VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

KONCEPT HYBRIDNÍHO TELESKOPICKÉHO MANIPULÁTORU S MODULÁRNÍ PLATFORMOU

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR´S THESIS

AUTOR PRÁCE — JAN KREJČÍ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. MIROSLAV ŠKOPÁN, CSc.
SUPERVISOR

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Jan Krejčí

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Stavba strojů a zařízení (2302R016)**

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

Koncept hybridního teleskopického manipulátoru s modulární platformou

v anglickém jazyce:

Concept of hybrid telescopic handler with a modular platform

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte koncept hybridního teleskopického manipulátoru s modulární platformou. Koncept musí zohledňovat zejména tyto aspekty:
1. Rekuperace energie
2. Činnost motoru v optimálním pracovním režimu.
3. Možnost přizpůsobení pracovního stroje aktuálním pracovním činnostem a podmínkám, bezemisní provoz
4. Jednoduchá možnost modernizace stroje

Cíle bakalářské práce:

Technická zpráva obsahující:
- kritická rešerše existujících řešení,
- zdůvodněná koncepce navrženého řešení,
- funkční výpočet vybraných částí zařízení, návrh jednotlivých komponent - dle pokynů vedoucího BP

Výkresová dokumentace obsahující:
- celkovou sestava navrženého zařízení,
- případné podsestavy dle pokynů vedoucího BP.

Seznam odborné literatury:

1. SHIGLEY, J.E. - MISCHKE, Ch.R. - BUDYNAS R.G.: Konstruování strojních součástí, Vydalo VUT v Brně, nakladatelství VUTIUM 2010, ISBN 978-80-214-2629-0
2. ŠKOPÁN, M.: Hydraulické pohony strojů, elektronická skripta VUT v Brně 2009
3. Související ČSN a firemní literatura

Vedoucí bakalářské práce:doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/13.

V Brně, dne 21.11.2012

L.S.

prof. Ing. Václav Píštěk, DrSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce ukazuje možný budoucí vývoj hybridních teleskopických manipulátorů. V první části je proveden přehled a popis jednotlivých technologií, které jsou již dnes využívány u manipulační, transportní a stavební techniky. Druhá část je zaměřena na samotný koncept. Jsou zde zdůvodněny aspekty, proč jsou tyto technologie vhodné právě u teleskopického manipulátoru. Jako nový možný směr vývoje ukazuje modulární stavbu.

KLÍČOVÁ SLOVA

teleskopický manipulátor, hybridní systém, rekuperace energie, modulární platforma

ABSTRACT

This bachelor´s thesis shows the possible future development of hybrid telescopic handlers with modular platform. In the first section is an overview of technologies, which are used in today's manipulation, transport and construction machinery. The second part is focused on the concept which uses described technologies. There are mentioned aspects, why are these technologies useful for the telescopic manipulator. There is shown a modular platform as a new way of designing.

KEYWORDS

telescopic handler, hybrid system, recovery system, modular platform

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KREJČÍ, J. *Koncept hybridního teleskopického manipulátoru s modulární platformou*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 39 s., 4 přílohy. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Miroslav Škopán CSc.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2013 ……..……..

Jméno a přímení

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za jeho rady a připomínky. Dále bych chtěl poděkovat rodičům za podporu při studiu.

OBSAH

Úvod 10

1 Současná produkce 11

1.1 Teleskopické manipulátory 11

1.1.1 Základní Stavba 11

1.1.2 Pohonné ústrojí 11

1.1.3 Hydraulické ústrojí 12

1.2 Elektrický přenos výkonu 12

1.3 Rekuperace energie 13

1.3.1 Akumulace mechanické energie 14

1.3.2 Akumulace energie v tlakovém akumulátoru 15

1.3.3 Akumulace elektrické energie 16

2 Koncept hybridního teleskopického manipulátoru s modulární platformou 18

2.1 Rekuperace energie u teleskopického manipulátoru 18

2.1.1 výpočet energie pro uskladnění v superkapacitoru 19

2.1.2 výpočet kapacity akumulátorů 21

2.2 Elektrický přenos výkonu 23

2.2.1 Použití jednoho elektromotoru 24

2.2.2 Použití více elektromotorů 25

2.3 Modulární platforma, možnost přizpůsobení pracovního stroje aktuálním pracovním činnostem a podmínkám, modernizace 26

2.3.1 Možnost změny režimu pohonného ústrojí 27

2.3.2 Možnost změny konfigurace výměnou modulů 28

2.3.3 Zjednodušení servisních úkonů, možnost dodatečné modernizace stroje, prodloužení životního cyklu výrobku 30

2.4 Nové oblasti použití 31

Závěr 32

Seznam použitých zkratek a symbolů 36

Seznam obrázků 38

Seznam příloh 39

ÚVOD

Teleskopický manipulátor je již téměř 40 let využívaný v zemědělství, stavebnictví, ale i v komunálním odvětví. Rozšířil se hlavně díky své vysoké produktivitě práce zapříčiněné výbornou manévrovatelností, zdvihací kapacitě a dosahu teleskopického výložníku. Další výhodou je vysoká flexibilita tohoto stroje, kterou umožňuje výměnný systém adaptérů. Mezi hlavní výrobce teleskopických manipulátorů patří Caterpillar, Case-New Holland, Claas, Dieci, JCB, John deere, Liebherr, Manitou a Merlo.

Teleskopické manipulátory pracují ve velice proměnném pracovním režimu, plní mnoho činností. Zároveň při manipulaci s materiálem dochází k častým akceleracím a následným zastavením. Tento pracovní režim, kdy motor často pracuje v přechodovém stavu, je velice nepříznivý jak pro spotřebu, emise, tak i životnost motoru.

Tato bakalářská práce se zabývá možnostmi dalšího vývoje teleskopických manipulátorů, které by využívaly jak možnost rekuperace energie, elektrický přenos výkonu, tak i možností přizpůsobení stroje pro jeho pracovní nasazení.

1 SOUČASNÁ PRODUKCE

1.1 TELESKOPICKÉ MANIPULÁTORY

1.1.1 ZÁKLADNÍ STAVBA

Základní částí teleskopického manipulátoru je nosný rám, k němuž jsou upevněny další konstrukční celky jako nápravy, teleskopický výložník, pohonná jednotka na pravé straně a kabina na levé straně ke směru jízdy. Výložník je přichycen v zadní části rámu, kde se také obvykle nachází závaží. Zdvih výložníku zajišťuje přímočarý hydromotor uchycený ke konci první části výložníku, k rámu stroje je uchycen přibližně uprostřed mezi nápravami. Hydromotor ovládající výsun výložníku bývá umístěn buď uvnitř profilu, nebo vně na vrchní straně výložníku. Některé výkonnější typy s větší zdvihací kapacitou jsou vybaveny předními stabilizačními opěrami.

Obr. 1 Stavba teleskopického manipulátoru [1]

1.1.2 POHONNÉ ÚSTROJÍ

V současnosti produkované teleskopické manipulátory disponují čtyřválcovým vznětovým motorem uloženým mezi nápravami na pravé straně. Je umístěn buď příčně, nebo podélně ke směru jízdy. Přenos výkonu je vždy uskutečněn přes automatickou převodovku. Ta využívá buď hydrostatického přenosu výkonu (Merlo, Class), nebo stupňové převodovky s hydrodynamickým měničem (CAT, převážně Manitou). V některých případech je hydrostatický pohon zkombinován i s vícestupňovou převodovkou, kde se buď manuálně,

nebo automaticky řadí jedna nebo více rychlostí pracovního rozsahu a jedna nebo dvě rychlosti pojezdu. Dále je výkon přenášen přes diferenciály na kola. Diferenciály mohou být uzamykatelné nebo s omezenou svorností.

1.1.3 HYDRAULICKÉ ÚSTROJÍ

Hydraulické ústrojí se u jednodušších modelů slabších výkonových kategorií skládá z hydraulického čerpadla s konstantním průtokem. Výkonnější modely disponují hydraulikou typu Load Sensing s variabilním průtokem. Tento systém zajišťuje dostatečný průtok oleje i při nízkých otáčkách motoru, což zlepšuje spotřebu a zároveň v určitých režimech snižuje hluk, který manipulátor produkuje.

Výložník se ovládá pomocí ergonomického pákového ovladače typu joystick. Na něm je umístěno i ovládání jednoho či více vnějších hydraulických okruhů, případně i další tlačítka ovládající např. směr pojezdu, uzávěrku diferenciálu apod.

1.2 ELEKTRICKÝ PŘENOS VÝKONU

Dieselelektrický přenos výkonu se již po mnoho let využívá, a to především u výkonnějších transportních prostředků jako jsou lokomotivy a dampry [2] [3], stále častěji se ovšem používají i u manipulační techniky a stavební techniky, jako například u dozeru Caterpillar D7E.

Obr. 2 Schéma diesel-elektrického přenosu výkonu dozeru Caterpillar D7E [4]

Uspořádání pohonu motor-generátor-elektromotor umožňuje relativně snadnou regulaci i reverzaci chodu, která je prováděna vždy v elektrické části pohonu. Elektrické motory je taktéž možné využívat i pro elektrodynamické brzdění [3]. Další výhodou je poměrně dobrá účinnost přenosu výkonu, která běžně dosahuje přibližně 90% i s regulací. Výhodou je i snadná instalace rekuperačního ústrojí.

Nevýhodou elektrického přenosu výkonu může být nárůst hmotnosti pojezdového ústrojí, což u manipulační techniky není podstatné. Z důvodu vysokého výkonu systému a nutného vysokého elektrického napětí v systému, společně s velkým podílem kovových součástí v konstrukci manipulátoru a provozu stoje v blátivém mokrém terénu, může být elektrický přenos výkonu potenciálně nebezpečný. Při důkladném odizolování a jeho důkladné kontrole v průběhu životnosti stroje je tak možné toto riziko zcela eliminovat. Jedinou nevýhodou tak zůstává vysoká pořizovací cena, a to především z důvodu použití drahé řídící elektroniky - frekvenčních měničů.

1.3 REKUPERACE ENERGIE

Teleskopické manipulátory pracují ve velice proměnném pracovním režimu, plní mnoho činností. Zároveň při manipulaci s materiálem dochází k častým akceleracím a následným zastavením. Tento pracovní režim si vyžaduje častý chod motoru v tzv. přechodovém režimu, který je velice nepříznivý pro spotřebu, emise i životnost motoru. Přechodový režim komplikuje i případný proces regenerace filtru pevných částic DPF (Diesel Particular Filter).

V dnešní době zaznamenáváme jak rostoucí cenu paliv, tak i stále se zpřísňující emisní normy. Plnění nových emisních norem jednak nové stroje činí stále složitější a dražší, tak v důsledku i složitější ze servisního hlediska. Snižování limitů pro emise oxidu dusíku buď obtížně umožňují další snižování spotřeby, nebo si vyžadují použití složitého SCR (Selective Catalytic Reduction) systému a doplňování další provozní kapaliny AdBlue.

Pokud by pohonné ústrojí bylo vybaveno rekuperačním systémem a přenosem výkonu s plynulým převodem, bylo by možné motor provozovat v příznivém režimu chodu a výkonové špičky pokrýt energií dodanou rekuperačním zařízením. To by bylo výhodné jak z hlediska lepší ekonomiky provozu motoru a celého stoje, tak i z hlediska životnosti motoru a nižší produkce emisí.

V případě nutnosti regenerace filtru DPF je potřeba větší zátěže motoru a to po určitou dobu. Rekuperační zařízení by mohlo pomoci motor dotížit a příznivě tak ovlivnit průběh regenerace.

Je zřejmé, že rekuperační zařízení zvyšuje pořizovací cenu stroje. Nicméně na druhou stranu je možné použít spalovací motor nižší výkonové kategorie. Není nutné jej dimenzovat na maximální požadovaný výkon, výkonové špičky jsou pokryty rekuperačním systémem.

Manipulační technika s rekuperací energie se již v dnešní době vyrábí. Jsou to jak elektrické vysokozdvižné vozíky, tak i dieselelektrické vysokozdvižné vozíky, rypadla a manipulátory.

Způsoby akumulace energie jsou buď uskladnění energie v tlakových akumulátorech, nebo v podobě akumulace elektrické energie.

Rekuperace energie je využita i u teleskopického manipulátoru Merlo P41.7 Hybrid. Tento stroj je stále ve fázi vývoje. Je konstruován a vyvíjen za spolupráce firmy Merlo S.p.A. a polytechnické univerzity v Turíně. [5]

1.3.1 AKUMULACE MECHANICKÉ ENERGIE

Akumulaci mechanické energie je možné realizovat pomocí setrvačníku. Jelikož při zpomalování stroje klesá počet otáček kol a zároveň vzrůstají otáčky setrvačníku, je nutné tento systém osadit převodovkou s plynule měnitelným převodem a velkým převodovým poměrem. U manipulační techniky s hydrostatickým pohonem by bylo možné setrvačník roztáčet axiálním pístovým hydromotorem. Při použití elektrického přenosu výkonu by bylo možné použít elektromotor s frekvenčním měničem.

Výhodou tohoto systému je poměrně nízký nárůst hmotnosti, schopnost velkého výdeje a příjmu výkonu (50 až 100kW). Nevýhodou je pak malá skladovací kapacita (v řádu jednotek $Wh.kg^{-1}$) a právě velmi vysoký převodový rozsah, protože otáčky setrvačníku dosahují až 60 000 otáček za minutu. Vliv gyroskopického momentu a bezpečnostní rizika rychle rotujícího setrvačníku by při aplikaci u manipulační techniky, na rozdíl od aplikace u automobilů, neměly význam.

Tento způsob uskladnění energie se již v dnešní době využívá u KERS systémů (Kinetic Energy Recovery System) v závodních automobilech. Do budoucna je plánováno tyto systémy používat i u stavební techniky [6]

Obr. 3 Rekuperační jednotka Williams Hybrid Power[6]

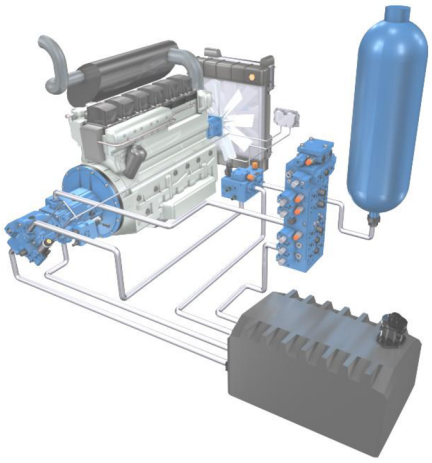
1.3.2 AKUMULACE ENERGIE V TLAKOVÉM AKUMULÁTORU

Energii při brzdění vozidla je možné také uskladnit pomocí tlakového akumulátoru připojeného k hydrostatickému pojezdovému ústrojí. Při brzdění stroje je hydraulická kapalina čerpána do tlakového akumulátoru, což je tlaková láhev se stlačeným dusíkem. K opětovné akceleraci je tlaková energie kapaliny využita k roztáčení hydromotoru.

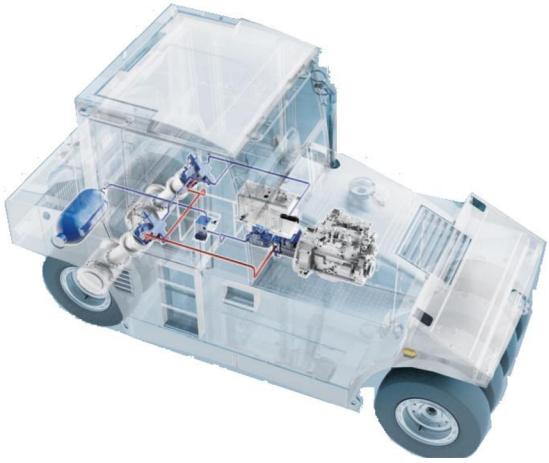
Výhodou systému je možnost vysokého dodávaného i odebíraného špičkového výkonu. Dále je výhodou použití již dnes velkosériově vyráběných segmentů, jednoduchá adaptace a dodatečná instalace.

Nevýhodou uskladnění energie do tlakových akumulátorů je malé množství uskladněné energie, a to jak vzhledem k hmotnosti (přibližně 1 $Wh.kg^{-1}$), tak i k zástavbovým požadavkům tohoto systému. [7]

Aktuálně se ve světě technologií hydrostatické rekuperace brzděním zabývají zejména firmy Bosch Rexroth (systém HFW), Parker a Eaton. Systém je vyvíjen i na Fakultě strojní VUT v Brně. [7]



Obr. 4 Systém HFW (Hydraulic Fly Wheel) od společnosti Bosch Rexroth [9]



Obr. 5 Systém HFW zabudovaný do pneumatikového válce[10]

1.3.3 AKUMULACE ELEKTRICKÉ ENERGIE

Akumulaci elektrické energie je možné provést buď pomocí akumulátorů na bázi chemických článků (na bázi Pb, NiMH, Li-Ion, Li-Pol apod.), nebo na bázi kondenzátorů (superkapacitory). Toto odvětví průmyslu prochází velice rychlým rozvojem a parametry akumulátorů a superkapacitorů se rok od roku zlepšují, a to při současném snižování výrobní ceny. Rozvoj můžeme předpokládat i s rostoucími možnostmi aplikace nanotechnologií.

Různé typy konstrukcí baterií mají rozdílné provozní vlastnosti. Obecně však lze říci, že výhodou akumulátorů je vysoká měrná uskladnitelná energie (běžně v řádu desítek $Wh.kg^{-1}$) a dobré zástavbové požadavky (bráno z hlediska možnosti užití u pracovních strojů). Nevýhodou pak jsou dlouhé doby nabíjení, výkon a kapacita silně závislá na provozní a okolní teplotě, dále je to omezená životnost silně ovlivněná provozním režimem. Problematická je i výroba a recyklace, která je poměrně náročná na životní prostředí. Další podstatnou nevýhodou akumulátorů je vysoká pořizovací cena.

Prodloužení životního cyklu akumulátorů a z toho vyplývající snížení jejich environmentální zátěže je možné docílit tím, že se použitý akumulátor, který už nevyhovuje svými parametry k trakční aplikaci, ještě zužitkuje jako stacionární záložní zdroj energie s menšími kapacitními a výkonovými schopnostmi.

U manipulační techniky se v dnešní době používají především olověné trakční baterie. Jejich výhodou je relativně nízká výrobní cena a dobré výkonové parametry. Jejich životnost

je v řádech stovek cyklů, ale je hodně ovlivnitelná způsobem použití. Vysoká hmotnost není u manipulační techniky na obtíž, naopak může nahradit velkou část jinak potřebného protizávaží. Je ovšem nezbytné zajistit specializovanou ekologickou likvidaci, která je ale v dnešní době dobře technologicky zajistitelná. [11]

Obr. 6 Trakční olověný akumulátor vysokozdvižného vozíku [12]

Dalším způsobem uskladnění elektrické energie je využití Superkapacitorů. Ty mají výhodu v možnosti velkých nabíjecích i vybíjecích výkonů pohybujících se v řádu stovek kW, výborné účinnosti nabíjení i vybíjení, dále ve výborné životnosti (kolem milionu nabíjecích cyklů). Nevýhodou pak je malá měrná kapacita, pohybující se v řádu jednotek $Wh.kg^{-1}$, velké zástavbové požadavky a poměrně velký samovybíjecí efekt.

Superkapacitory, nazývané též ultrakapacitory, mají uplatnění v dopravních prostředcích. Běžně se dnes používají u trolejbusů, hybridních a vodíkových autobusů. [13]

Za zmínku stojí využití superkapacitorů u sériově vyráběného hybridního vysokozdvižného vozíku Still RX 70 Hybrid. Pohonné ústrojí je elektrické (motor-generátor) a energie při brzdění se ukládá právě do dvouvrstvých kondenzátorů umístěných za sedadlem strojníka. [14]

Obr. 7 Hybridní vysokozdvižný vozík Still RX 70 Hybrid [14]

2 KONCEPT HYBRIDNÍHO TELESKOPICKÉHO MANIPULÁTORU S MODULÁRNÍ PLATFORMOU

Předmětem této kapitoly bude koncept nastiňující budoucí možnosti vývoje teleskopických manipulátorů. Tento koncept bude splňovat následující požadavky:

- rekuperace energie
- běh motoru v optimálním režimu
- možnost přizpůsobení (adaptace) pracovního stroje aktuálním pracovním činnostem a podmínkám, bezemisní provoz
- jednoduchá možnost modernizace stroje

Už dnes se vyrábí stroje, které některými uvedenými vlastnostmi disponují. Nejvíce podobný navrhovanému konceptu je teleskopický manipulátor Merlo P41.7 Hybrid zobrazený na obrázku 7. Ten je ovšem zatím ve fázi vývoje a nedisponuje modulární platformou, díky které je možné vyměňovat baterie nebo výměnou modulů měnit vlastnosti stroje.

2.1 REKUPERACE ENERGIE U TELESKOPICKÉHO MANIPULÁTORU

Jako forma rekuperace byl vybrán elektrický způsob, jelikož ten jako jediný při současném stavu poznání reálně umožňuje práci stroje bez běhu spalovacího motoru po delší dobu. Navíc nejsnáze umožňuje použití modulární platformy.

Jak již bylo uvedeno v kapitole 1.3, je více způsobů ukládání elektrické energie. Kvůli tomu, že u manipulační techniky dochází ke zpomalování s vysokou frekvencí, musí akumulátory tuto skutečnost zohledňovat a i přes tuto skutečnost dosahovat dlouhé životnosti. Proto je vhodné, aby energie byla ukládána do:

- superkapacitorů - pro ukládání výkonových špiček při brzdění, pro omezení zkracování životnosti akumulátorů velkým počtem nabíjecích cyklů,
- akumulátorů - pro vykrývání větších výkonových požadavků (výpomoc slabšímu spalovacímu motoru) po delší dobu (jízda do kopce, tažení vleku, hrnutí materiálu), pro práci s vypnutým spalovacím motorem.

2.1.1 VÝPOČET ENERGIE PRO USKLADNĚNÍ V SUPERKAPACITORU

Pro správnou volbu superkapacitoru pro uskladnění energie při brzdění je použit vztah pro výpočet kinetické energie:

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}I\omega^2\ [J], [kWh]$$

Pro zjednodušení výpočtu budou zanedbány odpory (valivé, účinnost elektrického ústrojí). Parametry manipulátoru:

Hmotnost manipulátoru $\mathrm{m} = 8\,000$ kg

Rychlost $\mathrm{v} = 10\ \mathrm{m.s^{-1}}$

Odhad momentu setrvačnosti ráfku s pneumatikou ($M = 150\ kg$, poloměr kola $R = 0{,}6\ m$, spojitě rozložená hmota):

$$I = \frac{1}{2}M.R^2 = \frac{1}{2}150.0{,}6^2 = 27kg.m^2$$

Otáčky kol (pneu 405/70-R24) $\omega = 16{,}6\ rad.s^{-1}$

$$Ek = \frac{1}{2}mv^2 + 4.\frac{1}{2}I\omega^2$$

$$Ek = \frac{1}{2}.8\,000.10^2 + 4.\frac{1}{2}.27.16{,}6^2$$

$$Ek = 400\,000 + 14\,880$$

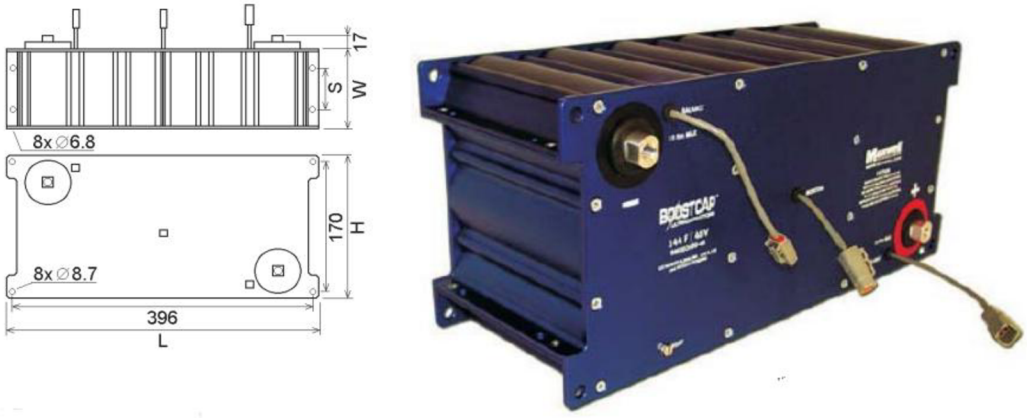
$$Ek = 414\,880\,J = 0{,}115kWh$$

Pro uskladnění energie při snižování břemene, jízdu s břemenem, jízdu z kopce apod. by bylo vhodné počítat s určitou rezervou, nicméně vzhledem k nezapočítání ztrát není kapacitní rezerva nezbytná. Pro zajištění krátkodobého uskladnění špičkové energie je možné zvolit superkapacitor o kapacitě přibližně 0,1 až 0,15 kWh.

Pokud by byla kapacita pro uskladnění energie do superkapacitorů překročena, další ukládání by se provádělo buď do akumulátorů, nebo by se energie zmařila v odporech v závislosti

na aktuálních možnostech akumulátorů a s ohledem na zachování jejich dobré životnosti. Dále by bylo možné použít mechanických brzd, které jsou nezbytné jednak při dobrzďovaní, tak zároveň plní funkci parkovací brzdy a záložního brzdného systému při selhání elektrických systémů.

Pro tyto účely je možné zvolit blok superkapacitorů, podobně jako je níže uvedený blok Maxwell BMOD 0165 E048 B01-A01. Pro dosažení požadovaných parametrů je nutné zvolit 2 až 3 takovéto bloky. [15]



Obr. 8 Blok Superkapacitorů Maxwell BMOD 0165 E048 B01-A01 [15]

Parametry bloku superkapacitorů Maxwell BMOD 0165 E048 B01-A01 jsou uvedeny v následující tabulce.

Tabulka 1 Parametry bloku superkapacitorů Maxwell BMOD 0165 E048 B01-A01 [15]

	Napětí [V]	Uložená energie [Wh]	Špičkový výkon dodaný do zátěže [kW]	Hmotnost [kg]
Parametry na 1 kg hmotnosti		3,81	6,6	1
Parametry jednoho bloku	48,6	54,1	93,72	14,2

Životnost bloku superkapacitorů BMOD 0165 E048 B01-A01 je udána jako 1 000 000 cyklů. Tato životnost je definována jako snížení kapacity na 80% jmenovité kapacity nebo zvýšení

sériového odporu na dvojnásobek původní hodnoty. Provozní teplota je -40 až +65°C. Pořizovací cena jednoho bloku superkapacitorů u distributora JL Elektronik činí 1 829 Eur bez DPH (stav v květnu 2013), přičemž pro výrobce odebírajícího velké množství je možné očekávat prodejní cenu o desítky procent nižší.

2.1.2 VÝPOČET KAPACITY AKUMULÁTORŮ

Akumulátory by zajišťovaly požadavek většího výkonu po delší dobu nebo bezemisní provoz s vypnutým spalovacím motorem. Jelikož cena akumulátorů je poměrně vysoká, bylo by vhodné zahrnout určitou kapacitu v rámci sériové výbavy a nad její rámec nabídnout větší kapacitu pro zajištění vyššího výkonu po delší dobu, nebo pro delší práci s vypnutým spalovacím motorem. Pro odhad nutné minimální kapacity je třeba zohlednit tato dvě kritéria:

- potřeba maximálního výkonu P_{max} *50kW* po dobu *10 min.* (např. jízda do kopce, tažení přívěsu, hrnutí materiálu apod.)

  $E_{10min} = P_{max}.t_{10min}$

  $E_{10min} = 50.600 = 30\,000\,kJ = 8{,}33kWh$

- práce po dobu jedné hodiny, ekvivalentní provozu manipulátoru s dieselovým motorem se spotřebou motorové nafty

  $M_{ph} = 7l.hod^{-1} = 5{,}88kg.hod^{-1}$

  Přibližná měrná spotřeba paliva při běhu motoru v proměnném režimu je:

  $m_{Pi} = 300g.kW^{-1}.hod^{-1} = 0{,}3kg.kW^{-1}.hod^{-1}$

  $E_{1hod} = \frac{M_{ph}}{m_{Pi}} = \frac{5{,}88}{0{,}3} = 19{,}6kWh$

  Pokud od vypočtené hodinové spotřeby odečteme 30% jako úsporu vlivem rekuperace a úsporu díky absenci motoru běžícího naprázdno, kapacita akumulátoru potřebná na jednu hodinu je:

  $E_{1hod\,ac} = E_{1hod}.0{,}7 = 19{,}6.0{,}7 = 13{,}72kWhod$

Tyto vypočtené kapacity pro superkapacitory s akumulátory jsou plánovány jako součást sériové výbavy. Další akumulátory je možné zahrnout jako prvek nadstandardní výbavy. Kdyby provozovatel požadoval po manipulátoru např. 3 hod. provozu bez zapnutého

motoru, mohl by si k základnímu akumulátoru připlatit další o kapacitě 2x 13,72 kWh, výsledná celková kapacita přes 40 kWh by měla k tomuto úkolu postačovat.

Volbu typu akumulátoru je možné nechat na zákazníkovi, na jeho finančních možnostech a v závislosti na plánovaném využití stroje. Jiné požadavky má zákazník, který používá stroj převážně ve skladovací hale, a zákazník používající stroj v zemědělství k tahání vleku v kopcovitém reliéfu. Tomu odpovídají i jiné nároky na špičkový, minutový nebo hodinový maximální výkon.

V dnešní době se u manipulační techniky používají hlavně olověné trakční akumulátory. Jejich vysoká hmotnost vzhledem ke zdvihací kapacitě stroje a nutnosti zajištění jeho stability není překážkou. Výhodou olověných trakčních akumulátorů je především jejich příznivá cena. Při vypočtené požadované kapacitě a daném výkonu je pořizovací cena takového akumulátoru přibližně kolem 100 000 Kč.

Bylo by možné použít i modernějších typů baterií s větší měrnou kapacitou, lepší účinností a delší životností. Tyto nároky můžou splňovat akumulátory typu NiMH, Li-Ion nebo LiFePO4/LiFeYPO4. Nicméně je nutné počítat s podstatně vyšší pořizovací cenou. Při vypočtené požadované kapacitě a požadovaném výkonu se pořizovací cena pohybuje kolem 200 000Kč. Vývoj ale postupuje dopředu a s větší výrobou elektromobilů se dá předpokládat pokles výrobních nákladů těchto typů akumulátorů.

Obr. 9 Akumulátory LiFePO4 [16]

2.2 ELEKTRICKÝ PŘENOS VÝKONU

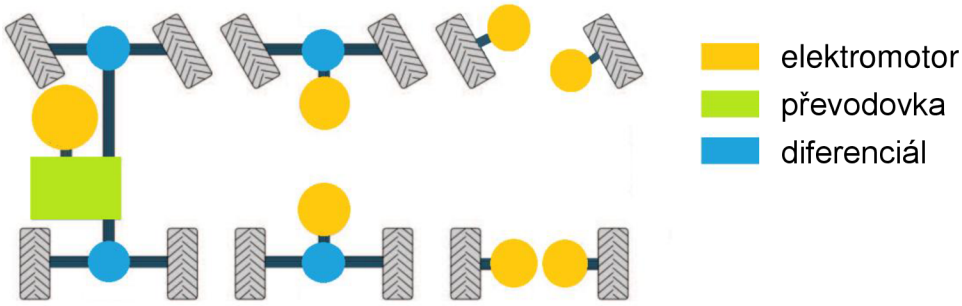
Výhody elektrického přenosu výkonu byly popsány v kapitole 1.2. Pro přenos výkonu u konceptu manipulátoru byla tato forma pohonu zvolena z více důvodů. Jedním z nich je velmi dobrá účinnost přenosu výkonu, a to i v proměnných režimech, které manipulace s materiálem obnáší. Dále je tento způsob pohonu zřejmě nejjednodušší pro zakomponování systému pro rekuperaci energie. Dalším důvodem pro volbu elektrického pohonu je výhodnost pro modulární stavbu, která je popisována v kapitole 2.3. Výhodnost této formy přenosu výkonu dokazuje i fakt, že se používá i u vysokozdvižného vozíku Still RX 70 Hybrid, u prototypu manipulátoru Merlo P41.7 Hybrid a švýcarského traktoru Rigitrac. Je zřejmé, že elektrický přenos výkonu bude u manipulační, stavební a zemědělské techniky používán čím dál častěji.

Obr. 10 Hybridní vysokozdvižný vozík Still RX 70 Hybrid s elektrickým přenosem výkonu[14]

Obr. 11 Hybridní teleskopický manipulátor Merlo P41.7 Hybrid s elektrickým přenosem výkonu [17]

Obr. 12 Traktor RIGITRAC s pohonem všech kol elektromotory [18]

Pohon je možné konfigurovat více způsoby. Tři možné způsoby elektrického pohonu jsou zobrazeny na následujícím obrázku.



Obr. 13 Možnosti uspořádání elektrického pohonu

Kromě vyobrazených variant je možné použít ještě několik dalších způsobů. Například lze pohon jedné nápravy zajistit elektromotorem s použitím diferenciálu, u druhé nápravy pak pohánět každé kolo vlastním elektromotorem. Nebo je možné použít u každého kola jednoho elektromotoru napevno uloženého v rámu a krouticí moment přenášet pomocí kloubových hřídelů.

Každé provedení pohonného ústrojí má své výhody a nevýhody.

2.2.1 POUŽITÍ JEDNOHO ELEKTROMOTORU

Výhodou použití jednoho elektromotoru je nejmenší potřebný instalovaný výkon rovnající se maximálnímu výkonu pohonné soustavy. V případě, že je pouze jedno kolo na povrchu s dobrou adhezí, tak je možné přenést všechen nebo téměř všechen výkon právě na něj. Nutností ovšem je přítomnost diferenciálů s uzávěrkou, případně s omezenou svorností.

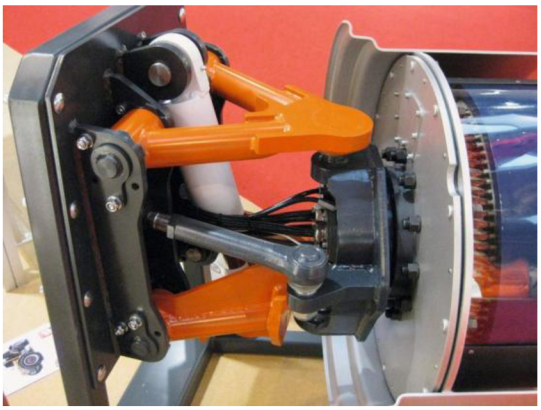
Nevýhodou pak je potřeba dvou až třech diferenciálů s uzávěrkou nebo s omezenou svorností a více kloubových hřídelů. To s sebou nese určité ztráty a opotřebení pneumatik, které jsou větší při absenci mezinápravového diferenciálu, nebo při nesprávném nastavení a použití diferenciálů s omezenou svorností či uzávěrkou. Dále si tato konfigurace vyžaduje větší potřebu olejových náplní, mazání a údržby. Nevýhodou je i větší možnost kontaminace vody a půdy mazacími produkty.

2.2.2 POUŽITÍ VÍCE ELEKTROMOTORŮ

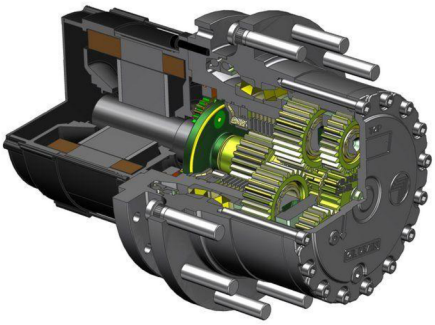
Pokud je použit pro každé kolo jeden elektromotor, není potřeba žádných diferenciálů a kloubových hřídelů. Někdy je elektromotor spojen s koncovým převodem, potom je třeba převodový olej, jinak je tato konfigurace prakticky bezúdržbová a údržba a mazání se provádí pouze na prvcích zavěšení. Tato konfigurace dále umožňuje výbornou manévrovatelnost, minimalizuje opotřebení pneumatik a eliminuje poškozování půdy. Je také možné při regenerativním brzdění i při akceleraci redistribuovat patřičný moment na každé kolo zvlášť a zajistit tak lepší ovladatelnost a bezpečnost provozu. Použití elektromotoru v náboji kola je příznivější z pohledu zástavbových požadavků na pohonné ústrojí. Jelikož odpadá nutnost klasické nápravy s diferenciálem uprostřed, manipulátor může disponovat buď lepší světlou výškou, nebo při jejím zachování dosáhnout nižšího těžiště a z toho plynoucí lepší stability stroje. Jednodušší je i zakomponování systému vyrovnávání náklonů nebo použití odpružení, které u dnešních manipulátorů schází (je zajištěno pouze pneumatikami). Bylo by možné použít nezávislé zavěšení všech kol s hydropneumatickým odpružením, a při manipulaci s těžkým materiálem tuto funkci omezit, nebo zcela blokovat hydraulickými prvky. U zadní nápravy je ovšem nutné umožnit výkyv, v případě nezávislého zavěšení kol nutně synchronizovaný přes hydraulické vedení. To je nezbytné pro zajištění neustálého kontaktu všech kol se zemí.

Nevýhodou použití jednoho elektromotoru ke každému kolu je potřeba o něco většího instalovaného výkonu, než je maximální výkon celé pohonné soustavy. Dále je potřebné složitější řízení elektrických motorů.

Pokud jde o výrobní náklady, tak v současnosti jsou motory v náboji poměrně novou technologií, která určitě nebude levnou záležitostí. S postupem času s narůstající výrobou ovšem určitě dojde k poklesu ceny.



Obr. 14 Elektromotor v náboji kola Rigitrac [19]



Obr. 15 Elektromotor v náboji kola BONFIGLIOLI pro pohon vozidel o hmotnosti 7 až 20t [20]

Pro koncept manipulátoru je vybrána varianta se čtyřmi elektromotory, a to pro nesporné výhody této konfigurace. V budoucnu bude tato varianta stále více používána. U konceptu hybridního teleskopického manipulátoru s modulární platformou je výhodou i lepší možnost výměny komponentů u modulární platformy, zvláště výměny akumulátorů.

2.3 MODULÁRNÍ PLATFORMA, MOŽNOST PŘIZPŮSOBENÍ PRACOVNÍHO STROJE AKTUÁLNÍM PRACOVNÍM ČINNOSTEM A PODMÍNKÁM, MODERNIZACE

Technologie uvedené výše se už u manipulační techniky v různých podobách začínají objevovat. Ovšem dosud nepoužívaná je modulární platforma.

U elektrických vysokozdvižných vozíků se výměnný systém modulů obsahujících akumulátory už po dlouhou dobu využívá. Ovšem vyměňují se pouze akumulátory vybité za nabité. Nedochází k výměně za jiné typy modulů a adaptaci na jiný typ použití. Výměnný systém používaný u elektrických vysokozdvižných vozíků je zobrazen na následujícím obrázku.

Obr. 16 Výměnný systém modulu baterií u vysokozdvižného vozíku Still RX 60 [14]

U konceptu manipulátoru je možné režim chodu pohonného ústrojí měnit dvěma způsoby. V prvním případě lze upravovat způsob provozu manuálně přepnutím režimu provozu strojníkem, případně může být zvolen automatický režim. Ve druhém případě by byla možnost přizpůsobit vlastnosti změnou konfigurace manipulátoru, vyplývající z jeho požadovaného pracovního nasazení. To umožňuje výměnný systém modulů.

2.3.1 MOŽNOST ZMĚNY REŽIMU POHONNÉHO ÚSTROJÍ

Možnost změny režimu pohonného ústrojí lze přenechat zcela na automatickém řízení, nebo je možné jej ovlivnit manuálním zásahem strojníka. Manuální řízení umožňuje zvolit, zda bude pracovat kombinace spalovacího motoru a na jaký výkon spalovací motor bude běžet, nebo je možné jej vypnout a stroj provozovat v čistě elektrickém režimu.

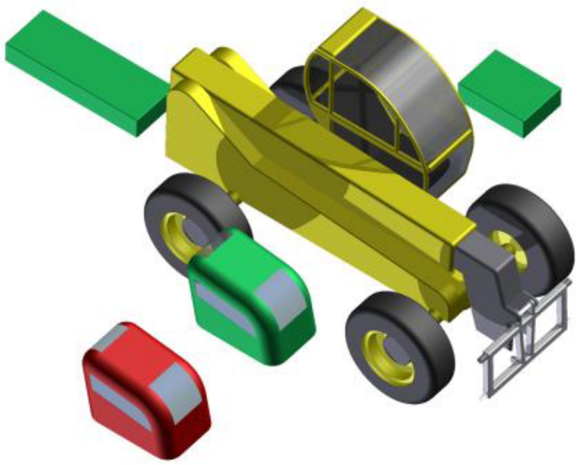
Při aktivovaném automatickém řízení systém neustále sleduje typ práce a maximálně využívá vlastností pohonného ústrojí pro dosažení optimální výkonnosti, spotřeby paliva a životnosti všech komponent (akumulátory, turbodmychadlo,…). Strojníkem může být navoleno, zda má systém spíše preferovat spotřebu paliva, výkonnost nebo kompromis mezi nimi. Systém může obsahovat i systém Start-Stop a spalovací motor vypínat v případě, kdy není potřeba. Automatický systém může brát v potaz i pozici GPS a motor vypínat při vjezdu do předem navoleného prostoru. Další možností je vypínání při průjezdu kolem vysílacího zařízení umístěného u vjezdu do haly.

Ovšem automatický režim nemůže zohledňovat všechny okolnosti, je vhodné zanechat možnost manuální volby. Typické manuální zásahy do ovládání pohonného systému jsou:

- vypnutí spalovacího motoru, plně elektrický provoz bez emisí výfukových i hlukových (režim vhodný při práci v uzavřených halách, využití zbývající energie uskladněné v akumulátorech před koncem směny, při údržbě veřejných prostranství obcí v nočních hodinách apod.),
- trvalé zapnutí spalovacího motoru a zvýšení jeho výkonu (vhodné například při očekávání větší zátěže - před dlouhým stoupáním, těžkou prací apod.),
- regenerace filtru pevných částic DPF (Je aktivována po signalizaci systémem, pokud strojník uzná vzhledem k rozvržení práce za vhodné ji aktivovat. Při tomto režimu pohonného ústrojí i při potřebě menšího výkonu nezhasne motor. Naopak jej ponechává v chodu a v optimálním režimu pro tento proces, případně jej dotíží dobíjením akumulátorů.).

2.3.2 MOŽNOST ZMĚNY KONFIGURACE VÝMĚNOU MODULŮ

Druhý způsob adaptace na právě prováděnou činnost spočívá ve výměně jednotlivých modulů. Konstrukce adaptovatelného manipulátoru by se skládala ze základního rámu s podvozkem, kabinou s hydraulickým ústrojím a výložníkem. Další součásti, jako je spalovací motor s generátorem, nádrž s palivem a akumulátory, jsou uloženy v jednoduše vyměnitelných modulech. Jeden modul je umístěn v levé části, další v zadní části na podvozku a třetí pod kabinou.

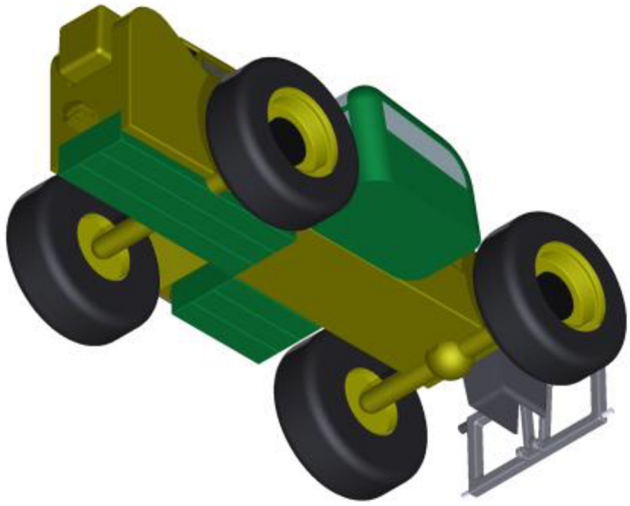


Obr. 17 Modulární koncepce. Modul se spalovacím motorem červeně, moduly akumulátorů zeleně

Modulární koncepce umožňuje především jednoduchou konverzi mezi hybridním dieselelektrickým uspořádáním a plně elektrickou konfigurací. Dále pak jednoduše umožňuje výměnu vybitých akumulátorů za nabité, pokud je po manipulátoru vyžadován elektrický provoz a zároveň není možné akceptovat prostoje způsobené jejich poměrně časově náročným nabíjením.

Uvedený systém umožňuje provozovateli možnost konfigurace komponent jak při pořízení stroje pro neměnné trvalé nasazení, tak i změnu způsobu pohonu podle rozličných požadavků u provozovatele s rozdílnými nároky.

Například v jednom pracovním dni by provozovatel rozhodl, že manipulátor bude nasazen na manipulaci v uzavřených prostorách a že bude možnost akumulátory průběžně dobíjet, vyměňovat v dokovací stanici, případně že akumulátory vydrží celou směnu. V tomto případě manipulátor umožňuje odejmout modul obsahující spalovací motor s nádrží a s generátorem, místo něj potom připojit modul s dalšími akumulátory. Při následné činnosti zahrnující práci na poli s velkými přejezdy a z toho vyplývající malou možností rekuperace by byla možnost manipulátor vybavit místo modulu obsahujícího velký akumulátor opět modulem se spalovacím motorem.



Obr. 18 Rozložení akumulátorů (zeleně) při plně elektrické konfiguraci (pohled zespoda)

Strategie prodeje by měla umožňovat velkou přizpůsobitelnost vzhledem k náplni práce zákazníka. Například někteří zákazníci si spalovací motor ani nezakoupí z důvodu, že jim postačí pouze akumulátory a dokovací stanice na jejich výměnu a dobíjení. Kdyby u takového zákazníka nastala potřeba delšího provozu, který není možné zajistit pouze akumulátory, může si provozovatel modul obsahující spalovací motor dodatečně dokoupit, případně pouze zapůjčit od prodejce nebo půjčovny.

2.3.3 Zjednodušení servisních úkonů, možnost dodatečné modernizace stroje, prodloužení životního cyklu výrobku

Výhodou modulární koncepce je zjednodušení servisních úkonů. Například pokud dojde k poruše motoru, servisní podpora může dovézt k zákazníkovi náhradní modul obsahující motor a nefunkční motor odvézt na opravu. Modulární koncepce by díky možnosti odejmutí modulů také zajišťovala snazší dostupnost k jinak těžce přístupným porouchaným součástem.

Při použití elektrického přenosu výkonu je možné očekávat snížení servisních nákladů. To je zapříčiněno menším obsahem olejové náplně, jelikož hydraulicky by byl řešen jen pohyb teleskopického ramene a systém řízení. Životnost elektromotorů je navíc poměrně dlouhá. V důsledku rekuperace brzdné energie by také byla delší životnost brzdového obložení.

Modulární stavba manipulátoru umožňuje racionalizaci životního cyklu výrobku. Umožňuje v průběhu životnosti šasi s teleskopickým ramenem, která je poměrně dlouhá, jednoduše obměňovat a modernizovat fyzicky či morálně zestárlé součásti. Například pokud dojde ke snížení kapacity akumulátoru pod únosnou mez, jednoduše se nahradí starý modul za nový, obsahující akumulátor s ještě lepšími parametry. Pokud by došlo k náhlému neúnosnému nárůstu ceny motorové nafty, majitel odprodá dieselový motor a zakoupí modul s pohonem a nádržemi na LPG, CNG, nebo v budoucnu třeba i modul s palivovými články a kryogenními zásobníky na vodík.

Program průběžné modernizace a repase použitých strojů se za účelem ekonomicky výhodného a pro životní prostředí šetrnějšího prodloužení životního cyklu výrobku u manipulační techniky poměrně hojně využívá už dnes. Buď je realizován formou pronájmu strojů na operativní leasing, nebo výrobci odkupují použitou techniku. Tu následně podrobí kontrole, vymění součásti porouchané, součásti podléhající opotřebení a přímo ovlivňující

bezpečnost. Následně tyto stroje opět prodají za výhodných podmínek a s poskytnutím určité garance. Tyto programy mají všichni velcí výrobci, jako jsou Jungheinrich, Still a Toyota. Modulární platforma s možností výměny modulů by tento proces ještě dále zjednodušila.

2.4 NOVÉ OBLASTI POUŽITÍ

Manipulátor disponující uvedenými technologiemi může být nasazen i v aplikacích, které dnešní teleskopické manipulátory neumožňují. Díky elektrickému přenosu výkonu je možné:

- umístit u upínacího rozhraní na výložníku výkonovou elektrickou zásuvku a pohánět tak s lepší účinností nové typy adaptérů (např. elektrický robotický zastřihovač větví podél cest, jiné nové robotické adaptéry, osvětlovací techniku apod.),
- použít vysokozdvižnou plošinu se silovou elektrickou přípojkou,
- použít manipulátor jako elektrocentrálu s trvalým výkonem 50 kW a nárazově ještě vyšším (využitelnost především na stavbě, při nasazení po živelných pohromách, v armádě).

ZÁVĚR

Při vývoji nových teleskopických manipulátorů je nutné klást velký důraz na snižování spotřeby a menší produkci emisí. Dále bude od těchto strojů vyžadována větší produktivita práce a nové možnosti využití.

Koncept teleskopického manipulátoru uvedený v této bakalářské práci environmentální zátěž snižuje a současně zlepšuje ekonomiku provozu a produktivitu práce. Možnosti využití jsou větší, a to především díky modulární platformě. Ta umožňuje přizpůsobení manipulátoru aktuálním pracovním podmínkám. Větší možnost využití vyplývá také z elektrického přenosu výkonu. Díky němu je možné manipulátor použít i jako elektrocentrálu.

Právě větší využitelnost stroje díky modulární platformě a z ní vyplývající možnosti přizpůsobení manipulátoru aktuálním pracovním podmínkám by mohla zajistit výrobci větší prodeje. Větší zájem o manipulátory může být nejen od současných provozovatelů strojů, jako je stavební průmysl a zemědělství, ale nově by se mohly tyto stroje uplatnit například i u hasičských jednotek, komunálních služeb, energetiků a případně i u zásobovacích jednotek v armádě.

Je zřejmé, že použití technologií jako je rekuperace energie, elektrický přenos výkonu a modulární platforma by nepochybně zvýšilo výrobní náklady a z toho plynoucí pořizovací cenu stroje. Nicméně u jistých komponent by bylo možné výrobní náklady naopak snížit, například použitím méně výkonného spalovacího motoru, použitím jednoduššího systému na snižování emisí, jednoduššího hydraulického systému a podobně. Vyšší pořizovací náklady by uživateli kompenzovalo dosažení nižší spotřeby pohonných hmot, delší životnost, snazší možnost repase a modernizace a větší využitelnost stroje.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

[1] AGRALL zemědělská technika a.s. *Prospekt nakladače Claas Scorpion.* [online]. [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: http://www.agrall.cz/produkt/96/scorpion

[2] HEJHÁLEK, J. Největší dampry na světě. *Těžební stroje*: *Stroje a zařízení pro těžbu, zpracování, dopravu a recyklaci surovin*. Praha: Vega s.r.o, 2013, roč. 2013, č. 1, s. 12-13. ISSN 1805-6776.

[3] Dieselová lokomotiva. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2013-05-3]. Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Dieselov%C3%A1_lokomotiva

[4] FÜZEK, P. Hybridní buldozer Caterpillar. *Hybrid.cz*. [online]. [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: http://www.hybrid.cz/clanky/hybridni-buldozer-caterpillar

[5] HEJHÁLKOVÁ, H. Merlo na Bauma 2010 a jeho novinky. *Staveni technika:stroje, manipulační technika, nářadí, nástroje, lešení, bednění* [online]. [cit. 2013-03-10]. Dostupné z: http://stavebni-technika.cz/clanky/merlo-na-bauma-2010-a-jeho-novinky/

[6] Applications construction. *Williams hybrid power*. [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.williamshybridpower.com/applications/cars/#%2Fapplications%2Fconstruction

[7] STODOLÁK, M. Hydromobil – návrh mechanicko-hydraulické rekuperace kinetické energie automobilu. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 70 s. Vedoucí diplomové práce prof. RNDr. Ing. Josef Nevrlý, CSc.

[8] Stavební stroje. *Bosch Rexroth* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.cz/industries/a_min/construction_min/cs/index.jsp?oid=576684

[9] BlueHydraulics for forestry machinery: Energy saving, Efficiency raising, Emissions controlled. *Press Relase Rexroth Bosch Group*. [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.ca/country_units/america/canada/en/company/20_news_press/product_information2/brm_news/sept10_blue_hydraulics/rexroth_blue_hydraulics.pdf

[10] Hydraulic Fly Wheel HFW. *Rexroth Bosch Group* [online]. [cit. 2013-05-08]. Dostupné z: http://www.boschrexroth.com/en/xc/products/systems/mobile_hydraulics_systems/hfw/hfw_video/index2

[11] HLADIŠ, V. Akumulátory pro nezávislou trakci. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2012. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Procházka, Ph.D.

[12] Trakční baterie. *Bater* [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.cs.bater.pl/

[13] První vodíkový autobus v ČR. *Science World* [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.scienceworld.cz/technologie/prvni-vodikovy-autobus-v-cr-4982/

[14] Still RX 70 Hybrid. *Still.cz* [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.still.cz/rx70_hybrid-cz.0.0.html

[15] Superkapacitory Maxwell technologies. *JL eletronik* [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.jlelektronik.sk/produkty-databaza/4.Pas%EDvne%20S%FA%E8iastky/superkapacitory%20maxwell.pdf

[16] Trakční baterie. *Battery.cz* [online]. [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: http://www.battery.cz/

[17] Merlo leger fortsat med hybrid teleskoplæsser. *Maskinbladet.dk* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.maskinbladet.dk/artikel/merlo-leger-fortsat-med-hybrid-teleskoplaesser

[18] Award-winning vehicles with REO braking rezistor BWD 330. *Reo* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.reo.de/index.php?id=254&L=7&tx_ttnews%5Btt_news%5D=71&cHash=14cd300e4e18429ed9a98e7ad7c8223a

[19] Synchromotor im Schlepperrad Antriebtechnik. *K-magazine* [online]. [cit. 2013-05-05]. Dostupné z: http://www.k-magazin.de/index.cfm?pid=1935&pk=117463&img=121453&o=3&p=1#imgview

[20] KOČÍ, M. Sima 2013 ceny za inovace. *Agro-techweb* [online]. [cit. 2013-05-20]. Dostupné z: http://www.agro-techweb.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=3022:sima-2013-ceny-za-inovace&catid=38&Itemid=53

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

CNG	Compressed Natural Gas – Stlačený zemní plyn
DPF	Diesel Particular Filter
GPS	Global Position System
HFW	Hydraulic Fly Wheel
HP	Horse Power
kW	kilowatt
kWh	kilowatthodina
Li-Ion	Lithium-iontový akumulátor
LPG	Liquid Petroleum Gas – Zkapalněný propan-butanový plyn
Li-Pol	Lithium-polymerový akumulátor
mth	motohodina
NiMH	Nikl-metal hydridový akumulátor
Pb	Olovo (olověný akumulátor)
SCR	Selective Catalytic Reduction
VUT	Vysoké Učení Technické
Wh	Watthodina
$Wh.kg^{-1}$	Watthodina na kilogram váhy akumulátoru

SEZNAM POUŽITÝCH VELIČIN

Ek	$[J], [Wh]$	Kinetická energie
E_{10min}	$[J], [Wh]$	Energie potřebná na 10 min. práce při potřebě výkonu 50kW
E_{1hod}	$[J], [Wh]$	Energie potřebná na 1 hod. běžného provozu bez rekuperace
$E_{1hod\ ac}$	$[J], [Wh]$	Energie uskladněná v akumulátoru pro 1 hod. provozu s rekuperací
I	$[kg.m^2]$	Moment setrvačnosti
m	$[Kg]$	Hmotnost
m_{pi}	$[kg.kW^{-1}.\ hod^{-1}]$	Měrná spotřeba paliva při běhu motoru v proměnném režimu
M_{ph}	$[l\ .\ hod^{-1}], [kg\ .\ hod^{-1}]$	Spotřeba paliva za 1 hod.
v	$[m.s^{-1}]$	Rychlost
ω	$[rad\ .\ s^{-1}]$	Úhlová rychlost

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Stavba teleskopického manipulátoru [1] 11
Obr. 2 Schéma diesel-elektrického přenosu výkonu dozeru Caterpillar D7E [4] 12
Obr. 3 Rekuperační jednotka Williams Hybrid Power[6] 15
Obr. 4 Systém HFW (Hydraulic Fly Wheel) od společnosti Bosch Rexroth [9] 16
Obr. 5 Systém HFW zabudovaný do pneumatikového válce[10] 16
Obr. 6 Trakční olověný akumulátor vysokozdvižného vozíku [12] 17
Obr. 7 Hybridní vysokozdvižný vozík Still RX 70 Hybrid [14] 17
Obr. 8 Blok Superkapacitorů Maxwell BMOD 0165 E048 B01-A01 [15] 20
Obr. 9 Akumulátory LiFePO4 [16] 22
Obr. 10 Hybridní vysokozdvižný vozík Still RX 70 Hybrid s elektrickým přenosem výkonu[14] 23
Obr. 11 Hybridní teleskopický manipulátor Merlo P41.7 Hybrid s elektrickým přenosem výkonu [17] 23
Obr. 12 Traktor RIGITRAC s pohonem všech kol elektromotory [18] 23
Obr. 13 Možnosti uspořádání elektrického pohonu 24
Obr. 14 Elektromotor v náboji kola Rigitrac [19] 26
Obr. 15 Elektromotor v náboji kola BONFIGLIOLI pro pohon vozidel o hmotnosti 7 až 20t [20] 26
Obr. 16 Výměnný systém modulu baterií u vysokozdvižného vozíku Still RX 60 [14] 27
Obr. 17 Modulární koncepce. Modul se spalovacím motorem červeně, moduly akumulátorů zeleně 28
Obr. 18 Rozložení akumulátorů (zeleně) při plně elektrické konfiguraci (pohled zespoda) 29

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Celkové rozměry teleskopického manipulátoru

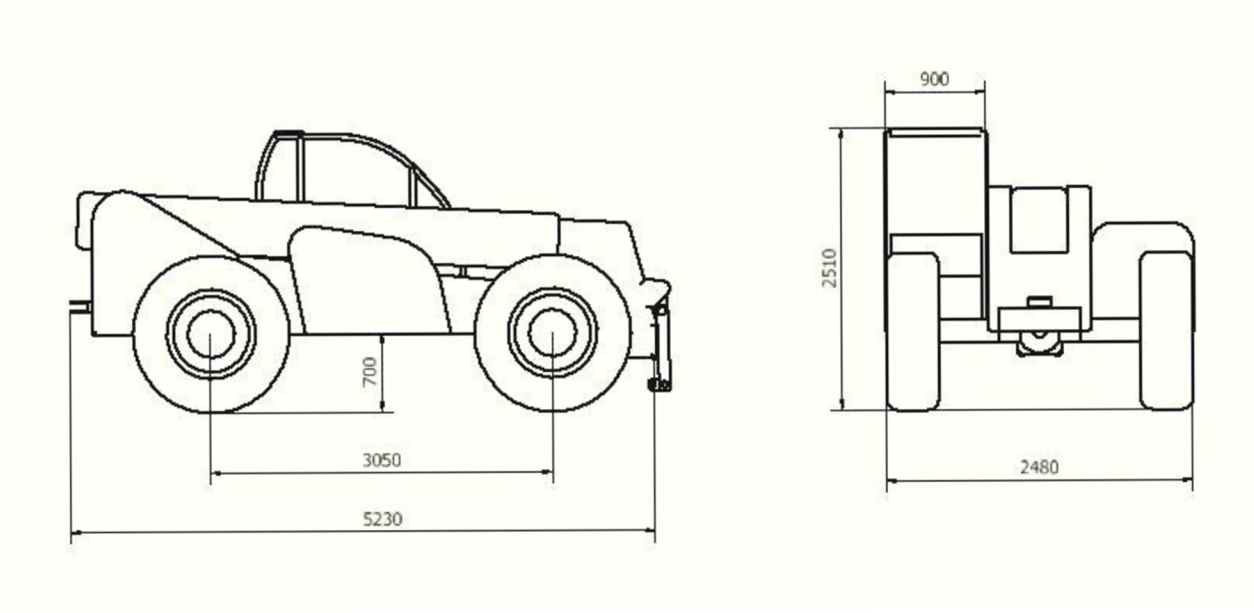
Příloha 2 Sestava modulu se spalovacím dieselovým motorem

Příloha 3 Sestava modulu se spalovacím motorem na CNG/LPG

Příloha 4 Sestava modulu s akumulátorem (náhrada motorového modulu)

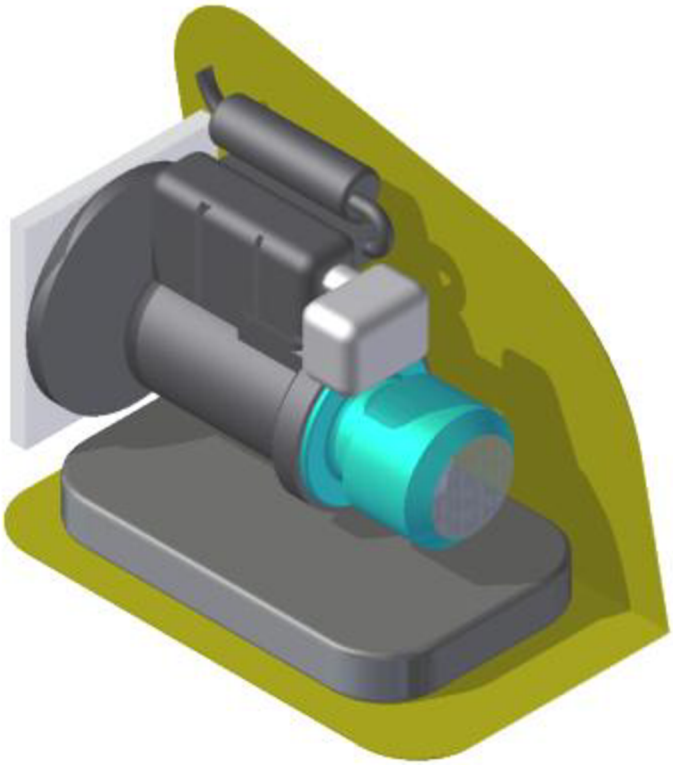
Příloha 1

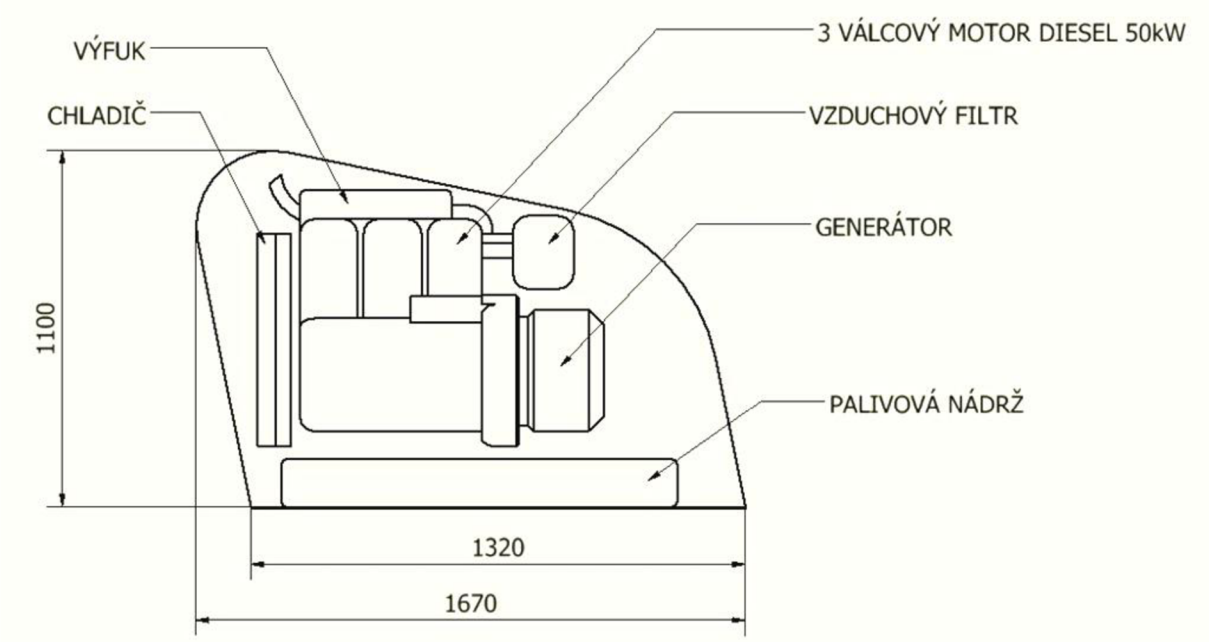
Celkové rozměry teleskopického manipulátoru



Příloha 2

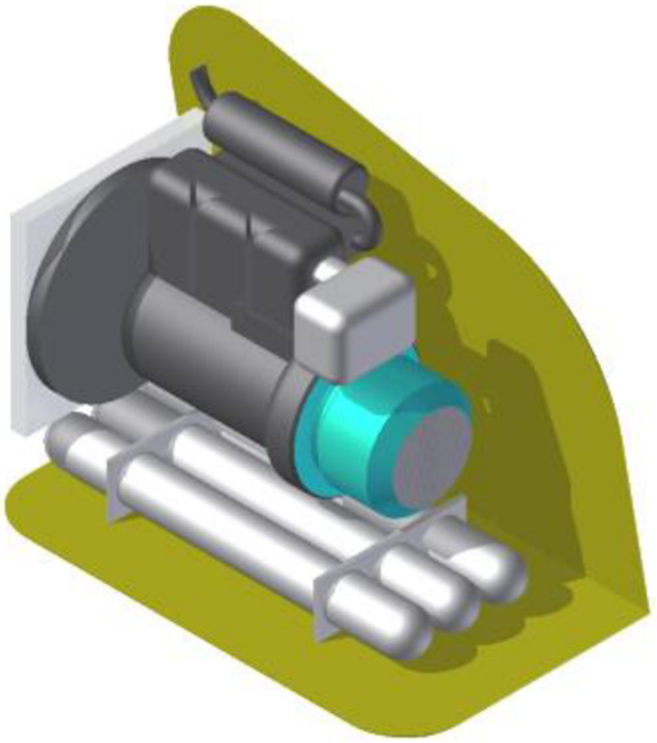
Sestava modulu se spalovacím dieselovým motorem

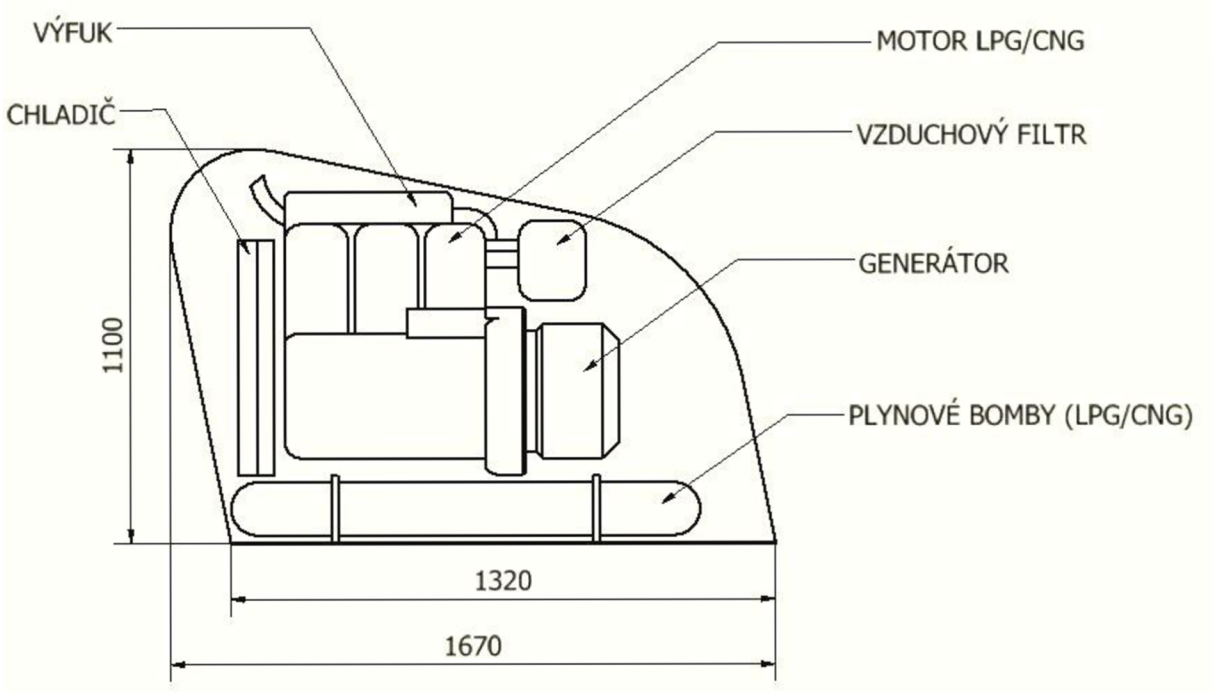


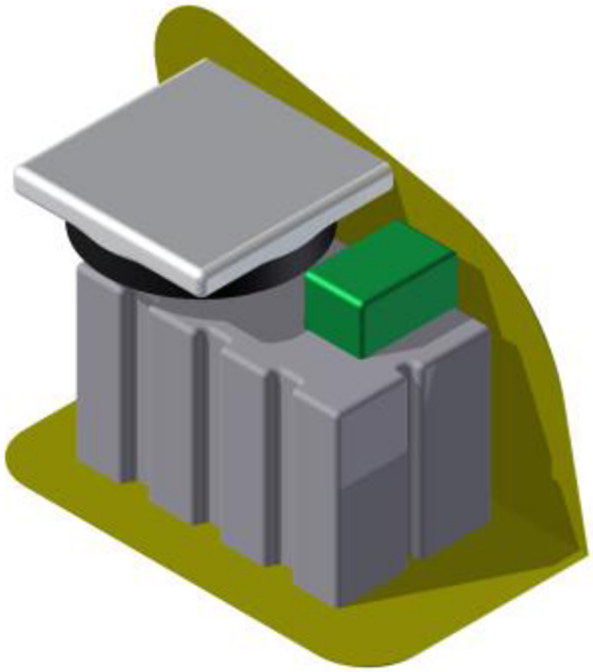
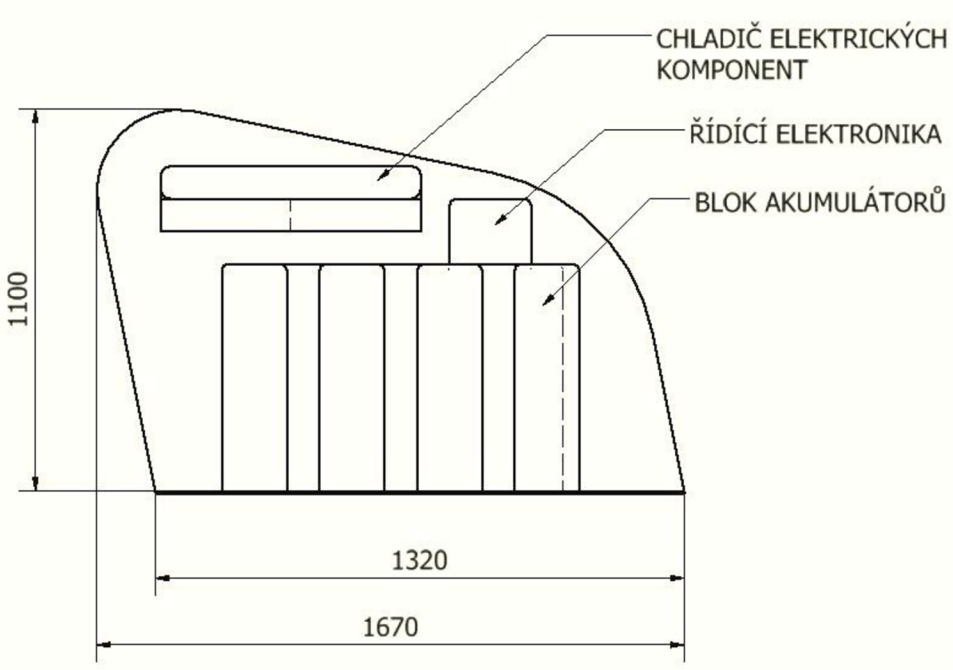


Příloha 3

Sestava modulu se spalovacím motorem na CNG/LPG





Příloha 4

Sestava modulu s akumulátorem (náhrada motorového modulu)