musí být konstrukce,

aby splňovala ochrannou funkci při převrácení stroje. Podobná norma ISO 3449 naopak specifikuje pevnost kabiny proti padajícím předmětům. Trendem poslední doby je snaha výrobců maximalizovat pohodlí strojníka v kabině tak, aby se cítili co nejvíce pohodlně a bylo tak zamezeno vzniku zdravotních problémů nebo upadající pracovní morálce tím, že se například snaží co nejvíce snížit vibrace a hluk. [20]

Na obrázcích č. 8 a 9 lze vidět srovnání vnitřku kabiny, konkrétně se jedná o palubní počítač a joystick na ovládání násady a výložníku. Je opět nutné podotknout, že rozdíl roku výroby mezi jednotlivými rypadly je přibližně 20 let. Na obrázku č. 8 (hybridní rypadlo) lze vidět moderní palubní počítač, na kterém může strojník vidět všechny potřebné údaje o aktuálním stavu stroje. Jelikož hybridní rypadlo disponuje i kamerami, může si strojník jednoduše překlíknout na záběry z těchto kamer a může tak vidět do míst, kam by z kabiny neviděl, což je důležité především z hlediska bezpečnosti. V kabině samozřejmě nechybí klimatizace. Naopak obrázek č. 9 znázorňuje pohled do kabiny klasického rypadla. Z palubního počítače může strojník vyčíst pouze nejdůležitější údaje o stavu stroje, jelikož v roce, kdy bylo toto rypadlo vyrobeno, se na pohodlí strojníka nebral příliš velký zřetel. O klimatizaci v této kabině nemůže být řeč.



Obrázek 8: Palubní počítač v hybridním rypadle



Obrázek 9: Palubní počítač v klasickém rypadle

4.5.1 Ochrana strojníka

Jelikož stavební stroje, včetně rypadel, pracují i v náročnějších podmínkách, je důležité při konstrukci samotné kabiny myslet i na bezpečnost obsluhy. Proto existují různé certifikace kabin, které mají zabraňovat případným problémům. První takovou certifikací je ROPS (rollover protective structures), která zabezpečuje ochranu strojníka při převrácení stroje speciální ochrannou konstrukcí. Další takovou certifikací je FOPS (falling object protective structures), kterou je zabezpečena ochrana obsluhy proti padajícím předmětům. Neméně důležitou certifikací je také OPS (operator protective structures), která zajišťuje různými způsoby ochranu oken, čímž se zabrání například náhodnému šlehání větví. [2]

4.6 Pracovní zařízení rypadla

Do pracovních zařízení rypadla se řadí výložník, násada a pracovní nástroj. Všechna pracovní zařízení rypadla pracují na základě hydraulických systémů a pro dosažení požadovaného výkonu (např. rypné síly) je potřeba, aby všechny části byly správně nakombinovány. [20, 21]

4.6.1 Výložník

Výložník patří mezi jeden z pracovních zařízení rypadla a zároveň je základní nosnou částí celého pracovního zařízení. Zpravidla je připojen kloubovitě k otočnému svršku a spojuje ho tak přes čepy s násadou. Obě zkoumaná rypadla mají výložník, který se skládá z jednoho dílu. Výhodou jednodílného výložníku je vysoká pevnost a s tou spojené velké zatížení, a proto se zpravidla používá pro standardní práce s lopatou jako je rypání nebo nakládání. Dále také existuje vícedílný, hydraulicky nastavitelný výložník, který je zpravidla složen ze dvou částí. Pomocí zmíněného hydraulického systému se dá měnit úhel mezi dvěma částmi výložníku, čímž se dá také snadněji skladovat, protože nastavitelný úhel usnadňuje otáčení rypadla v užších místech. [20, 21]

4.6.2 Násada

Násada je po výložníku další z částí pracovního zařízení rypadla. Násada pokračuje za výložníkem, kde je z jedné strany spojena čepy právě s výložníkem a ze strany druhé je spojena s pracovním nástrojem. K rypadlu jsou dodávány různé délky násady, přičemž jejich délka se mění s druhem vykonávané práce. Kratší násady (přibližně do 2,5 m) se používají tehdy, když je potřeba velká rypná síla, naopak delší se využívají, když je zapotřebí velký vodorovný i hloubkový dosah. [20]

4.6.3 Pracovní nástroj

Pracovní nástroj je poslední částí pracovního zařízení rypadla. Nástroj je ovladatelně uchycen na konci násady. V dnešní době je sortiment pracovních nástrojů velice široký, jelikož každý nástroj má odlišnou funkci a využitelnost rypadel tak nabývá velké rozmanitosti. Rypadlo tak může pracovat například v lese, kdy jeho pracovním nástrojem bude drapák na dřevo, může hutnit pomocí vibrační desky nebo bourat hydraulickým kladivem. Pracovních nástrojů je samozřejmě celá řada, což dělá ze samotného rypadla velmi univerzální stroj.

Je velmi důležité, aby konkrétní nástroj byl používán na tu práci, na kterou je určen. Kdyby tomu tak nebylo, pracovní nástroj se může snadno opotřebit. K tomu také slouží hydraulicky ovládaný rychloupínač, který je na konci násady a slouží k rychlé výměně pracovního nástroje. [14]

Stále nejčastějším pracovním nástrojem jsou lopaty, které se liší v šířce, tvarech, zubech nebo výztuhách. Jak již bylo zmíněno, je velmi důležité, aby byl pro určitou práci zvolen vhodný nástroj, což u lopat platí obzvláště, jelikož při volbě nevhodné lopaty se může výkonnost dramaticky snížit. Velkou chybou je i ponechání tupějších zubů, protože ostrost zubů je velice důležitá při průniku lopaty do zeminy a v situaci, kdy budou zuby tupé, vzniká větší odpor zeminy (přibližně o 10 – 15 %) a tím bude také potřeba větší rypná síla. [18, 20]

Jelikož jsou v této diplomové práci porovnávány lopatová rypadla, bude v následujících bodech stručně uvedeno, jak se lopaty rozdělují dle rozdílného druhu práce:

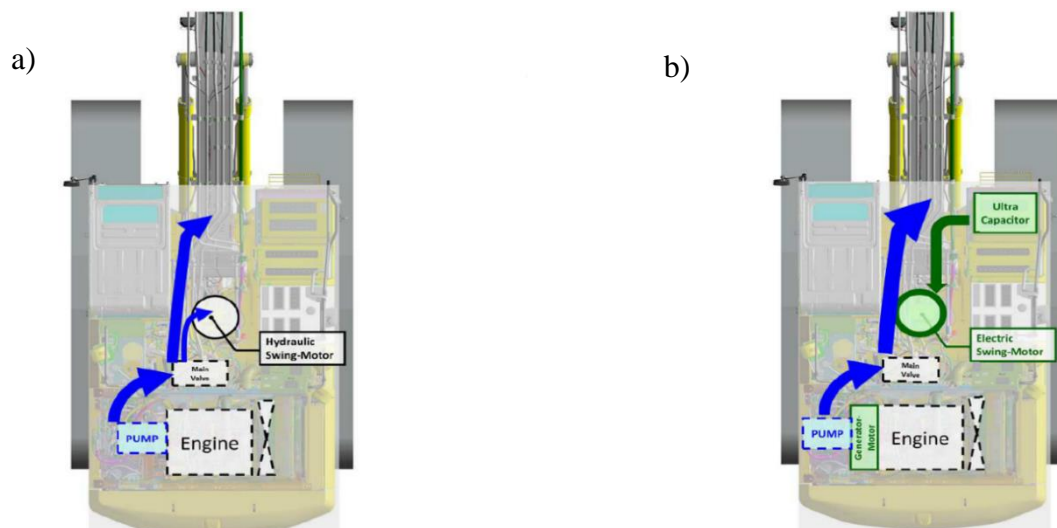
- Výškové (těžba nad úrovní rypadla);
- Hloubkové (těžba pod úrovní rypadla);
- Nakládací (těžba nad nebo pod úrovní rypadla, nakládka vytěžené horniny);
- Drenážní (těžba pod úrovní rypadlo úzkou lopatou);
- Srovnávací (srovnání terénu, nakládka přebytečné horniny);
- Trhací (např. trhání dlažby);
- Profilové (čištění příkopů). [6]

4.7 Hybridní pohon

Stroje od firmy Komatsu s tímto hybridním pohonem jsou vyráběny především proto, aby se v dnešním světě globálního oteplování bral zřetel na životní prostředí. Díky této technologii vzniká méně emisí, čímž chce výrobce omezit právě zmiňované negativní dopady použitých strojů. Výrobce uvádí, že rypadla s hybridním pohonem přispívají ke snížení uhlíkové stopy až o 40 %, díky menší spotřebě paliva a nízkým emisím, přičemž jsou zachovány všechny požadované výkonové parametry. Jelikož je výkon podporován právě tímto pohonem, není potřeba tak velký objem motoru a tím je zaručena menší spotřeba pohonných hmot. S tím také souvisejí menší otáčky dieselového motoru, čímž je zaručena nižší vnější hlučnost. [11]

4.7.1 Princip hybridního pohonu

Tento pohon je založen na kombinaci diesel-hydraulického a elektrického pohonu částí stroje. Stejně jako u klasických rypadel, jsou i u tohoto typu rypadla všechny funkce pohybu a práce stroje poháněny hydromotory. Rozdíl je ovšem v otoči nástavby, jehož pohon zajišťuje elektromotor, přičemž stroj není vybaven žádnými akumulátory, které by sloužily pro uložení potřebné elektrické energie, ani není připojen k žádnému napájecímu kabelu, ale rypadlo si potřebnou elektrickou energii vyrábí samo. Z toho tedy vyplývá, že při zvedacích operacích je využito 100% průtoku hydraulického oleje na zvedání a práci ramene (viz obr. č. 10). Jelikož text v obrázku č. 10 je nečitelný, pokusím se stručně popsat, co tato jednotlivá schémata znázorňují. Schéma a) představuje velmi zjednodušenou hydraulickou soustavu klasického rypadla, kde lze vidět, že hydraulický olej je veden z hlavního čerpadla, umístěného vedle hlavního motoru, k rozvaděči, od kterého je dále veden jak na pohon otoče, tak na práci ramene. Schéma b) znázorňuje hydraulickou soustavu hybridního rypadla. Na tomto schématu lze vidět, že olej je veden z hlavního čerpadla k ventilu, od kterého dále vede pouze na pohon ramene, což je samozřejmě výhodnější z důvodu zvýšení výkonu. V tomto případě je otoč poháněna zvláštním elektrickým okruhem, ve kterém přísun energie zajišťuje kondenzátor. Princip tohoto elektrického okruhu bude dále vysvětlen. Z obou schémat tedy vyplývá, že hlavní rozdíl je ve vedení oleje, ale také v tom, že u klasického rypadla je otoč poháněna hydraulicky, zatímco u hybridního rypadla je otoč poháněna elektricky. [11]



Obrázek 10: Jednoduché schéma rozvodu oleje [23]

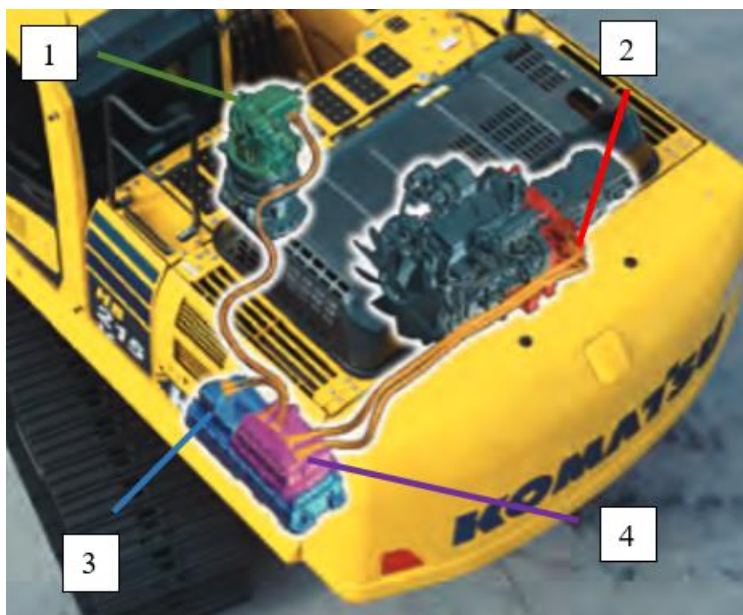
Princip výroby této dočasné energie začíná tak, že při otáčení nástavby je elektrická energie dodávána ze zdroje, který se nazývá kondenzátor, kde je energie dočasně skladována a může být rychle použita. Při fázi zastavování (dobrždování) otoče je využita kinetická energie otáčející se nástavby, která je přes usměrňovač přeměněna na požadovanou elektrickou energii, a ta zpětně dobíjí již zmíněný kondenzátor. Na obrázku č. 11 lze vidět napojení kondenzátoru s usměrňovačem. Samotný kondenzátor a usměrňovač je na obrázku v pravé dolní části. [11]



Obrázek 11: Umístění kondenzátoru s usměrňovačem

Z tohoto principu tedy vyplývá, že čím více stroj pracuje a otáčí se, tím více energie má dočasně uloženo v kondenzátoru, což je výhodné při rychlém nárůstu hydraulického výkonu rypadla, protože v případě potřeby začne elektrická energie uložená v kondenzátoru pohánět tzv. generátor-motor, což má za následek zvýšení výkonu hlavního hydraulického čerpadla a tím je dosaženo potřebného aktuálního výkonu rypadla. Pokud je potřeba, generátor-motor dokáže zpětně dobít kondenzátor. [11]

Jelikož je zmiňovaný generátor-motor umístěn mezi pohonným diesellovým motorem a hlavním hydraulickým čerpadlem, nedochází tak ke zvyšování otáček tohoto motoru, což má za důsledek především to, že pohonný motor pracuje v nízkých otáčkách (okolo 1 300 ot./min). Nižší otáčky dále vedou k nižší spotřebě pohonných hmot (až o 30 % ve srovnání s klasickými rypadly), tiššímu chodu a nižší hlučnosti, což se může vyplatit například v bytové zástavbě. Na obrázku č. 12 jsou znázorněny jednotlivé části hybridního pohonu, jejich prostorové uložení a vzájemné propojení. [11]



Obrázek 12: Části hybridního pohonu [11]

1-elektromotor, 2-generátor-motor, 3-kondenzátor, 4-usměrňovač

Výhody hybridního pohonu ve srovnání s klasickým pohonem:

- Menší objem motoru = menší spotřeba pohonných hmot;
- Menší otáčky diesellového motoru = nižší vnější hlučnost;
- Ekologičtější a ekonomičtější provoz při zachování požadovaných výkonových parametrů.

4.8 Porovnání provozních parametrů

V této části budou srovnány katalogové provozní parametry obou rypadel. Tato část je také doplněna o informace o skutečné spotřebě pohonných hmot od firmy Stavoka a. s., se kterou se spolupracovalo při měření. Údaje byly čerpány z knih jízd převážně z roku 2019. Z tabulky č. 1 a 2 lze tedy vyvodit, že spotřeba pohonných hmot je mezi jednotlivými rypadly nesrovnatelná. Rypadlo s klasickým pohonem Komatsu PC210LC-5 má uváděnou spotřebu pohonných hmot 16 – 18 litrů za hodinu s ohledem na pracovní činnost. Tato vyšší spotřeba může být způsobena vyšším stářím a s ním spojená odlišná emisní třída motoru, konkrétně Stage I. Tato třída odpovídala požadavkům emisních norem tehdejší doby, přičemž hlavní pozornost byla upřena především na výkon, naopak na ochranu životního prostředí se příliš nedbalo.

Hybridní rypadlo Komatsu HB215LC-2 má uváděnou spotřebu 7 – 11 litrů za hodinu. Mnohem nižší spotřeba je dána jednak tím, že stroj je novější a při výrobě motoru z této doby byly kladeny jiné nároky na emisní požadavky, ale především je to dáno hybridním pohonem, o jehož principu jsem se již zmiňoval v předchozí části. Motor splňuje emisní třídu Stage IIIB, ve které je kladen maximální důraz na ekologii a bezpečnost při výrazném snížení spotřeby pohonných hmot. Při ohledu na životní prostředí se do motorů přidávají filtry pevných částic, které mají za úkol zachycovat saze ve výfukových plynech. [11]

Do srovnání je také přidáno rypadlo Komatsu PC228USLC-10 s klasickým pohonem, které má taktéž velmi podobné parametry a od výrobce předpokládanou spotřebu 10 - 14 litrů za hodinu, přičemž stejně jako uváděné hybridní rypadlo splňuje emisní třídu Stage IIIB. Je tedy jednoznačné, že ve srovnání s hybridním rypadlem s podobnými parametry, je vyšší spotřeba tohoto modelu dána rozdílným pohonem. [12]

Firma Stavoka Hradec Králové, a.s. poskytla knihy jízd obou strojů, kde jsou údaje o každodenním přehledu najetých motohodin a doplňování pohonných hmot. Tyto denní údaje byly uspořádány dle jednotlivých měsíců a převedeny do tabulky č. 3. Z těchto údajů byla následně spočítána průměrná spotřeba jednotlivých rypadel. Ukázka knihy jízd je v příloze č. 2.

Tabulka 3: Přehled o motohodinách, čerpání pohonných hmot a průměrné spotřebě

Komatsu HB215LC-2			Komatsu PC210LC-5		
měsíc/rok	počet motohodin [mth]	čerpání PHM [l]	měsíc/rok	počet motohodin [mth]	čerpání PHM [l]
04/20	75	496	04/20	13	220
03/20	57	370	03/20	9	170
02/20	57	280	02/20	4	70
01/20	99	780	01/20	14	250
12/19	61	320	12/19	9	150
11/19	45	300	11/19	5	80
10/19	69	450	10/19	16	280
9/19	23	50	9/19	4	70
8/19	37	480	8/19	11	180
7/19	18	250	7/19	4	70
6/19	43	360	6/19	6	110
5/19	65	460	5/19	17	290
4/19	64	450	4/19	10	180
3/19	35	250	3/19	4	65
2/19	60	290	2/19	11	190
Σ	808	5586	Σ	137	2375
	6,91	l/mth		17,34	l/mth

Zdroj: Stavoka Hradec Králové, a.s. – knihy jízd

Práce obou strojů ve sledovaném období spočívala zejména v těžení písku a probíhala na stejném pracovišti a za stejných podmínek, a proto se toto dlouhodobé srovnání pohonných hmot může považovat jako relevantní informace. Z tabulky č. 3 je tedy patrné, že spotřeba rypadla s hybridním pohonem je více jak dvakrát nižší než u rypadla s klasickým pohonem.

5 Výpočet výkonnosti rypadla

V této kapitole budou uvedena teoretická východiska, která budou složít jako podklad pro výpočet výkonnosti z naměřených hodnot. Jedná se o vzorečky pro výpočet teoretické, provozní a skutečné výkonnosti doplněné o různé koeficienty, které při konkrétním výpočtu ovlivňují výsledek. S výpočtem teoretické výkonnosti souvisejí i všechny fáze pracovního cyklu, které budou stručně popsány.

5.1 Výkonnost

Výkonnost se dá stručně charakterizovat jako změřený objem materiálu, který je přemístěn za určitou jednotku času. Zpravidla se uvádí v metrech krychlových za jednu hodinu. Samotný termín výkonnost vyžaduje, aby byly poskytnuty detailní informace, které ovlivňují samotné měření. Jsou to tyto údaje:

- Technické údaje o stroji, o namontovaném pracovním zařízení a o namontovaných pracovních nástrojích, které by mohly ovlivnit výkonnost stroje;
- Typ materiálu – dle národní klasifikace zemin, případně charakteristika zeminy-zrnitost, hustota, vlhkost;
- Stav materiálu – ulehlá nebo kyprá zemina či zemina v rostlém stavu;
- Typ činnosti – například rýpání příkopů;
- Podmínky činnosti – například hloubka rýpání, úhel natočení otočného svršku rypadla aj.;
- Místo nebo zařízení, kam je materiál nakládán;
- Povětrnostní podmínky;
- Lokalita, časové údaje, datum, doba. [3]

5.2 Teoretická výkonnost

Základním ukazatelem výkonnosti je výkonnost teoretická, která je dosažitelná po krátké časové období, s příslušným pracovním zařízením, při daných pracovních podmínkách a pro daný typ materiálu. Při výpočtu tohoto typu výkonnosti se neberou v úvahu vlivy, které mají tendenci snižovat výkonnost, jejichž vznik je způsoben stavem pracovního zařízení, organizací staveniště a počasím. Zároveň se také počítá s tím, že schopnosti strojníka jsou průměrné. [3]

Teoretická výkonnost Q_t je dána vztahem:

$$Q_t = \frac{V}{T} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (1)$$

V – objem vytěžené a zpracované horniny během jednoho pracovního cyklu [m^3];

T – doba teoretického pracovního cyklu [h]

5.2.1 Teoretický pracovní cyklus

Tímto termínem můžeme chápat proces, který je do nekonečna opakován stále ve stejném pořadí a uskutečňují se při něm jednotlivé pracovní úkony. Tyto úkony má každý stavební stroj jiný v závislosti na jeho druhu a druhu konané práce. Podle normy ČSN ISO 9245 jsou to pro rypadla s hloubkou lopatou tyto úkony:

- nabírání (rýpání) – činnost násady, při které se lopata naplní na jmenovitý objem;
- zvednutí lopaty – lopata se zvedne do výsypné výšky, avšak nejméně do 3,5 metrů;
- natočení – otočení otočného svršku s plnou lopatou, zpravidla o 90° ;
- vysypání – výsyp materiálu při výsypném úhlu, zpravidla pod úhlem 45° ;
- natočení zpět – při této fázi se otočný svršek otočí zpět o 90° ;
- spuštění – nastavení lopaty do výchozí polohy. [3]

5.3 Provozní výkonnost

Výpočet provozní výkonnosti je podkladem pro výpočet skutečné výkonnosti. Stejně jako u výpočtu teoretické výkonnosti je i provozní dosažitelná s příslušným pracovním zařízením, při daných pracovních podmínkách a pro daný typ materiálu, ale rozdíl je v tom, že provozní výkonnost je dosažitelná trvale (nepřetržitě) a při výpočtu tohoto typu výkonnosti se berou v úvahu i veškeré podmínky, které dokážou ovlivnit samotnou výkonnost. Tyto podmínky jsou transformovány do koeficientů. Hodnota těchto koeficientů závisí na vlastnostech jednotlivých podmínek a následně jsou tyto koeficienty dosazeny do výpočtu provozní výkonnosti. Hodnoty koeficientů v závislosti na jednotlivých podmínkách jsou uvedeny v tabulce č. 4. [3]

Provozní výkonnost Q_p je dána vztahem:

$$Q_p = Q_t \cdot k_p \cdot k_o \cdot k_u \cdot k_{ol} \cdot k_l \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad (2)$$

Q_t – teoretická výkonnost [$m^3 \cdot h^{-1}$];

k_p – koeficient rozpojitelosti hornin [-];

k_o – koeficient kvalifikace strojníka [-];

k_u – koeficient úhlu otáčení [-];

k_{ol} – koeficient opotřebení lopaty [-];

k_l – koeficient poměru objemu lopaty a objemu ložného prostoru odvozního vozidla [-]

Tabulka 4: Určení koeficientu pro výpočet provozní výkonnosti

Vliv	Hodnocení	Koeficient
rozpojitelnost hornin (k_p)	lehce rozpojitelná	0,99
	středně rozpojitelná	0,93
	těžce rozpojitelná	0,63
kvalifikace strojníka (k_o)	zkušený	1,1
	dobrý	1
	nezkušený	0,85
	začátečník	0,7
úhel otáčení (k_u)	45	1,2
	90	1,08
	135	0,95
	180	0,9
opotřebení lopaty (k_{ol})	bez opotřebení	1
	průměrné	0,9
	úplné	0,78
poměr objemu lopaty a objemu ložného prostoru odvozního prostředku (k_l)	2	0,82
	3	0,87
	4	0,91
	5	0,94
	6	0,96

[6]

5.4 Skutečná výkonnost

Tato výkonnost je téměř totožná s tou provozní, ale zde se do výpočtu přidává ještě jeden speciální koeficient. Jedná se o koeficient časového využití, do kterého jsou zahrnuty veškeré stavy, které ovlivňují výkonnost, čímž je myšlen například technický stav stroje, servis stroje, organizování staveniště nebo povětrnostní podmínky, což má také za důsledek to, že je tento koeficient proměnlivý. Tento koeficient zpravidla nabývá hodnot mezi 0,8 – 0,95 právě v závislosti na uvedených podmínkách a stejně jako ostatní koeficienty je bezrozměrný. [3]

Skutečná výkonnost Q_s je dána vztahem:

$$Q_s = Q_p \cdot k_{\text{č}} \quad [\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}] \quad (3)$$

Q_p – provozní výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$];

$k_{\text{č}}$ – koeficient časového využití [-]

6 Metodika měření výkonnosti

Měření výkonnosti zkoumaných rypadel muselo probíhat za totožných podmínek, aby se naměřené hodnoty a následné výsledky daly ideálně porovnat. Obě rypadla byla před samotným měřením zkontrolována, aby mohla spolehlivě odvádět svoji práci. Měření probíhalo na písčově nedaleko Hradce Králové, což bylo pro samotné měření také velice důležité, jelikož se stejným pracovištěm zajistila homogennost těženého materiálu, což byl tedy mokrá písek.



Obrázek 13: Příprava rypadel před měřením

Důležité také bylo, aby lopaty rypadel byly co nejvíce objemově podobné, což bylo zajištěno. Lopaty měly velmi podobné rozměry o objemu $1,21 \text{ m}^3$. Hodnota tohoto objemu byla převzata z dodacího listu výrobce lopat – dle rozměrů lopaty byl vybrán výsledný objem. Jelikož jedna lopata měla zuby s mezerami mezi sebou, přes který by těžený materiál mohl přepadávat, bylo strojníkovi, který obsluhoval oba stroje, vysvětleno, že je potřeba mít lopaty maximálně zarovnané. Na obrázku č. 14 lze vidět takto ideálně zarovnanou lopatu. Během samotného měření pak pokusy s nezarovnanými lopatami byly vyjmuty, protože by to mohlo ovlivnit výsledky výkonnosti.



Obrázek 14: Ideálně zarovnaná lopata

6.1 Postup měření

Samotné měření probíhalo tak, že strojník, který rypadlo obsluhoval, najel co nejvíce k břehu a spustil výložník s násadou tak, aby dolní hrana pracovního zařízení, v našem případě tedy lopaty, se dotýkala hladiny vody. Tato poloha byla považována za začátek pracovního cyklu. Jakmile se lopata ponořila do vody, byly zapnuty stopky, kterými byl měřen celý pracovní cyklus rypadla. Strojník se ve vodě pokusil nabrat těžný materiál, přičemž násada byla potopena do 2 metrů (viz obr. č. 15). Zároveň byla snaha o to, jak již bylo zmíněno, aby lopata s vytěženým materiálem byla co nejvíce zarovnaná.

V den měření bylo ideální počasí pro takový druh práce, tzn. bylo slunečno bez jakýchkoli rušivých elementů (děšť, vítr, tma atd.). Oba stroje jsou strojníky pravidelně udržovány a pravidelně servisovány. Právě toto ideální počasí a technické stavy obou strojů jsou také vhodné pro měření z toho důvodu, že by se na základě rušivých podmínek musely odvodit příslušné opravné koeficienty pro výpočty jednotlivých druhů výkonnosti, což v tomto případě tedy není potřeba. Jediným faktorem, který by mohl ovlivnit měření, je stáří strojů. Hybridní rypadlo bylo vyrobeno v roce 2018 na rozdíl od klasického rypadla, které bylo vyrobeno v roce 1995. Tento rozdíl ve stáří jednotlivých strojů by mohl být částečně anulován tím, že klasické rypadlo po většinu svého provozu bylo využíváno k stále stejné práci (práce na písničku), bylo důkladně udržováno a oproti jiným, podobně starým strojům, které má firma Stavoka Hradec Králové k dispozici, má výrazně nižší dobu používání.



Obrázek 15: Nabírání materiálu

Další fází pracovního cyklu bylo zvednutí výložníku s násadou do výšky přibližně 3 metrů a natočení otočného svršku přibližně o 90°. Jelikož oba stroje při samotném měření obsluhoval jeden strojník, lze usuzovat, že má zažitě své stereotypní pracovní postupy a jednotlivé fáze pracovního cyklu vykonával v prakticky stejných hodnotách. Jakmile se v některém případě výrazněji odlišil od ostatních hodnot, celý cyklus byl z měření vyjmut a do konečných výsledků se nezapočítával.

Po otočení otočného svršku následovalo vysypání materiálu. Materiál nebyl vysypáván na odvozní prostředek, ale pouze na zem, aby se předešlo tomu, že by strojník hledal na korbě odvozního prostředku volné místo na výsyp, což by mohlo ovlivnit výsledný čas měření. Po vysypání materiálu se strojník s otočným svrškem otočil zpět a spustil výložník s násadou opět na hladinu vody. Tímto úkonem skončil jeden pracovní cyklus rypadla.

Samotné měření bylo založeno na měření délky jednoho pracovního cyklu, respektive strojník během jednoho měření udělal s každým rypadlem 5 takovýchto pracovních cyklů a následně se tento čas vydělil pěti, aby byl zjištěný průměrný čas jednoho pracovního cyklu. Aby byl výsledný čas co nejvíce vypovídající a přesný, měření se u každého rypadla opakovalo třikrát. V tabulkách č. 5 a 6 je přehled o tom, jak dlouho jednotlivým rypadlům trvalo 5 pracovních cyklů a z toho vypočtený 1 zprůměrovaný cyklus.

Tabulka 5: Doba pracovních cyklů u hybridního rypadla

Komatsu HB215LC-2	5 cyklů [s]	1 cyklus [s]
1. měření	160,01	32,00
2. měření	159,92	31,98
3. měření	159,40	31,88
průměr	159,78	31,96

Tabulka 6: Doba pracovních cyklů u klasického rypadla

Komatsu PC210LC-5	5 cyklů [s]	1 cyklus [s]
1. měření	170,41	34,08
2. měření	166,84	33,37
3. měření	168,04	33,61
průměr	168,43	33,69

6.1.1 Jednotlivé fáze pracovního cyklu

Jelikož byl z měření vytvořen kamerový záznam, bylo jednoduché zjistit, jak dlouho trvají jednotlivé fáze pracovního cyklu rypadel. Časy každé z fází byly sečteny a následně vyděleny počtem cyklů, aby byl zajištěn co nejpresnější výsledek (průměrný čas každé z fází z 15 pracovních cyklů). Tyto zprůměrované časy jednotlivých fází byly uspořádány do tabulky č. 7. Informace z těchto tabulek slouží pouze pro zajímavost a se zprůměrovanými časy fází již nebude dále počítáno.

Tabulka 7: Srovnání jednotlivých fází pracovního cyklu

Operace	Hybridní rypadlo [s]	Klasické rypadlo [s]
nabírání	7,45	7,78
zvednutí	6,56	7,33
natočení	4,87	5,16
vysypání	6,59	6,66
natočení zpět	3,86	4,04
spuštění	2,63	2,72

Z tabulky č. 7 je patrné, že hybridní rypadlo je ve všech fázích pracovního cyklu rychlejší. Největší časový rozdíl lze vidět u fáze zvednutí. Tento rozdíl je dán tím, že hybridní rypadlo má odlišný pohon. Jak již bylo vysvětleno v předchozích kapitolách, tak při potřebě vyššího výkonu jsou otáčky hlavního čerpadla zvýšeny speciálním generátor-motorem, který je poháněn energií z kondenzátoru. Toto spojení zaručuje zmiňovaný vyšší výkon, který byl samozřejmě při práci s mokřým pískem zapotřebí.

7 Zpracování naměřených hodnot

Pro výpočet výkonnosti, je potřeba znát všechny důležité vstupní údaje. Z předchozí kapitoly jsou již známy jednotlivé časy pracovních cyklů. Pro výpočet teoretické výkonnosti je potřeba znát objem lopaty, který byl uveden v předchozí kapitole. Následně se k výpočtu provozní výkonnosti používají koeficienty jednotlivých vlivů, které ovlivňují samotnou výkonnost. Tyto vlivy a jejich charakteristické koeficienty jsem již v předchozích kapitolách také vyjmenoval (rozpojitelnost hornin, kvalifikace strojníka, úhel otáčení, opotřebení lopaty, poměr objemu lopaty a objemu ložného prostoru odvozního vozidla). Pro výpočet skutečné výkonnosti je potřeba ještě znát koeficient časového využití, který může výpočet do značné míry výrazně ovlivnit. Jedná se například o technický stav stroje. Před samotným výpočtem bylo také důležité převést dobu pracovního cyklu, která je uvedena v sekundách, na hodnoty uvedené v hodinách. Všechny důležité vstupní hodnoty jsou uvedeny v tabulce č. 8.

Tabulka 8: Vstupní hodnoty pro výpočet výkonnosti

Údaj	Hodnota	Komentář
doba pracovního cyklu (T)	viz tabulka č. 4 a 5	-
objem lopaty (V)	1,21 m ³	hodnota z tabulek výrobce
koeficient rozpojitelnosti hornin (k_p)	0,99 [-]	lehce rozpojitelná
koeficient kvalifikace strojníka (k_o)	1 [-]	dobrý
koeficient úhlu otáčení (k_u)	1,08 [-]	90°
koeficient opotřebení lopaty (k_{ol})	1 [-]	bez opotřebení
koeficient poměru objemu lopaty a objemu ložného prostoru odvozního prostředku (k_l)	0,96 [-]	6
koeficient časového využití ($k_č$)	0,95 [-]	bez rušivých stavů

Vstupní hodnoty jsou pro oba stroje totožné, jelikož stroje pracovaly za stejných podmínek a byly ovládány stejným strojníkem. Pouze bych poznamenal, že pro koeficient poměru objemu lopaty a objemu ložného prostoru odvozního prostředku jsem zvolil hodnotu 0,96, protože i přesto, že vytěžená zemina byla vysypávána na zem, po nějakém čase se začala tvořit viditelná kupa a strojník tak mohl být tímto ovlivněn. Pro koeficient opotřebení lopaty byla zvolena hodnota 1, jelikož obě lopaty byly bez jakýchkoli viditelných vad.

7.1 Výpočet teoretické výkonnosti

Výpočet teoretické výkonnosti je základem pro další výkonnostní výpočty. Nejdříve bude uveden výpočet průměrné doby pracovního cyklu ze tří měření. Následně tato vypočítaná doba bude použita pro výpočet teoretické výkonnosti pro jednotlivá rypadla. Důležité také je, aby se tento čas pracovního cyklu, který je vypočten v sekundách, dosazoval v hodinách.

7.1.1 Hybridní rypadlo

Výpočet průměrné doby pracovního cyklu se vypočítá podle vztahu:

$$T = \frac{32,00+31,98+31,88}{3} = 31,96 \text{ s}$$

Výpočet teoretické výkonnosti podle vztahu 1:

$$Q_t = \frac{V}{T} = \frac{1,21}{\frac{31,96}{3600}} = 136,32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

7.1.2 Klasické rypadlo

Výpočet průměrné doby pracovního cyklu se vypočítá podle vztahu:

$$T = \frac{34,08+33,37+33,61}{3} = 33,69 \text{ s}$$

Výpočet teoretické výkonnosti podle vztahu 1:

$$Q_t = \frac{V}{T} = \frac{1,21}{\frac{33,69}{3600}} = 129,32 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

7.2 Výpočet provozní výkonnosti

Při výpočtu provozní výkonnosti budou potřeba již zmiňované koeficienty, jejichž hodnoty jsou stanoveny dle působících vlivů, přičemž základním prvkem při tomto výpočtu je teoretická výkonnost. Stejně jako u předchozího výpočtu bude nejdříve uveden výpočet pro hybridní rypadlo a následně pro klasické rypadlo.

Výpočet provozní výkonnosti hybridního rypadla podle vztahu 2:

$$\begin{aligned} Q_p &= Q_t \cdot k_p \cdot k_o \cdot k_{\dot{u}} \cdot k_{ol} \cdot k_l = \\ &= 136,32 \cdot 0,99 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1 \cdot 0,96 = 139,92 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

Výpočet provozní výkonnosti klasického rypadla podle vztahu 2:

$$\begin{aligned} Q_p &= Q_t \cdot k_p \cdot k_o \cdot k_u \cdot k_{ol} \cdot k_l = \\ &= 129,32 \cdot 0,99 \cdot 1 \cdot 1,08 \cdot 1 \cdot 0,96 = 132,74 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \end{aligned}$$

7.3 Výpočet skutečné výkonnosti

Na základě vypočtené provozní výkonnosti u obou typů rypadel zbývá vypočítat poslední typ výkonnosti. Jak již bylo dříve uvedeno, skutečná výkonnost je téměř totožná s tou provozní, ale do výpočtu výkonnosti skutečné se přidává speciální koeficient časového využití, kam se zahrnují takové stavy, které dokáží ovlivňovat výkonnost. Do těchto stavů se dá zařadit například technický stav stroje, servis stroje, organizace staveniště nebo povětrnostní podmínky, přičemž tento koeficient většinou nabývá hodnot od 0,8 – 0,95.

Výpočet skutečné výkonnosti hybridního rypadla podle vztahu 3:

$$Q_s = Q_p \cdot k_{\check{c}} = 139,92 \cdot 0,95 = \mathbf{132,93} \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

Výpočet skutečné výkonnosti klasického rypadla podle vztahu 3:

$$Q_s = Q_p \cdot k_{\check{c}} = 132,74 \cdot 0,95 = \mathbf{126,10} \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$$

8 Diskuse

Dle vstupních hodnot včetně jednotlivých opravných koeficientů a naměřených hodnot byly vypočítány hodnoty všech tří druhů výkonnosti jak u klasického, tak u hybridního rypadla. Tyto hodnoty jsou stručně uspořádány v tabulce č. 9.

Tabulka 9: Porovnání vypočítaných hodnot

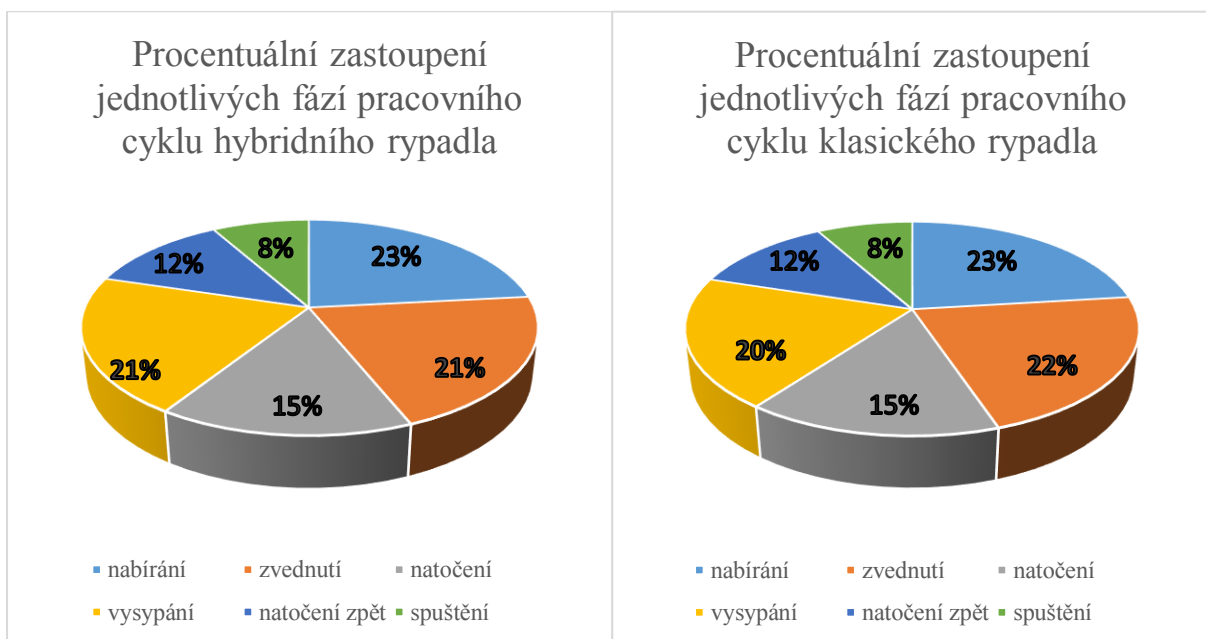
Rypadlo	Pracovní cyklus [s]	Výkonnost [$\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$]			Rozdíl výkonnosti	Spotřeba paliva [l/mth]	Rozdíl spotřeby paliva
		teoretická	provozní	skutečná			
hybridní	31,96	136,32	139,92	132,93	5,14 %	6,91	60,15 %
klasické	33,69	129,32	132,74	126,10		17,34	

Z tabulky č. 9 je patrné, že hybridní rypadlo ve všech sledovaných ukazatelích vyniká před rypadlem klasickým. Hlavním úkolem této diplomové práce, bylo porovnání výkonnosti mezi jednotlivými rypadly. Pomocí výpočtů bylo zjištěno, že hybridní rypadlo má v porovnání s klasickým rypadlem o 5,14 % lepší výkonnost, což se nemusí zdát jako velký rozdíl. Je potřeba si ale uvědomit, že testování probíhalo v rámci pár pracovních cyklů, kdy nebyla dostatečně dlouhá doba na to, aby se výsledky ve výkonnosti promítly v ještě větším rozdílu. Na doplnění mohu uvést informaci z prospektu, který se zabývá vyšší třídou rypadla značky Komatsu (konkrétně se jedná o stroj HB365LC-3), že právě tento stroj má ve srovnání s rypadlem, také od značky Komatsu (PC360LC-11) o 15 % vyšší produkci během nakládání v délce 90 sekund, přičemž oba uvedené stroje mají v porovnání mezi sebou velmi podobné parametry. [23]

Jak již bylo napsané v předchozích kapitolách, bylo využito spolupráce s firmou Stavoka Hradec Králové, od které byly k dispozici knihy jízd, ve kterých jsou zaznamenány stavy motohodin a čerpání pohonných hmot. Z tabulky č. 9 lze vyčíst, že hybridní rypadlo má v porovnání s rypadlem klasickým o 60,15 % menší spotřebu pohonných hmot. Hodnoty k porovnání spotřeby pohonných hmot jsou brány z knihy jízd, které byly zapisovány během celého roku 2019 a částečně i z roku 2020, což je poměrně dlouhé období a toto srovnání se může zdát jako relevantní. Je ovšem důležité podotknout, že stroje během tohoto období nevykonávaly stejný druh práce, nepracovaly ve stejných podmínkách a hybridní rypadlo neovládal stejný strojník. Přesto je 60,15% rozdíl spotřeby pohonných hmot velmi výrazný, což potvrzuje i majitel firmy Stavoka Hradec Králové, který tvrdí, že jsou s hybridním rypadlem velmi spokojeni. Především firmu udivuje právě udávaná spotřeba paliva, která

se samozřejmě odráží v úspoře finančních prostředků, jelikož v oficiálním dokumentu k hybridnímu rypadlu Komatsu HB215LC-2 je uvedeno, že úspora spotřeby paliva se pohybuje okolo 20 % právě ke klasickým rypadlům s podobnými parametry jako hybridní rypadlo, což je právě Komatsu PC210LC-5. Ani v tomto případě ovšem nesmí být zapomenuto na to, že není přesně stanoveno, za jakých podmínek bylo testování výrobcem uskutečněno. [11]

V tabulkách č. 1 a 2, ve kterých jsou uvedeny důležité parametry strojů, jsou také uvedeny informace od výrobce o předpokládané spotřebě pohonných hmot. Pro klasické rypadlo je to interval od 16 do 18 litrů paliva za hodinu, pro hybridní rypadlo je to interval od 7 do 11 litrů za hodinu. Při srovnání této předpokládané spotřeby se spotřebou, která byla vyčtena právě z dodaných knih jízd obou strojů (údaje o spotřebě z tabulky č. 4), lze vyčíst, že spotřeba klasického rypadla, která je 17,34 l/mth, se pohybuje v předpokládaném intervalu a blíží se spíše k vyšší hranici, zatímco spotřeba hybridního rypadla, která je 6,91 l/mth, se pohybuje těsně pod dolní hranicí předpokládané spotřeby, což může vypovídat o tom, že firma Stavoka Hradec Králové dokáže naplno využívat výhody hybridního rypadla.



Obrázek 16: Procentuální zastoupení jednotlivých fází pracovního cyklu hybridního rypadla

Obrázek 17: Procentuální zastoupení jednotlivých fází pracovního cyklu klasického rypadla

Na obrázcích č. 16 a 17 jsou pomocí grafů znázorněny časy jednotlivých fází pracovního cyklu obou typů rypadel, které jsou uvedeny v procentuálním zastoupení. Grafy byly vytvořeny z hodnot z tabulky č. 7. Z hlediska výkonnosti můžeme z těchto grafů vyčíst, že nejdůležitějším parametrem je nabírání těžného materiálu, který tvoří přibližně čtvrtinu doby celého pracovního cyklu. Z porovnání obou grafů je patrné, že největší rozdíl v jednotlivých fázích je ve fázi zvednutí a vysypání, což potvrzuje právě odlišný druh pohonu.

Z principu hybridního pohonu v rypadlech od firmy Komatsu vyplývá, že je tento stroj výhodný pouze tehdy, když se otáčí otočný vršek, čímž tedy vyniknou výhody hybridního pohonu. Jakmile by se otoč neotáčela a rypadlo by pracovalo například pouze tak, že by mělo místo lopaty hydraulické kladivo a stálo by na místě, tak by pořízení hybridního rypadla nedávalo smysl.

9 Ekonomické zhodnocení

Pořízení hybridních rypadel, ale i celkově strojů s hybridními pohony, je jednak výhodné z pozitivních dopadů na životní prostředí, ale také z důvodu úspory finančních prostředků na pohonné hmoty. Jak již bylo uvedeno v předchozích kapitolách, spotřeba hybridního rypadla je výrazně nižší než u klasických rypadel a v této kapitole bude tato nižší spotřeba konkrétně vyčíslena na úspoře finančních prostředků za pohonné hmoty při porovnání právě s klasickým rypadlem za 1 rok. Do výpočtu nebudou zahrnovány jakékoli fixní či variabilní náklady nebo náklady na opravy a servis, jelikož se může předpokládat, že tyto hodnoty jsou velmi podobné pro oba stroje.

Nejdříve je třeba si uvést teoretické vstupní hodnoty, se kterými se bude v porovnání počítat. Důležité je uvést, že tyto hodnoty nejsou přesné a nemusí odpovídat realitě, ovšem pro výpočet úspory peněz v závislosti na spotřebě pohonných hmot jsou tyto hodnoty dostačující a výsledek bude mít vypovídající hodnotu, jelikož zadané údaje jsou pro oba stroje totožné. Níže tedy budou uvedeny vstupní údaje doplněné o triviální zkratky, které budou zjednodušovat zápis výpočtu.

- Cena paliva (nafty) [C_p] – 25,70 Kč/l;
- Denní provoz rypadla [DP_r] – 5 h/den;
- Pracovní dny [P_d] – 251 dní/rok;
- Spotřeba pohonných hmot hybridního rypadla [PHM_{hr}] – 6,91 l/mth;
- Spotřeba pohonných hmot klasického rypadla [PHM_{kr}] – 17,34 l/mth.

Nejdříve je zapotřebí vypočítat cenu pohonných hmot za jednu hodinu, kterou označíme jako C_h . Při tomto výpočtu musíme předpokládat, že 1 motohodina rypadel je stejně dlouhá jako 1 klasická hodina. Výsledky jednotlivých cen jsou postupně uspořádány do tabulek č. 10, 11 a 12, aby bylo jasně zřetelné porovnání.

Cena pohonných hmot za jednu hodinu se vypočítá dle vztahu:

$$C_h = C_p \cdot PHM_{hr;kr} \text{ [Kč/h;mth]} \quad (4)$$

Tabulka 10: Cena PHM za hodinu (podle vztahu 4)

Hybridní rypadlo	Klasické rypadlo
$C_{h1} = 25,70 \cdot 6,91 \text{ Kč/h;mth}$	$C_{h2} = 25,70 \cdot 17,34 \text{ Kč/h;mth}$
177,59 Kč/h;mth	445,64 Kč/h;mth

Dále je třeba uvést výpočet, kolik firma vynaloží v rámci 1 dne za pohonné hmoty, což se může označit jako C_d . Při tomto výpočtu byla zvolena délka provozu rypadla na 5 hodin, jelikož se nepředpokládá, že by rypadlo pracovalo nepřetržitě během celé klasické pracovní doby.

Cena pohonných hmot v rámci jednoho dne se vypočítá dle vztahu:

$$C_d = C_h \cdot DP_r \text{ [Kč/den]} \quad (5)$$

Tabulka 11: Cena PHM za den (podle vztahu 5)

Hybridní rypadlo	Klasické rypadlo
$C_{d1} = 177,59 \cdot 5 \text{ Kč/den}$	$C_{d2} = 445,64 \cdot 5 \text{ Kč/den}$
887,94 Kč/den	2228,19 Kč/den

Aby bylo srovnání finančních prostředků za pohonné hmoty úplné a tyto údaje se mohly porovnat v rámci 1 roku, což se může označit jako C_r , stačí již předchozí výsledky vynásobit s počtem dní v roce. Pro počet pracovních dní v roce byla zvolena hodnota 251, což je přesný počet pracovních dní v roce 2019, jelikož i údaje z knihy jízd byly brány převážně z tohoto roku.

Cena pohonných hmot za 1 rok se vypočítá dle vztahu:

$$C_r = C_d \cdot P_d \text{ [Kč/rok]} \quad (6)$$

Tabulka 12: Cena PHM za rok (podle vztahu 6)

Hybridní rypadlo	Klasické rypadlo
$C_{r1} = 887,94 \cdot 251 \text{ Kč/rok}$	$C_{r2} = 2228,19 \cdot 251 \text{ Kč/rok}$
222 871,69 Kč/rok	559 275,69 Kč/rok

Z tohoto srovnání lze vyčíst, že firma by ušetřila téměř 340 000 Kč na pohonných hmotách, kdyby využívala pouze hybridní rypadlo, což za 1 rok není malá částka. Samozřejmě by se do úvahy mohlo vzít i nemalé množství ušetřeného paliva, což je další velkou výhodou, především z kladného dopadu na životní prostředí.

10 Závěr

Hlavním cílem této diplomové práce bylo naměřit a následně porovnat výkonnost hybridního a klasického rypadla. Jednalo se o rypadla od firmy Komatsu, konkrétně o hybrid HB215LC-2 a o klasické PC210LC-5. Důvodem ke zpracování tohoto tématu bylo tedy hlavně to, zda se dokáže hybridní pohon vyrovnat klasickému. V první části této práce byl pomocí literární rešerše zpracován obecný pohled na rypadla včetně jejich historie nebo rozdělení. Také zde byl podrobně popsán princip hybridního pohonu a uvedeny parametry obou rypadel.

Pro samotné výpočty výkonnosti bylo nejdříve zapotřebí vypočítat průměrný čas pracovního cyklu. Z tohoto výpočtu vyšlo, že hybridní rypadlo bylo průměrně o 1,73 sekundy rychlejší. Následný rozdíl ve výkonnosti jednotlivých rypadel byl 5,14 % ve prospěch hybridního rypadla. Konkrétně tedy vyšlo, že hybridní rypadlo pracovalo se skutečnou výkonností $132,93 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ a klasické rypadlo se skutečnou výkonností $126,10 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$, což je rozdíl $6,83 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Pokud by se předpokládalo, že oba stroje pracují ve stejných pracovních podmínkách po stejnou pracovní dobu, tak by byl konkrétní denní rozdíl v objemu vytěžené zeminy (písku) $34,15 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (5 hodin/den), za týden $170,75 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (5 pracovních dnů/týden), za měsíc $751,3 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ (22 pracovních dnů/měsíc) a za rok $9015,6 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Při testování se pracovalo s lopatou o objemu $1,21 \text{ m}^3$, tudíž lze pro lepší představitelnost přepočítat výkonnost na počet pracovních cyklů. V tomto případě tedy vyjde, že hybridní rypadlo by za 1 rok vykonalo o 7451 pracovních cyklů více než rypadlo klasické.

Od firmy Stavoka Hradec Králové a. s. byly dodány knihy jízd obou rypadel, ve kterých byly zapsány informace o čerpání pohonných hmot. Z těchto údajů se tedy dalo relativně přesně vypočítat dlouhodobou spotřebu. Údaje byly brány převážně z roku 2019. Výpočtem vyšlo, že hybridní rypadlo má spotřebu 6,91 litrů na provozní hodinu a klasické rypadlo 17,34 litrů na provozní hodinu, což je 60,15% rozdíl. Toto srovnání není zcela relevantní, jelikož stroje nekonaly vždy stejnou práci, ale i přesto je velice markantní rozdíl. Je tedy otázkou, jakým směrem by se tento rozdíl posunul v případě, kdy by rypadla vykonávala naprosto stejnou práci.

Srovnání hodnot při výpočtu ekonomického zhodnocení opět ukázalo velké rozdíly a potvrdil pozitivní přínos hybridního rypadla. Přes výpočet ceny pohonných hmot za jednu provozní hodinu a výpočtu ceny pohonných hmot za 1 den, se dopracovalo k tomu, že hybridním rypadlem by se ušetřilo téměř 340 000 Kč za rok na pohonných hmotách ve srovnání s klasickým rypadlem. Opět je potřeba podotknout, že do těchto výpočtů se brala dlouhodobá spotřeba z roku 2019.

Ze srovnání všech vypočítaných hodnot tedy vychází, že hybridní rypadlo naprosto předčilo klasické rypadlo. Je důležité podotknout, že hybridní rypadlo je od firmy Komatsu, kde mají vlastní výrobní technologie, které se mohou lišit od technologií jiných výrobců hybridních rypadel. Ovšem z výše uvedených srovnání je patrné, že mají správné technologie, kvůli kterým tato firma sbírá úspěchy v tomto odvětví.

11 Seznam literatury

11.1 Zdroje

- [1] BALCI, Özgün, et al. Numerical and experimental investigation of fuel consumption and CO₂ emission performance for a parallel hybrid vehicle. *Alexandria Engineering Journal*. 60(4/2021). 3649-3667.
- [2] Cab Certifications ROPS/FOPS/TOPS/OPS. *ADC Equipment Innovations* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://adcequipmentinnovations.com/design-process/cab-certifications-rops-fops-tops-ops/>
- [3] ČSN ISO 9245. *Stroje pro zemní práce. Výkonnost stroje. Terminologie, značky a jednotky*. Praha: Český normalizační institut, 2020, 3 s. Třídící znak 27 7505.
- [4] EC300E Hybrid. *Volvo Construction Equipment* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.volvoce.com/europe/en/products/excavators/ec300e-hybrid/#overview>
- [5] GRIMSHAW, Peter N. *The amazing story of excavators*. Wadhurst: KHL Group, 2002. 320 s. ISBN 09-530-2199-8.
- [6] HEŘMÁNEK, Petr. *Stroje a technologie stavebnictví*.
- [7] HOJEK, Josef. *Návrh neseného podkopu za traktor*. Praha, 2017. Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze. Fakulta strojní.
- [8] Hybrid od Komatsu míří až do Antarktidy. *Enviweb* [online]. 16.3.2014 [cit. 2020-11-07]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/98310>
- [9] JEŘÁBEK, Karel, František HELEBRANT, Josef JURMAN a Věra VOŠTOVÁ. *Stroje pro zemní práce; Silniční stroje*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 1995. 464 s. ISBN 80-7078-389-3.
- [10] JONÁŠ, Martin. Centrální mazání stavebních strojů. *Stavební technika* [online]. 5.5.2011 [cit. 2021-04-09]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/centralni-mazani-stavebnich-stroju>
- [11] Komatsu Standard Crawler Excavators HB215LC-2 Hybrid. *Kuhnbohemia.cz* [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://kuhnbohemia.cz/cs/building-machines/products/komatsu/pasova-rypadla/hb215lc-2-hybrid>

- [12] Komatsu Short Tail Swing Crawler Excavators PC228USLC-10. *Kuhnbohemia.cz* [online]. [cit. 2020-12-12]. Dostupné z: <https://kuhnbohemia.cz/cs/building-machines/products/komatsu/pasova-rypadla/pc228uslc-10>
- [13] Komatsu Komtrax. *Kuhnbohemia.cz* [online]. [cit. 2020-11-07]. Dostupné z: <https://kuhnbohemia.cz/cs/building-machines/komatsu-komtrax>
- [14] MEDUNA, Petr. Standardy rychloupínačů pro rypadla aneb jak se v nich vyznat. *Bagry.cz* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: https://bagry.cz/cze/clanky/technika/standardy_rychloupinacu_pro_rypadla_aneb_jak_se_v_nich_vyznat
- [15] Corporate Profile. *Komatsu* [online]. [cit. 2021-01-12]. Dostupné z: <https://home.komatsu/en/company/profile/>
- [16] ROH, Jiří. *Tekutinové mechanismy*. Praha: Vysoká škola zemědělská, 1994. ISBN 80-213-0172-4.
- [17] RYBÁŘ, Jan. Silný fešák je tu. Pásové rýpadlo Hidromek LC 310 nové generace H4 dorazilo do Česka. *Stavební technika* [online]. 30.3.2020 [cit. 2020-11-06]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/silny-fesak-je-tu-pasove-rypadlo-hidromek-lc-310-nove-generace-h4-dorazilo-do-ceska>
- [18] SPRENGER, Christian. Není lžice jako lžice. *Stavební technika* [online]. [cit. 2020-06-16]. Dostupné z: <https://www.stavebni-technika.cz/clanky/neni-lzice-jako-lzice>
- [19] SOBOTKA, Petr. Volvo Construction Equipment uvádí pásové rypadlo s unikátní hybridní technologií. *Stavební technika*. 19(3/2020). Hradec Králové: VEGA, 2020. 74 s. ISSN 1214-6188.
- [20] VANĚK, Antonín. *Strojní technika a technologie zemních prací*. 1. vydání. Praha: Akademie věd České republiky, 2003. 526 s. ISBN 80-200-1045-9
- [21] VANĚK, Antonín. *Strojní zařízení pro stavební práce*. 2. přepracované vydání. Praha: Sobotáles, 1999. ISBN 80-85920-61-1
- [22] Vyhláška č.77/1965 Sb., o výcviku, způsobilosti a registraci obsluh stavebních strojů. In: *Sbírka zákonů*. 26.7.1965. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1965-77>
- [23] ZEMČÍK, František. *Hybridní pásové rypadlo. HB365LC-3*

11.2 Seznam obrázků

Obrázek 1: Konstrukce rypadla - Komatsu HB215LC-2.....	5
Obrázek 2: Jednoduché schéma hydraulické soustavy.....	6
Obrázek 3: Konkrétní hydraulický obvod rypadla.....	8
Obrázek 4: Schéma hybridní technologie od značky Volvo.....	11
Obrázek 5: Hybridní rypadlo Komatsu HB215LC-2.....	12
Obrázek 6: Klasické rypadlo Komatsu PC210LC-5.....	13
Obrázek 7: Konstrukce pásového podvozku.....	15
Obrázek 8: Palubní počítač v hybridním rypadle.....	16
Obrázek 9: Palubní počítač v klasickém rypadle.....	16
Obrázek 10: Jednoduché schéma rozvodu oleje.....	20
Obrázek 11: Umístění kondenzátoru s usměrňovačem.....	20
Obrázek 12: Části hybridního pohonu.....	21
Obrázek 13: Příprava rypadel před měřením.....	28
Obrázek 14: Ideálně zarovnaná lopata.....	29
Obrázek 15: Nabírání materiálu.....	30
Obrázek 16: Procentuální zastoupení jednotlivých fází pracovního cyklu hybridního rypadla.....	37
Obrázek 17: Procentuální zastoupení jednotlivých fází pracovního cyklu klasického rypadla.....	37

11.3 Seznam tabulek

Tabulka 1: Parametry hybridního rypadla	13
Tabulka 2: Parametry klasického rypadla.....	14
Tabulka 3: Přehled o motohodinách, čerpání pohonných hmot a průměrné spotřebě	23
Tabulka 4: Určení koeficientu pro výpočet provozní výkonnosti.....	26
Tabulka 5: Doba pracovních cyklů u hybridního rypadla	31
Tabulka 6: Doba pracovních cyklů u klasického rypadla.....	31
Tabulka 7: Srovnání jednotlivých fází pracovního cyklu.....	31
Tabulka 8: Vstupní hodnoty pro výpočet výkonnosti	33
Tabulka 9: Porovnání vypočítaných hodnot	36
Tabulka 10: Cena PHM za hodinu (podle vztahu 4)	40
Tabulka 11: Cena PHM za den (podle vztahu 5)	40
Tabulka 12: Cena PHM za rok (podle vztahu 6).....	41

12 Přílohy

Příloha 1: Ukázka zpracování dat systémem Komtrax

Výkaz úspory energie | KOMTRAX

Page 1 of 1

KOMATSU

Výkaz úspory energie

KOMTRAX

Kalcit s.r.o.

Model – Typ / Výr. č. HB365LC-3 #K70197
 Č. stroje/zákazníka -
 MTH 2314.7H
 Datum předání (doba od dodání) 23/12/2018 (15)
 Zamě provozu Vranov u Brna, 664 32 Vranov, Czechia

Období výkazu	Pracovní dny	Pracovní doba	Celková spotřeba paliva	Prům. Spotřeba paliva	Spotřebované množství paliva ve skutečné pracovní době	Emise CO2 (celkem za období)
04/2019 - 03/2020	322Den	2025H	32122.5L	15.9N/V	19.9N/V	82.8tun

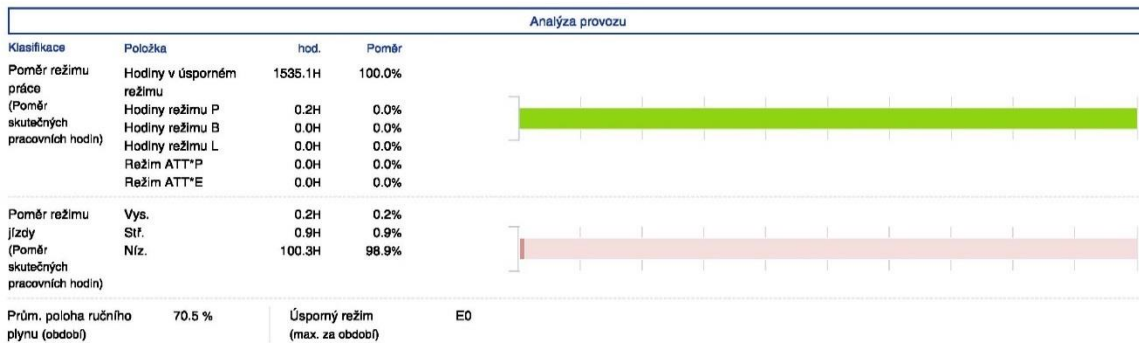
Emise CO2 se rovnají spotřebě paliva vynásobené konstantou (10,8 US tun/kgal). Zobrazené data paliva jsou jen odhad. Od skutečné hodnoty se mohou lišit v závislosti na podmínkách (palivo, počasí, činnost atd.)

Zobrazená data paliva jsou jen odhad. Od skutečné hodnoty se mohou lišit v závislosti na podmínkách (palivo, počasí, činnost atd.)

Poznámka: pokud období výkazu zahrnuje měsíc dodání a/nebo následující měsíc, mohou být hodnota průměrné spotřeby paliva a počtu hodin volnoběhu nesprávné. Porovnáním s denními daty zkontrolujte jejich správnost.



Pro úsporu paliva je vhodné snížit počet hodin volnoběhu a počet hodin jízdy.



Úsporný režim pomáhá šetřit palivo.



Hodiny uvolnění hydrauliky (celkem) 2339.0 min 2.5 %

Záznam návodu	Diuhodobý volnoběh	882 Počet	Automatické zastavení nečinnosti	Hodiny automatického vypnutí při volnoběhu	1.9 H
Ovládání uvolnění hydrauliky		3910 Počet	Počet automatického vypnutí při volnoběhu		36.0 Počet
Doporučení úsporného režimu		0 Počet			
Doporučení jízdy s částečně otevřenou škrtkou klapkou		0 Počet			

Odpovědný DB: Obecný kontakt: Kontakt:

Datum vytvoření: 07/04/2020

Příloha 2: Ukázka knihy jízd

KNIHA STROJE

STŘEDISKA Č.:

VOZIDLO: KOMATSU HB

SPZ : 215LC -2

JMÉNO PRACOVNÍKA: Leoš Kotovic

MĚSÍC: 04/20

den	pracovní cesta stručně průběh	stav. Mth poč.	stav. Mth konec	ujeto Mth	čerpání PHM	čerpání olej	kontrola vozidla
1.	PÍSAK BĚLEC	836	/	/			
2.	PÍSAK BĚLEC	836	843	7			
3.							
4.							
5.							
6.							
7.	PÍSAK BĚLEC	843	845	2			
8.	PÍSAK BĚLEC	845	848	3			
9.	PÍSAK BĚLEC	848	850	2			
10.					50-PHM UVEDO 641 21-32		
11.							
12.							
13.							
14.	PÍSAK BĚLEC	850	/	/			
15.	PÍSAK BĚLEC	850	852	2			
16.	PÍSAK BĚLEC	852	857	5			
17.	PÍSAK BĚLEC	857	863	6	100-PHM UVEDO 641 21-32		
18.							
19.							
20.	PÍSAK BĚLEC	863	869	6			
21.	PÍSAK BĚLEC	869	874	5			
22.	PÍSAK BĚLEC	874	880	6	45-PHM UVEDO 641 21-32		
23.	PÍSAK BĚLEC	880	887	7	150-PHM UVEDO 641 21-32		
24.	PÍSAK BĚLEC	887	891	4			
25.							
26.							
27.	PÍSAK BĚLEC	891	896	5	151-PHM UVEDO 641 21-32		
28.	PÍSAK BĚLEC	896	902	6			
29.	PÍSAK BĚLEC	902	906	4			
30.	PÍSAK BĚLEC	906	911	5			
31.							
CELKEM				75	496		

ODPOVĚDNÝ STAVBYVEDOUČÍ:

KONTROLOVAL:

