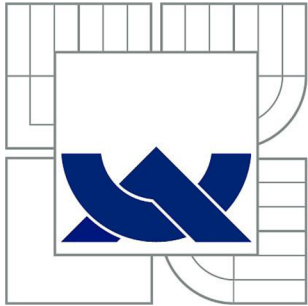




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A
ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND
ROBOTIC

NÁVRH KONSTRUKCE ELEKTRICKÉ KOLOBĚŽKY

SUGGESTION OF ELECTRIC SCOOTER

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. VÁCLAV LAMBERSKÝ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. MILOŠ SYNEK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Václav Lamberský

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Výrobní stroje, systémy a roboty (2301T041)**

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 diplomové práce:

Návrh konstrukce elektrické koloběžky

v anglickém jazyce:

Suggestion of electric scooter

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Navrhněte konstrukční řešení koloběžky poháněné elektromotorem

Cíle diplomové práce:

Navrhněte konstrukční řešení koloběžky poháněné elektromotorem, včetně elektrovýstroje, ekonomického zhodnocení a výkresové dokumentace

Seznam odborné literatury:

Kolíbal, Zdeněk

Průmyslové roboty I. Konstrukce průmyslových robotů a manipulátorů. PRaM Kolíbal, Zdeněk 1. vyd. Brno VUT Brno 1993 189 s. ISBN 80-214-0526-0

Kolíbal, Zdeněk

Průmyslové roboty II. Konstrukce výstupních hlavic a periférií Kolíbal, Zdeněk 1. vyd. Brno PC DIR 1993 165 s. ISBN 80-214-0533-3

Ehrenberger, Zdeněk

Průmyslové roboty III. Robotické systémy vyšších generací Ehrenberger, Zdeněk 1. vyd. Brno VUT Brno 1993 145 s.

Bělohoubek, Pavel

Průmyslové roboty IV. Projektování výrobních systémů s PRaM Bělohoubek, Pavel 1. vyd. Brno VUT Brno 1993 88 s. ISBN 80-214-0532-5

Pokorný, Karel

Stavba elektrických strojů I Pokorný, Karel Praha SNTL 1984 185 s.

internet a stránky jednotlivých výrobců

Vedoucí diplomové práce: Ing. Miloš Synek

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 26.11.2013

L.S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je konstrukční návrh elektrokoloběžky. V první části práce je provedena rešerše používaných řešení konstrukcí a typů pohonů. V dalších kapitolách práce jsou počítány a voleny elektromotor, akumulátor a další výstroj. V návaznosti na předchozí kapitoly byl vytvořen kompletní 3D model koloběžky v programu SolidWorks. Z modelu byla vytvořena kompletní výkresová dokumentace.

KLÍČOVÁ SLOVA

Koloběžka, elektromotor, akumulátor, konstrukce, BLDC, LiFePO4.

ABSTRACT

The topic of this master thesis is the design of electric scooter. In the first part of this thesis consists of research of used structural designs and driver types. In following chapters are calculations and selection procedures of the electric motor, batteries and other accessories. Results from previous chapters were used to create complete 3D model of scooter in SolidWorks software. Based on the model, complete technical drawings were created.

KEYWORDS

Scooter, electromotor, accumulator, design, BLDC, LiFePO4.

Bibliografická citace

LAMBERSKÝ, V. *Návrh konstrukce elektrické koloběžky*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 72s. Vedoucí diplomové práce Ing. Miloš Synek.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že tato diplomová práce je mým původním dílem, kterou jsem vypracoval samostatně, pod vedením pana Ing. Miloše Synka a s použitím literatury, která je uvedena v seznamu použité literatury.

V Brně dne 30. května 2014

.....
Bc. Václav Lamberský


Poděkování

Děkuji všem, kdo mi pomáhali a podporovali mě při tvorbě této diplomové práce. Obzvláště děkuji vedoucímu diplomové práce, Ing. Miloši Synkovi, za poskytnutý čas, rady a podklady.

Obsah:

1. Úvod.....	11
2. Současné elektrokoloběžky.....	12
2.1. Koloběžky bez skládacího mechanismu	12
2.2. Koloběžky se skládacím mechanismem.....	13
3. Legislativa provozu na pozemních komunikacích.....	15
4. Konstrukční části elektrického pohonu.....	16
Elektromotor	16
4.1. Stejnoseměrné elektromotory	16
4.2. Střídavé elektromotory	20
4.3. Akumulátor	22
5. Konstrukční požadavky na koloběžku	24
5.1. Jízdní odpory	24
5.2. Zrychlení koloběžky.....	28
6. Konstrukční řešení	30
6.1. Volba motoru	30
6.2. Volba akumulátoru.....	32
7. Silový rozbor konstrukce	34
7.1. Statické zatížení koloběžky hmotností jezdce.....	34
8. Volba nakupovaných komponent konstrukce koloběžky	46
8.1. Elektronická výstroj koloběžky.....	46
8.2. Komponenty konstrukce koloběžky.....	50
9. Volba geometrie přední vidlice.....	54
10. Ekonomické zhodnocení	56
11. Navrhované úpravy z reálného provozu	59
12. Možné modifikace	59

13. Závěr	61
Seznam použitých značek a symbolů	64
Seznam literatury	67
Seznam obrázků.....	69
Seznam příloh	72

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 11
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

1. Úvod

Klasická koloběžka je dopravní prostředek, který je poháněn odrážením jezdce jednou nohou (noha odrazová) od země, přičemž noha druhá spočívá na desce koloběžky (noha stojná) a je vůči koloběžce v klidu. Tento způsob pohybu je nazýván „koloběh“. Zatáčení je řešeno pomocí řídítek, která zároveň slouží k udržování stability při jízdě. Koloběžky bývají vybaveny dále brzdami, zajišťujícími plnou kontrolu jízdy. Tato koncepce se jeví jako velmi výhodná zejména v městském provozu, kde je předpoklad častého zastavování, stání a rozjíždění. Při zastavování, stání a rozjezdu není třeba měnit polohu jezdce, nejsou zde žádné problémy se stabilitou a stání probíhá v pohotovostní poloze, na rozdíl například od bicyklu, kde je potřeba přemístit nohu z pedálu na zem. Další výhodou je, že koloběžka je stabilní i při velmi malých rychlostech a není zde tím pádem problém s ovladatelností.

Tato diplomová práce se zabývá konstrukčním návrhem koloběžky elektrické, proto v této práci oproti klasické konstrukci bude navíc řešen pohon elektrickým motorem. Z tohoto důvodu bude nutné do klasické konstrukce navíc zabudovat všechny nezbytné součásti pohonného systému, včetně řídicích a ovládacích prvků.

Cílem této diplomové práce je navrhnout koloběžku poháněnou elektromotorem, která by zajišťovala mobilitu osob na kratších úsecích a nahrazovala, nebo vhodně doplňovala transport osob pomocí osobních automobilů, vlaků, nebo městské hromadné dopravy. Z tohoto důvodu by měla její konstrukce umožňovat jak vlastní přepravu osob, tak rychlou změnu z provozního stavu, do stavu vhodného pro přepravu a skladování a naopak.

2. Současné elektrokoloběžky

V současné době se na trhu vyskytuje pestrá škála koloběžek doplněných elektrickým pohonem, které se liší svou konstrukcí, hmotností, výkonem elektromotoru a kapacitou akumulátoru. Dále je uveden přehled několika různých konstrukcí a modelů, které jsou aktuálně dostupné na trhu od několika českých i zahraničních výrobců, včetně klíčových parametrů.

2.1. Koloběžky bez skládacího mechanismu

Tyto koloběžky mají pevný rám, který neumožňuje rychlou změnu rozměrů. Jsou určeny především pro sportovní užití a přepravu osob, která není kombinovaná s dalšími typy dopravních prostředků.

Kola těchto koloběžek jsou větší, kvůli nižším odporům při jízdě a komfortnějšímu překonávání terénních nerovností. Přední kolo bývá větší.

ELEKTROKOLOBĚŽKA EAGLEFLIGHT CITY 250

U tohoto modelu je elektromotor přímo součástí zadního kola, akumulátor je umístěn v rámu pod plošinou, přední i zadní brzda je čelistová, není odpružené ani přední, ani zadní kolo. Koloběžka využívá rekuperaci elektrické energie.

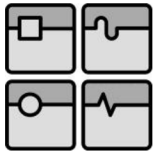
Koloběžka nemá doplňkové sedlo.

Výkon motoru: 250 W, Akumulátor: LiFePO4 10 Ah, Hmotnost: 17,5 kg

Orientační cena: 23 000,- Kč



Obr.1 Koloběžka Eagleflight 250 city. [1]



ELEKTROKOLOBĚŽKA STRKAN FUTURUM ACE

U tohoto modelu je elektromotor přímo součástí předního kola, akumulátor je umístěn na trubce sedlové tyče, přední i zadní brzda je kotoučová mechanická, není odpružené zadní kolo, přední kolo volitelně odpružené teleskopickou vidlicí. Koloběžka nevyužívá rekuperaci elektrické energie.

Koloběžka má pevné sedlo.

Výkon motoru: 500 W, Akumulátor: LiFePO4 10 Ah, Hmotnost: 25 kg

Orientační cena: 29 000,- Kč



Obr.2 Koloběžka Strkan Futurum ACE. [2]

2.2. Koloběžky se skládacím mechanismem

Tyto koloběžky mají mechanismus umožňující rychlou změnu rozměrů kvůli přepravě, nebo skladování. Jsou vhodné jako dopravní prostředek kombinovaný s automobilní, nebo městskou hromadnou dopravou.

Zpravidla dochází složením ke sklopení tyče řídicí k plošině koloběžky, doplněný například demontáží rukojetí a případně sedla včetně sedlové trubky.

U tohoto typu koloběžek mají obě kola většinou shodný průměr a jsou menší, než u koloběžek bez možnosti skládání.

ELEKTROKOLOBĚŽKA EGRET ONE

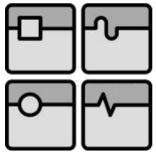
U tohoto modelu je elektromotor přímo součástí zadního kola, akumulátor je umístěn v rámu pod plošinou, koloběžka má pouze zadní bubnovou brzdu, odpružené je přední kolo, zadní kolo je pevné.

Koloběžka využívá rekuperaci elektrické energie

Koloběžka nemá doplňkové sedlo.

Výkon motoru: 250 W, Akumulátor: LiFePO4 8 Ah, Hmotnost: 15 kg

Orientační cena: 27 000,- Kč



Obr.3 Koloběžka Egret ONE. [3]

ELEKTROKOLOBĚŽKA XE500 NITRO

U tohoto modelu je elektromotor před zadním kolem a převod na zadní kolo je pomocí řetězu. Akumulátor je umístěn v rámu pod plošinou, koloběžka má přední i zadní kotoučovou brzdu, odpružené je přední i zadní kolo.

Koloběžka nevyužívá rekuperaci elektrické energie.


Koloběžka má doplňkové sedlo.

Výkon motoru: 500 W, Akumulátor: olověný gelový 12 Ah, Hmotnost: 32 kg

Orientační cena: 11 000,- Kč



Obr.4 Koloběžka XE500 NITRO. [4]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 15
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

3. Legislativa provozu na pozemních komunikacích

Dle platné legislativy České republiky Zákon č.361/2000 Sb. § 57

(2) Na vozovce se na jízdním kole jezdí při pravém okraji vozovky; nejsou-li tím ohrožováni ani omezováni chodci, smí se jet po pravé krajnici. Jízdním kolem se z hlediska provozu na pozemních komunikacích rozumí i koloběžka.

Silniční provoz elektricky asistovaných jízdních kol - elektrokol (nazývaných též v německy mluvících zemích "pedelec" a v anglofonních zemích "e-bike") se řídí Směrnicí evropského společenství O schvalování typu dvoukolových a tříkolových motorových vozidel - 2002/24/EC. Ze schvalovacího procesu jsou vyňaty taková elektrokola, jejichž rychlost s asistencí elektromotoru nepřevyší 25 km/h a u nichž je jmenovitý výkon elektromotoru maximálně 250 W (článek 1, oddíl 1h směrnice). Dopomoc elektromotoru může být aktivována pouze při aktivním šlapání, akcelerátor může elektrokolo uvést pouze do rychlosti 6 km/h z klidového stavu (viz norma EPAC níže, v případě šlapání může být jeho výkon až do maximální asistované rychlosti).

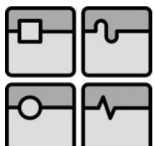
V září 2009 začala ve všech zemích EU platit specifická norma, která dále zpřesňuje požadavky na elektrický obvod, elektrické kabely a spoje elektrokola, testování baterií, elektromagnetickou kompatibilitu, řízení výkonu, maximální rychlost, které je možné díky elektrickému motoru dosáhnout a na měření maximálního výkonu. Tato norma má označení ČSN EN 15194 a je též známá pod zkratkou EPAC (Standard for Electronically Power Assisted Cycles).

Pokud elektrokolo splňuje omezení dané Směrnicí a plní požadavky zmíněné Normy (existuje atestace v akreditované zkušebně a je vystaveno prohlášení o shodě) je z hlediska českého Zákona o provozu na pozemních komunikacích na elektrokola pohlíženo jako na jízdní kola bez elektrické asistence. Pokud je elektrokolo vybaveno zákonným příslušenstvím (světla, odrazky, zvonek) může být provozováno na pozemních komunikacích, ale též na vyhrazených cyklostezkách a trasách určených výhradně pro jízdní kola. Pro jezdce od 15 let výše není na elektrokole povinné nošení ochranné helmy (která je specificky v městském cyklo-provozu dle výzkumů ECF efektivní ochrannou pomůckou pouze ve 3 % případů kolize).

V případě, že rychlost nebo výkon elektrokola přesahuje limity stanovené normou EPAC, nejedná se dále o elektrokolo, ale o malý skútr, na nějž se vztahují omezení daná vyhláškou Ministerstva dopravy (tedy povinnost provedení typových zkoušek, registrační značka, pojištění, helma a provoz pouze na komunikacích určených).

V legislativním procesu na úrovni Evropské komise, byl projednán návrh sdružení ETRA (European Twowheel Retailers' Association). Bylo navrhováno, aby výkon elektromotoru byl zvýšen z 250 W na 500 W, což by umožnilo využití elektrokola i pro těžší jezdce nebo pro transport těžšího nákladu. Maximální rychlost by zůstala zachována na 25 km/h.

Dne 20. 11. 2012 odhlasoval Evropský parlament částečné změny v legislativě ohledně elektrokol (EPAC) - Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/24/ES ze dne 18. března 2002 o schvalování typu dvoukolových a tříkolových motorových vozidel.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 16
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Pravidlo, že pouze elektrokola s maximální rychlostí 25 km/h a s 250 W jmenovitého výkonu motoru jsou vyjmuta z povinnosti provádění typových zkoušek (homologace) nadále platí (viz. bod **h**). Z tohoto pravidla ale komise učinila ještě další výjimky. Povinnost typové zkoušky se dále nevztahuje na:

(a) vozidla s maximální konstrukční rychlostí nepřekračující 6 km/h; (tedy akcelerátor může pracovat samostatně pouze do této rychlosti).

(e) vozidla zkonstruovaná a vyrobená k použití ozbrojenými silami, civilní obranou, požární službou, silami odpovědnými za udržování veřejného pořádku a havarijní lékařskou službou

(g) vozidla primárně určená pro off-road použití a určené pro jízdu na nebezpečných plochách.

(h) jízdní kola s pedály, která jsou vybavena přídatným elektrickým motorem s maximálním trvalým výkonem 250 W, jehož výkon je postupně snižován až do vyřazení motoru z činnosti, když vozidlo dosáhne rychlosti 25 km/h, nebo dříve, jestliže cyklista přestane šlapat.

Z toho vyplývá, že pro použití na veřejných komunikacích platí dále limit 250 W, při využití modelu elektrokola u něhož výrobce jednoznačně deklaruje pohyb mimo veřejné komunikace na nebezpečných cestách je možné využít silnější motorizaci elektrokola. [5]

4. Konstrukční části elektrického pohonu

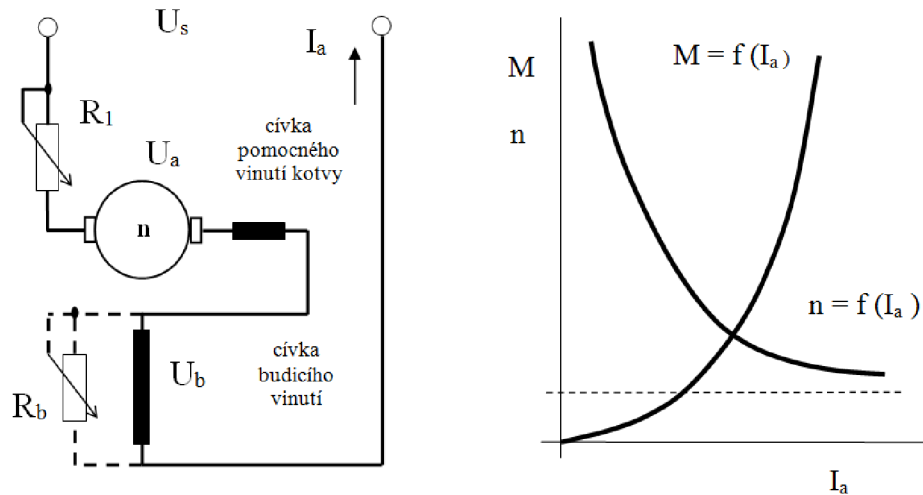
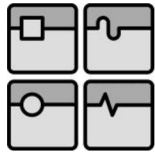
Elektromotor

Elektromotor je stroj měnící energii elektrickou na energii mechanickou. Elektromotor je pro pohon vozidel využíván pro své výhody: zejména vhodný průběh výkonové a momentové křivky, a nulové emise během pracovního cyklu. Elektromotorů je dnes na trhu několik druhů, které se vzájemně liší konstrukcí i svými parametry. Následuje proto výčet běžně užívaných typů, včetně jejich klíčových prvků. Informace pro sestavení přehledu elektromotorů byly čerpány z literatury [6], [8].

4.1. Stejnoseměrné elektromotory

Stejnoseměrný motor se sériovým buzením

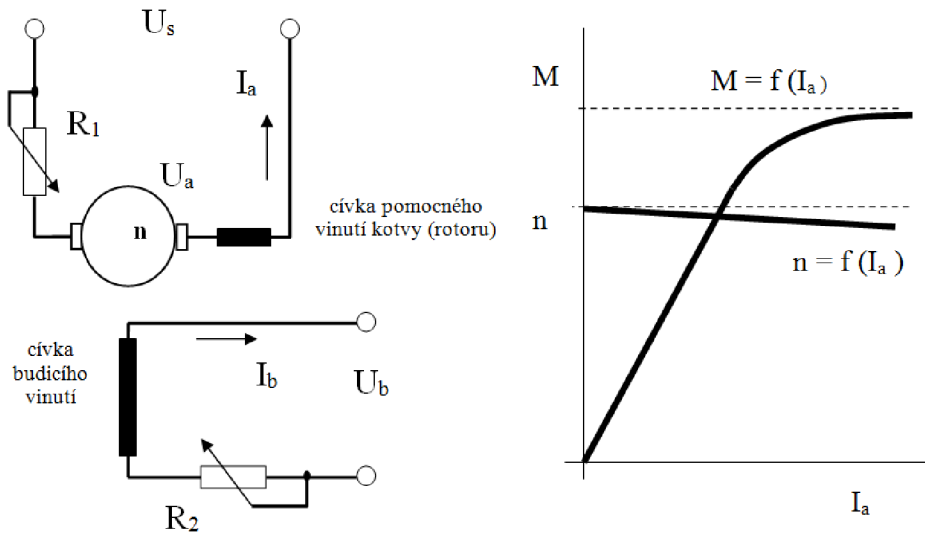
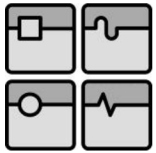
U této konstrukce je budící vinutí zapojeno sériově s kotvou, takže proud je současně budícím proudem. U regulace se využívá to, že napětí je úměrné požadované hodnotě proudu tak, že regulátor výkonu řídí napětí akumulátoru v proměnném spínání nebo proměnné frekvenci. Tento motor má měkkou charakteristiku, ale při chodu bez zatížení je zde riziko poškození. Tento motor má velký záběrový moment a otáčky se přizpůsobují zatížení.



Obr.5 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru se sériovým buzením. [6]

Stejnoseměrný motor s cizím buzením

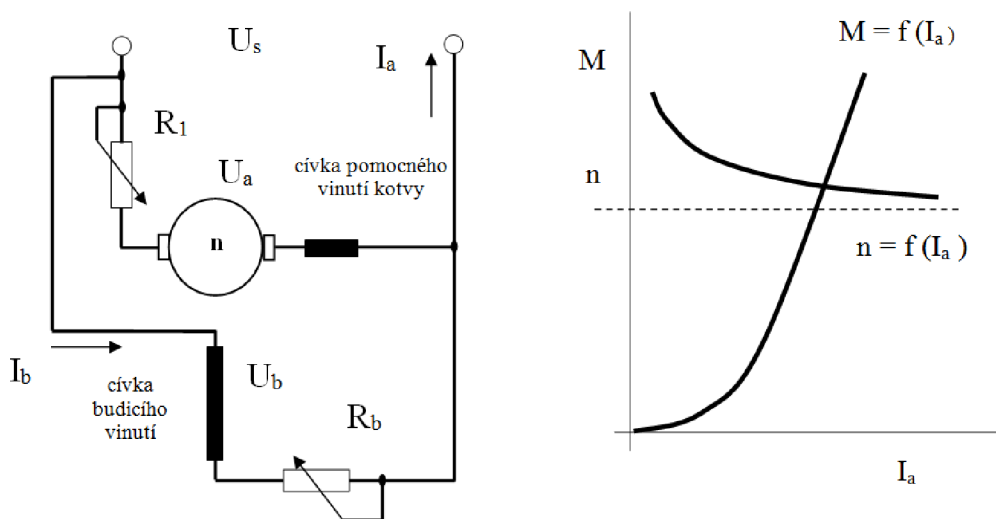
Tato konstrukce vyžaduje cizí zdroj pro napájení budícího vinutí. Reguluje se napětí motoru a budícího proudu. Motor má tvrdou momentovou charakteristiku, ale nižší záběrový moment. Je možné snadno měnit směr otáčení, lze výhodně použít rekuperační brzdění. Motor je snadno a plynule regulovatelný ve velkém spektru otáček. Pro vysoké účinnosti je vyžadováno vyšší napětí celého systému, protože poklesy napětí na kartáčích a tyristorech se vztahují na celkové napětí systému. Při vysokém napětí mohou být proudy na motoru a spojovacím vedení nižší, což přináší snižování hmotnosti, menší objem a nižší výrobní náklady. Motory jsou silně přetížitelné. Pro trvalý výkon po dobu 1 hodiny je přetížitelnost 20 % nad trvalým výkonem. Krátkodobě je přetížitelný až o 100 %. Hraniční otáčky jsou omezeny na ca 7000 ot/min. Z tohoto důvodu bývá potřebná převodovka.



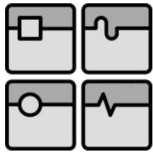
Obr.6 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru s cizím buzením. [6]

Stejnoseměrný motor s derivačním buzením

V konstrukci motoru je obvod kotvy i budícího vinutí připojen ke zdroji paralelně přes samostatné regulační prvky. Lze je snadno a plynule regulovat, ale v menším rozsahu než stejnosměrný elektromotor s cizím buzením. Mají tvrdou momentovou charakteristiku a jednoduše se brzdí.

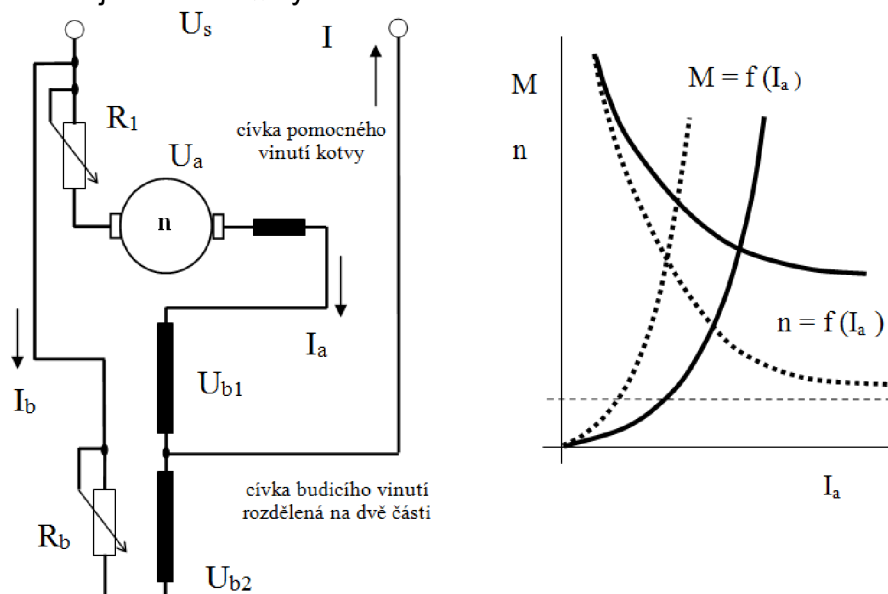


Obr.7 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru s derivačním buzením. [6]



Stejnoseměrný motor se smíšeným buzením

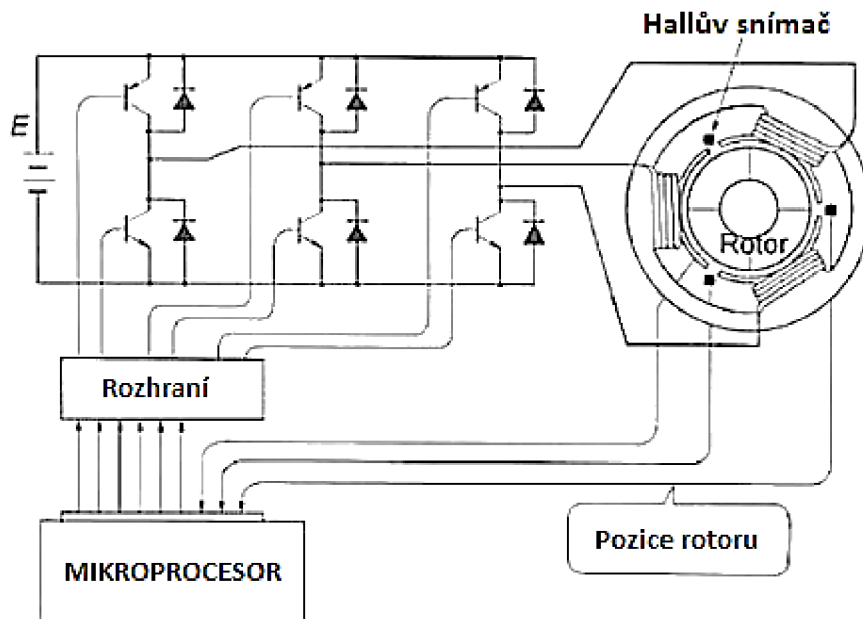
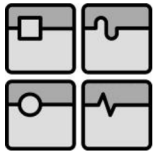
Motor má jedno budící vinutí, které je zapojeno v sérii a druhé, které je zapojeno paralelně ke kotvě. Sériové vinutí je zapojeno magneticky souhlasně s derivačním vinutím a při zatížení motoru způsobuje snížení otáček a zvětšení momentu. Derivační vinutí naopak omezuje otáčky bez zatížení na hřídeli. Tento motor je přechodným mezi sériovým a derivačním elektromotorem, podle převládajícího buzení. Stejnoseměrné elektromotory se vyznačují jednodušší regulací a příznivější momentovou charakteristikou oproti střídavým elektromotorům. Je zde však nižší výkon a účinnost, náročnější údržba a vyšší cena.



Obr.8 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru se smíšeným buzením. [6]

Bezkartáčový motor stejnosměrný (BLDC)

Jedná se o stejnosměrný motor, u kterého je komutace zajištěna pomocí elektroniky, která řídí napájení jednotlivých vinutí statoru. Uspořádání pevných a rotačních částí BLDC motoru je vzhledem ke komutátorovému motoru obrácené. Tedy je zde pevné vinutí statoru a rotuje budič, obvykle osazený permanentními magnety. Elektronická jednotka motoru přepíná jednotlivá vinutí statoru (nahrazuje mechanický komutátor) v závislosti na požadovaných vlastnostech motoru. Informace od zpětné vazby se zpracuje v mikroprocesoru, kde se následně vygenerují data pro spínání výkonových FET tranzistorů. U malých strojů se nejčastěji používají Hallovy sondy, indikující úhlové natočení rotoru. V některých jednodušších případech lze Hallovy sondy nahradit činností elektronického systému. Regulace otáček motoru je možná pomocí potenciometru. Motor je momentově krátkodobě přetížitelný o 100 %, účinnost motoru je pod 90 %.

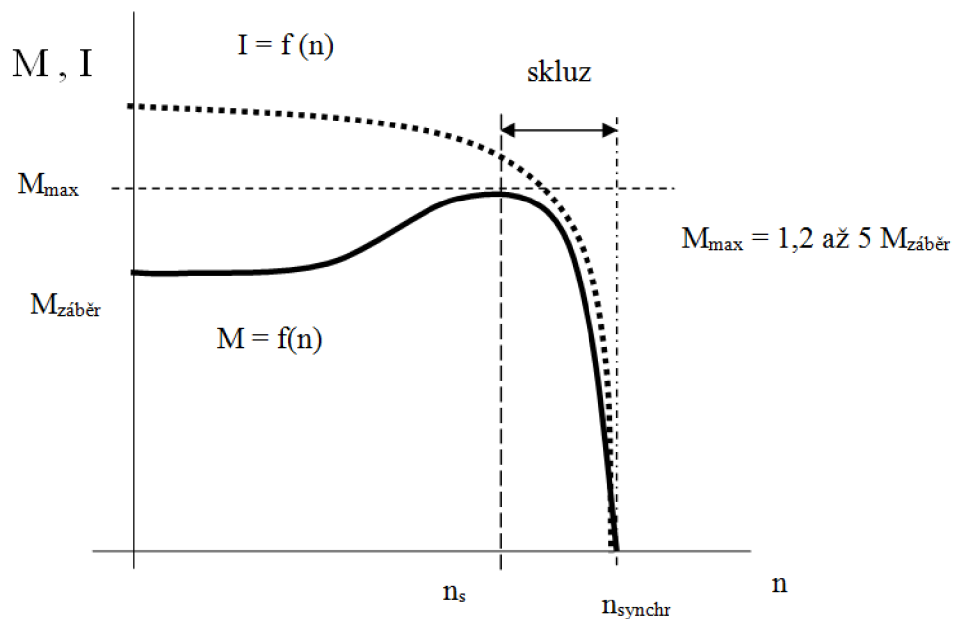
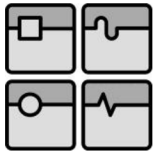


Obr.9 Schéma bezkartáčového stejnosměrného motoru. [7]

4.2. Střídavé elektromotory

Asynchronní elektromotor

Hlavní výhodou třífázového asynchronního motoru je, odpadnutí vinutí kotvy a kolektoru, čímž lze dosáhnout až 20 000 ot/min. Asynchronní motor je podstatně menší a lehčí, než stejnosměrný motor, proto lze počítat s výkonovou hmotností ca 1 kg/kW. Asynchronní motor má jednodušší konstrukci, je provozně bezúdržbový a silně přetížitelný. Nevýhodou je nutnost elektronické regulace. Ze stejnosměrného proudu akumulátoru je potřeba dostat střídavý. Obvykle se toto děje cyklickým zapínáním tyristoru, tímto je pravouhlý průběh měněn na přibližně vektorový. K regulaci tahové síly a otáček motoru musí být proměnná frekvence i napětí. Pro splnění regulačních požadavků vyžaduje vysoké náklady na výkonový obvod. Rekuperace u tohoto motoru dosahuje vysokých účinností. Výkonová charakteristika je kvůli svému průběhu vhodná pro pohon vozidel.



Obr.10 Charakteristika asynchronního motoru. [7]

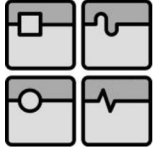
Synchronní motor s permanentním buzením

Tento motor má velmi vysoký objemový výkon. Magnetické pole vybuzené permanentními magnety je bezdotykové. Tím je dosahováno vysoké účinnosti. U tohoto motoru není možné regulovat motor zeslabením pole. Z tohoto důvodu bývá použito vícenásobného regulátoru výkonu akumulátoru, nebo přídavné převodovky. Umožňuje-li stejnosměrný pohon nastavení pole 1:3, musí být u synchronního motoru buzeného permanentními magnety (při stejném maximálním momentu a stejných max. otáčkách) nastavení výkonu regulátoru střídavého proudu vyšší o faktor 3. Nelze zde dosáhnout rozsahu otáček synchronních motorů.

motor	cena	účinnost	hmotnost	rozsah Pkonst	přetížitelnost	spolehlivost	stav vývoje
stejnoseměrný	10	7	6	10	10	7	10
asynchronní	8	8	6	9	10	9	9
synchronní	8	10	7	10	10	9	8
stejnoseměrný bez kartáčů	8	10	10	8	9	10	8

Obr.11 Tabulka srovnání parametrů jednotlivých druhů elektromotorů. [9]

V tabulce na obr.11 vyšší číslo znamená výhodnější parametry.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 22
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

4.3. Akumulátor


Pro pohon elektrických vozidel jsou výhradně používány elektrické akumulátory, které jsou složeny ze sekundárních článků: baterií. Při volbě akumulátoru je potřeba posoudit vlastnosti každého typu akumulátoru a pro daný účel vybrat nejvhodnější. Klíčové vlastnosti pro výběr jsou výstupní napětí, kapacita, doba nabíjení, životnost, pořizovací cena a nároky na údržbu. Informace pro sestavení následujícího přehledu byly čerpány z literatury [8]

Olověný akumulátor

Kladně nabitá elektroda je tvořena oxidem olovičitým záporná elektroda z porézního olova. Elektrolytem je kyselina sírová ředěná vodou. Napětí článku je 2 V. Dosavadní zkoušky olověných akumulátorů ve vozidlech prokázali životnost ca 4 roky nebo 700 cyklů nabití a vybití. Kladné a záporné desky jsou odděleny separátory, které jsou dnes vytvořeny jako tkaniva jemných vláken umělých hmot. Současné zlepšení elektrické vodivosti iontů se docílilo zavedením kapsových separátorů z mikroporézní umělé hmoty. Tyto separátory uzavírají kladné desky do jakýchsi kapes, čímž snižují náchylnost ke zkratu. Podstatné zlepšení všech vlastností akumulátoru bylo docíleno zpevněním olova namísto antimonu vápníkem. Výhodou je vyšší elektrická vodivost, tedy vyšší výkon, značné prodloužení životnosti a podstatné zmenšení spotřeby vody na ca 25 %, to umožnilo konstrukci akumulátoru bezúdržbového.

Nejnovější typ sériově vyráběného akumulátoru je založen na principu technologie spirálových článků. Oproti klasickým bateriím má trojnásobnou životnost. Nosné části desek jsou z čistého olova, elektrolyt je obsažen v mikroporézní skelné vatě separátorů. Vodík a kyslík vyvíjející se při nabíjení a vybíjení jsou rekombinovány na vodu, akumulátor je bezúdržbový. Rychlá rekombinace je umožněna vrstvou mezi dělenou negativní elektrodou. V článku je tímto uspořádáním vytvořeno a udržováno vakuum během cyklování a zvláště při rychlém nabíjení vysokými proudy. Nabíjecí proud může dosáhnout až 100 A při napětí 14,4 V.

Prakticky jedinou výhodou je nižší cena oproti jiným typům akumulátorů. Nevýhodou je pokles kapacity při nízkých teplotách a při vzrůstu vybíjecích proudů, nízká měrná energie a výkon, velká citlivost na vybíjecí a nabíjecí režim.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 23
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Akumulátor nikel-kadmium

Jedná se o plně recyklovatelné a bezúdržbové akumulátory. Mají velkou životnost, 10 let, nebo 2000 cyklů a vysokou energetickou hmotnost. Kladné elektrody jsou tvořeny hydroxidem hliníku, záporné hydroxidem kademnatým. Elektrolytem je hydroxid draselný ředěný destilovanou vodou. Tyto akumulátory nemají tak výraznou závislost kapacity na teplotě a vybíjecímu proudu, jako olovené akumulátory. Vyznačují se větší spotřebou vody a ztrátami. Od roku 2006 jsou tyto akumulátory v EU zakázány kvůli obsaženému kadmiumu.

Akumulátory nikel-metalhydrid (Ni-MH)

Mají mnoho společných znaků jako nikel-kadmiové akumulátory. Materiálem záporné elektrody je však slitina lanthanu, kobaltu, hliníku a manganu, která při nabíjení vytváří metalhydrid a nahradila škodlivé kadmium. Ni-MH akumulátory jsou tak ekologické a dosahují ca dvojnásobné hodnoty měrné energie. Jsou však dražší a citlivější na nabíjecí a vybíjecí režim. Životnost je proti Ni-Cd akumulátorům poloviční. Velká nevýhoda těchto akumulátorů je v jejich citlivosti na nízké teploty.

Akumulátory zinek-vzduch

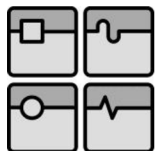
Dosahují hustoty energie až 220 Wh/kg zároveň jsou o 30 % lehčí, než například akumulátory typu sodík-síra. Elektrolyt je tvořen vodným roztokem hydroxidu sodného. Požadovaný odběr výkonu vyžaduje jeho chlazení, při nízkých teplotách musí být ohříván.

Akumulátor lithium-ion

Anoda je vyrobena z uhlíku, katoda je oxid kovu a elektrolyt je lithiová sůl v organickém rozpouštědle. Napětí článku se pohybuje v rozmezí 3-4 V. Energetická hustota dosahuje hodnoty 130 Wh/kg. Životnost je až 1000 cyklů. Nevýhodou je vysoká cena.

Akumulátor lithium-polymer

Záporná elektroda je tvořena speciální kovovou slitinou, která s vodíkem vytváří směs hydridů neurčitého složení. Tato slitina je většinou složena z niklu, kobaltu, manganu, případně hliníku a některých vzácných kovů – lanthanu, ceru, neodymu, praseodymu. Kladná elektroda je z oxid-hydroxidu niklitého. Podle použitého materiálu elektrod může článek dosahovat napětí 1,8 V až 3 V. Hustota energie je 150 Wh/kg. Pracovní teplota je v rozsahu +40 až -15 °C. Za podmínek rychlého nabíjení může být dosaženo nabíjecí účinnosti až 90 %.



Akumulátor LiFePO₄

Tento typ akumulátoru je druhem lithium-iontového akumulátoru. Anoda je vyrobena z uhlíku, katodu tvoří fosforečnan železnato litný. Tento typ akumulátoru je schopen velmi rychle absorbovat i vydávat elektrickou energii. Pracovní napětí článku se pohybuje v rozmezí 3 - 3,3 V. Energetická hustota dosahuje hodnoty 300 Wh/kg. Životnost je až 2000 cyklů. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena.

typ baterie	hustota energie		výkonová hustota		životnost		cena Euro/kW
	Wh/kg	Wh/l	W/kg	W/l	cyklů	let	
olovo	30–50	70–120	150–400	350–1000	50–1000	3–5	100–150
nikl-kadmium	40–60	80–130	80–175	180–350	>2000	3–10	225–350
nikl-metalhydrid	60–80	150–200	200–300	400–500	500–1000	5–10	225–300
lithium-iontová	90–120	160–200	300	300	1000	5–10	275
lithium-polymer	150	220	300	450	>1000	–	<225
zinek-vzduch	100–220	120–250	100	120	–	–	60

Obr.12 Tabulka srovnání parametrů jednotlivých druhů akumulátorů. [9]

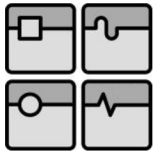
5. Konstrukční požadavky na koloběžku

Návrh vhodného elektromotoru a akumulátoru bude vycházet z následujících požadavků a předpokladů:

- hmotnost celé koloběžky by neměla přesáhnout 20 kg
- rychlost při jízdě po rovině a při maximálním zatížení bude alespoň 25 km/h
- čas dobíjení akumulátoru na plné nabití bude kratší, než 8 hodin
- dojezd při mírném rovinném terénu minimálně 25 km
- stoupavost: koloběžka bude schopna dopravit přepravovanou osobu do stoupání 10°
- hmotnost přepravované osoby včetně výstroje a případných zavazadel nepřesáhne 110 kg

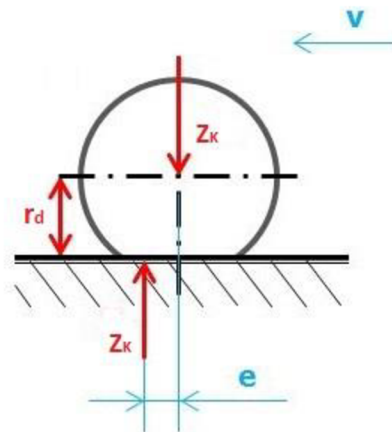
5.1. Jízdní odpory[8]

Jedná se o síly, které působí na soustavu jezdce na koloběžce, tyto odpory je třeba překonat, má-li jezdec na koloběžce zrychlovat, případně vyrovnat, má-li setrvat v přímočarém rovnoměrném pohybu. Odpory, které budou zohledněny v dynamickém výpočtu: odpor valivý, odpor vzdušný, odpor stoupání a odpor zrychlení.



Odpor valivý

Vzniká v místě dotyku pneumatiky a vozovky. Pokud by byla vozovka dostatečně tuhá, bude se deformovat pouze pneumatika. Místo dotyku pneumatiky a vozovky je nazýváno stopa. V přední části stopy vzhledem k pohybu pneumatiky dochází ke stlačování pneumatiky a v zadní části stopy opět k jejímu návratu do původního tvaru. Vlivem ztrát v pneumatice, které se mění v teplo, jsou síly potřebné ke stlačení pneumatiky větší, než síly pro návrat do původního tvaru. V přední části stopy jsou tedy vyšší tlaky, a proto je radiální reakce Z_K předsunuta před svislou osu kola o hodnotu e . Radiální reakce Z_K je stejně velká jako zatížení kola, tím vzniká moment M_{fK} , který působí na kolo. Tento moment vyvolává vodorovnou reakci O_{fK} , která působí ve středu kola, a nazýváme ji valivý odpor.



Obr.13 Reakce pneumatiky s vozovkou.

Moment působící proti valení kola:

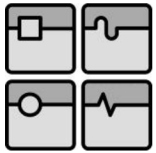
$$M_{fK} = O_{fK} \cdot r_d = Z_K \cdot e$$

Kde: O_{fK} - valivý odpor kola, r_d - dynamický poloměr kola, Z_K - reakce vozovky, e - předsunutí radiální reakce.

Valivý odpor lze také dostat z rovnice:

$$O_{fK} = Z_K \cdot e / r_d = Z_K \cdot f_K$$

Kde: f_K je součinitel valivého odporu, který je závislý: na povrchu vozovky, deformaci, a rychlosti valení pneumatiky. Deformaci je možné ovlivnit změnou tlaku v pneumatice: s vyšším tlakem klesá deformace. Pro rychlosti do ca 80 km/h je součinitel valivého odporu nezávislý na rychlosti. Součinitel valivého odporu je volen $f_K = 0,03$, což odpovídá nejvyššímu součiniteli valivého odporu ze všech povrchů, kde bude koloběžka provozována.



Valivý odpor kol koloběžky:

$$O_f = m_c * g * f_K = 120 * 9,81 * 0,032 = 37 \text{ N}$$

Kde: O_f – celkový valivý odpor obou kol koloběžky, m_c – celková hmotnost koloběžky s jezdcem.

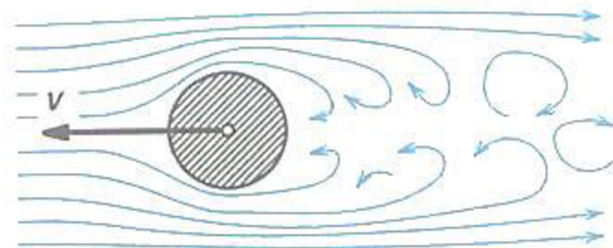
Odpor vzdušný

Při jízdě obtéká jezdce a koloběžku vzduch, proudnice se za jezdcem na koloběžce neuzavírají, ale nastává víření. Takto vzniká vzdušný odpor.

Vzdušný odpor:

$$O_V = c_x * \rho / 2 * S_x * v_r^2$$

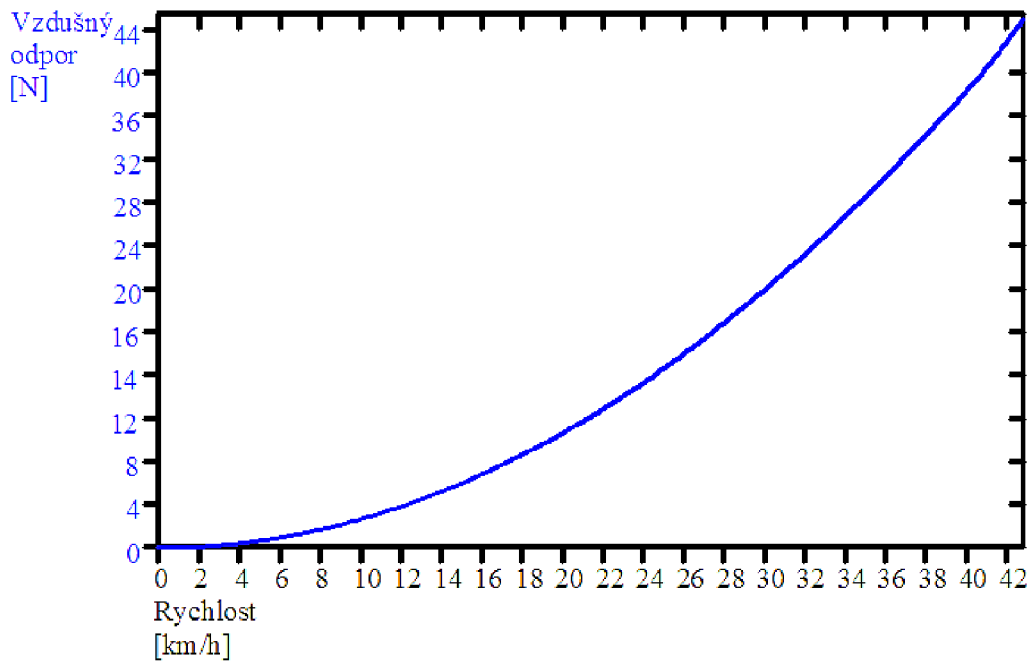
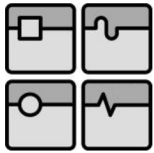
Kde: c_x – součinitel vzdušného odporu, ρ – měrná hmotnost vzduchu, S_x – čelní plocha jezdce včetně koloběžky, v_r – náporová rychlost proudění vzduchu kolem jezdce a koloběžky.



Obr.14 Víření vzduchu za obtékaným tělesem.

Pro výpočet vzdušného odporu uvažují stav s následujícími hodnotami:

- Náporová rychlost proudění vzduchu kolem vozidla $v_r = 0-30 \text{ km/h}$
- Čelní plocha jezdce na koloběžce $S_x = 0,5 \text{ m}^2$
- Měrná hmotnost vzduchu $\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$
- Součinitel vzdušného odporu $c_x = 1,1$ (voleno z [13])



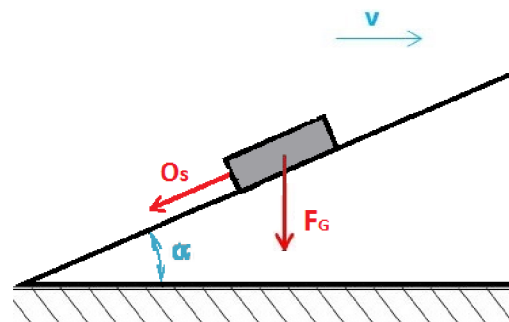
Obr.15 Vzdušný odpor v závislosti na rychlosti pohybu.

Odpor stoupání

Odpor stoupání je způsoben vektorovou složkou tíhy jezdce a koloběžky rovnoběžnou s povrchem vozovky.

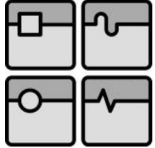
Odpor stoupání:

$$O_s = \pm G \cdot \sin \alpha$$



Obr.16 Odpor stoupání.

Kde: G – celková tíha jezdce a koloběžky, α – úhel který svírá stoupání s vodorovnou rovinou. Znaménko + v rovnici platí při jízdě do svahu, znaménko – při sjezdu ze svahu a složka síly zde není odporem, ale naopak jezdce na koloběžce pohání. Síla O_s působí v těžišti soustavy jezdce a koloběžky.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 28
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Koloběžka s jezdcem bude stoupat maximálně do 10°, z toho byl získán maximální odpor stoupání a ten je:

$$O_s = \pm 216 \text{ N}$$

Odpor zrychlení

Během zrychlování působí na koloběžku a jezdce síly, které působí proti směru zrychlování. Tyto síly pochází od setrvačných sil. Odpor zrychlení je tvořen odporem posuvných a odporem rotačních částí.

Odpor zrychlení posouvajících se částí:

$$O_{ZP} = m_c \cdot a_k$$

Kde: m_c – celková hmotnost koloběžky s jezdcem, a_k – zrychlení koloběžky [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$].

Odpor zrychlení rotačních částí:

$$v = 1 + (J_{kp} + J_{kz}) / (m_c \cdot r_d^2)$$

Kde: J_{kp} – moment setrvačnosti předního kola, J_{kz} – moment setrvačnosti zadního kola, m_c – celková hmotnost koloběžky s jezdcem.

Celkový odpor zrychlení:

$$O_Z = O_{ZP} \cdot v$$

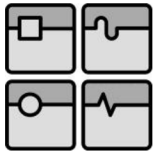
5.2. Zrychlení koloběžky[8]

Zrychlení koloběžky je vypočítáno z hnací obvodové síly na kolech, a proti němu působících odporů: valivého, vzdušného, zrychlení a stoupání.

Výpočet zrychlení je proveden pro dva stavy: pro zrychlení po rovině a pro zrychlení při stoupání 10°. V obou případech je při výpočtu použito maximální zatížení. Hodnoty momentů setrvačnosti jsou uváděny výrobcem pro daný typ motoru. Moment setrvačnosti kola označuje pouze moment setrvačnosti pracovně rotačních částí. Je získán z momentu setrvačnosti rotoru, momentu setrvačnosti krytu motoru, momentu setrvačnosti pneumatiky a momentu setrvačnosti brzdového kotouče.

Moment setrvačnosti předního kola:

$$J_{kp} = 0,003724 \text{ kg} \cdot \text{m}^2$$



Moment setrvačnosti zadního kola:

$$J_{kz}=0,003724 \text{ kg}\cdot\text{m}^2$$

Zrychlení koloběžky po rovině:

$$a=(F_{hk}-O_{rd})/(v\cdot m_c)$$

Kde: F_{hk} – hnací obvodová síla na kolech, O_{rd} – součet odporů: valivý + vzdušný.

Časový přírůstek zrychlování:

$$t_a=(v_{o(t+1)}-v_{o(t)})/(a(t))$$

Zrychlení koloběžky při stoupání:

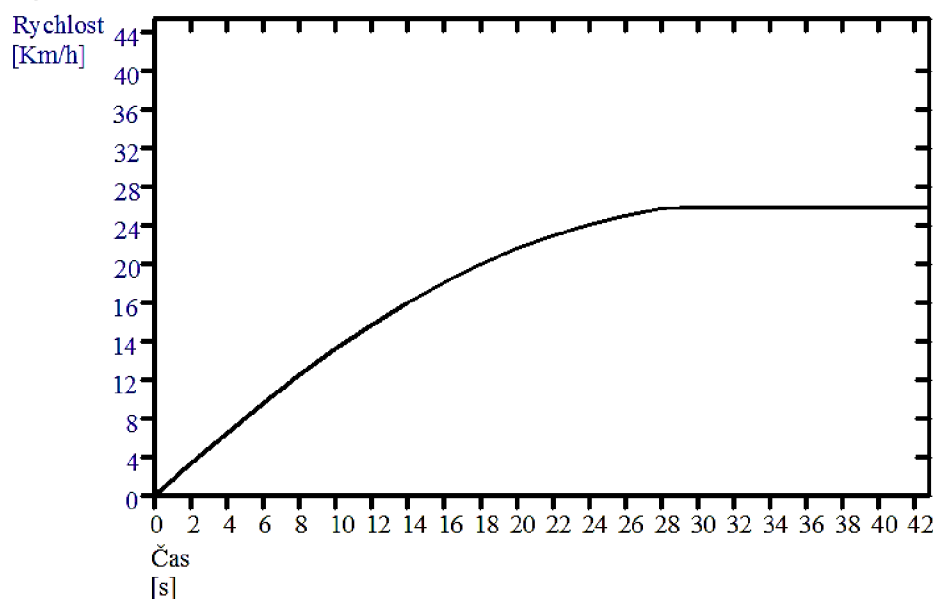
$$a=(F_{hk}-O_{rdv})/(v\cdot m_c)$$

Kde: F_{hk} – hnací obvodová síla na kolech, O_{rdv} – součet odporů: valivý + vzdušný + stoupání.

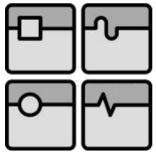
Časový přírůstek zrychlování:

$$t_a=(v_{o(t+1)}-v_{o(t)})/(a(t))$$

-Při zrychlování do maximálního stoupání, při maximálním zatížení dosáhne koloběžka rychlosti 3,2 km/h.



Obr.17 Zrychlení koloběžky po rovině.



6. Konstrukční řešení

Návrh konstrukce koloběžky se bude odvíjet z následujících požadavků

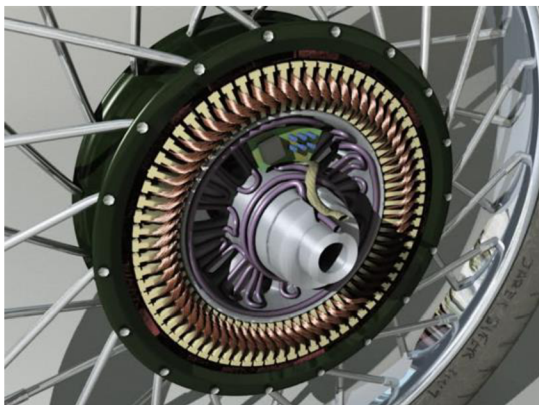
- celou konstrukci by mělo být možné v krátkém čase a bez náročných úkonů složit na přepravní rozměry
- koloběžka by měla být vybavena dvěma na sobě nezávislými brzdami
- viz. kapitola 5

6.1. Volba motoru

Dle srovnávací tabulky různých typů elektromotorů v kapitole 4.2. byl pro své vhodné vlastnosti a parametry vybrán stejnosměrný bezkartáčový motor (BLDC).

Vzhledem k požadavku na minimální hmotnost, snadnou mobilitu a minimální údržbu je pro konstrukci zvolen motor přímo součástí kola tzv. HUB motor. Výhoda tohoto uspořádání je absence nutného externího převodu z motoru na hnané kolo. Tímto je u výsledné konstrukce zvýšena účinnost pohonného ústrojí. Vnější průměr včetně pneumatiky by neměl přesáhnout 200 mm, což je v praxi používaný maximální rozměr kol u kompaktních skládacích koloběžek.

Úskalí této konstrukce je, že moment, ani výkon nemůže být na hnané kolo optimalizován pomocí externího převodu. Z tohoto důvodu bývá u motorů o výkonu do 250 W přímo součástí pohonné jednotky i planetová převodovka, která funguje jako reduktor, ovšem snižuje účinnost motoru a zhoršuje chlazení. Nevýhodou koncepce HUB motoru je, že celá hmotnost motoru je neodpružená. To ale není problém v konstrukci kompaktní koloběžky, která není určena pro pohyb v terénu. Tlumení drobných nerovností zajišťuje pneumatika kola.

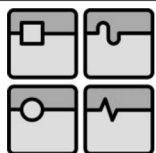


Obr.18 Motor přímo součástí kola.



Obr.19 Planetová převodovka v motoru. [10]

Motor byl zvolen od čínského výrobce UUmotor. Motor tohoto výrobce splňuje požadavky na rozměr kola, i odolnost motoru pro provozní prostředí. Absence vnitřních převodů nezpůsobuje odpor při jízdě pouze odražením.



Parametry motoru:

Provozní napětí: 36 V

Výkon: 350 W

Nominální pracovní proud: 11 A (chránit řídicí jednotkou)

Proud bez zatížení: 0,4-0,8 A

Účinnost: >83 %

Převod: bez vnitřních převodů

Snímání natočení: bezkontaktní, halovým snímačem (3x120°)

Krytí: IP54

Pneumatika: Bezdušová 200x50-5, maximální tlak 5 bar

Maximální rychlost: 43 km/h

Pracovní teplota: -40 °C až +45 °C,

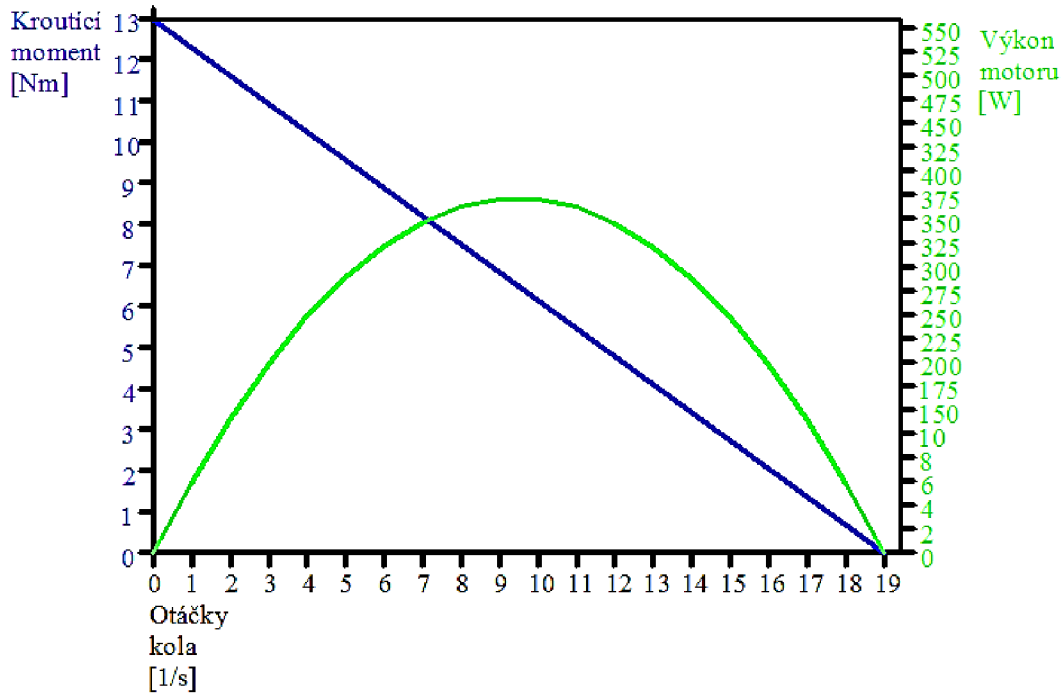
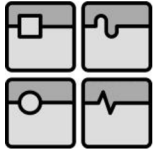
Nominální pracovní proud: 11 A (chránit řídicí jednotkou)

Rozměry (průměr včetně pneumatiky, zástavbová šířka): 200x116 mm

Hmotnost (včetně pneumatiky): 3,5 Kg



Obr.20 HUB motor firmy UUmotor. [14]



Obr.21 Charakteristika zvoleného HUB motoru.

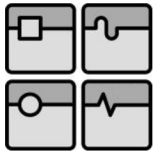
Pro zajištění požadovaného výkonu koloběžky jsou voleny HUB motory dva, jeden součástí předního a druhý součástí zadního kola. Problematika tohoto uspořádání bude dále řešena při návrhu geometrie přední vidlice a způsobu řízení motorů. Vzhledem k rozměru pneumatiky (jejímu dynamickému poloměru) je možné použít motor bez přídavného vnitřního redukčního převodu.

6.2. Volba akumulátoru

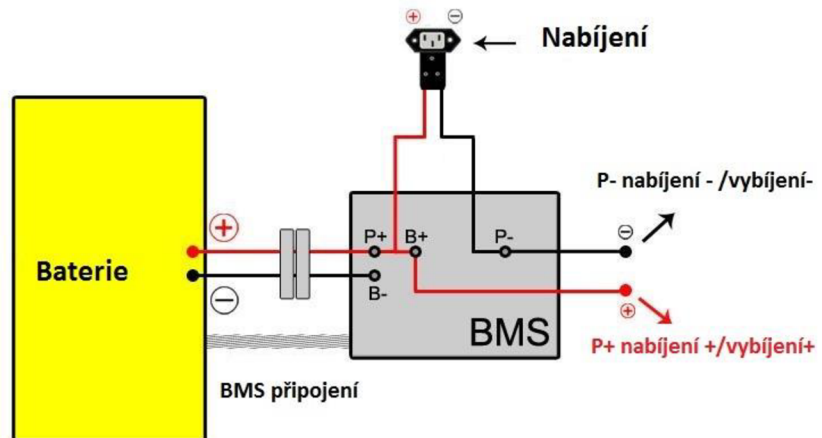
Akumulátor je volen LiFePO₄ Lithium-železo-fosfátový. LiFePO₄ Lithium-železo-fosfátový akumulátor je druh akumulátoru Lithium-lontového, který používá jako katodového materiálu LiFePO₄.

Je nutné, aby akumulátor měl napětí 36 V a jeho nominální proud byl alespoň 22 A. Dále je nutné, aby rozměry a velikost akumulátoru umožňovali jeho zástavbu pod nášlapnou desku do plošiny koloběžky. Tato koncepce je volena kvůli vysoké hmotnosti akumulátoru. Ta by při umístění výše, negativně ovlivnila polohu těžiště a tím i jízdní vlastnosti koloběžky. Dále je tato koncepce výhodná možností dosáhnout kompaktních rozměrů a tvaru koloběžky.

U akumulátorů LiFePO₄ je nutné, aby byly všechny články vybity a nabíjeny stejně. O to se stará BMS (battery management system). Kapacita byla zvolena po konzultaci s výrobcem STRKAN 10 Ah. Tato kapacita by teoreticky měla postačovat na 30 minut jízdy při plném výkonu.

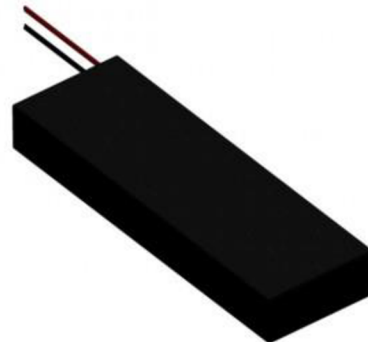


LiFePO4 zapojení baterie



Obr.22 Schéma akumulátoru LiFePO4 propojeného s BMS. [11]

Akumulátor s vhodnými rozměry a parametry je v nabídce výrobce Meldius.



Obr.23 Akumulátor LiFePO4 včetně BMS jednotky v PVC krytu. [3]

Parametry akumulátoru:

Nabíjecí napětí: 43,8 V

Počet článků: 12

Nominální napětí: 36 V

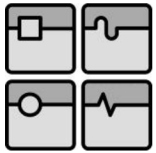
Nominální kapacita: 10 Ah

Nabíjecí proud: standardní nabíjení - 0,2 C, rychlonabíjení - 0,5 C

Doba nabíjení: standardní nabíjení: 5,5 hod. rychlonabíjení: 2,5 hod.

Max. nabíjecí proud: 0,5 C

Max. vybíjecí proud: 2,2 C



Min. odpojovací napětí: 30,0 V
Pracovní teplota: nabíjení: 0 °C - 45 °C,
Vybíjení: -5 °C ~ 45 °C
Max pracovní proud: 25 A (chránit tavnou pojistkou)
Rozměry (v,š,d): 40x130x400 mm
Hmotnost (včetně pvc obalu): 3,4 Kg
Životnost: 2000 cyklů úplného nabití a vybití

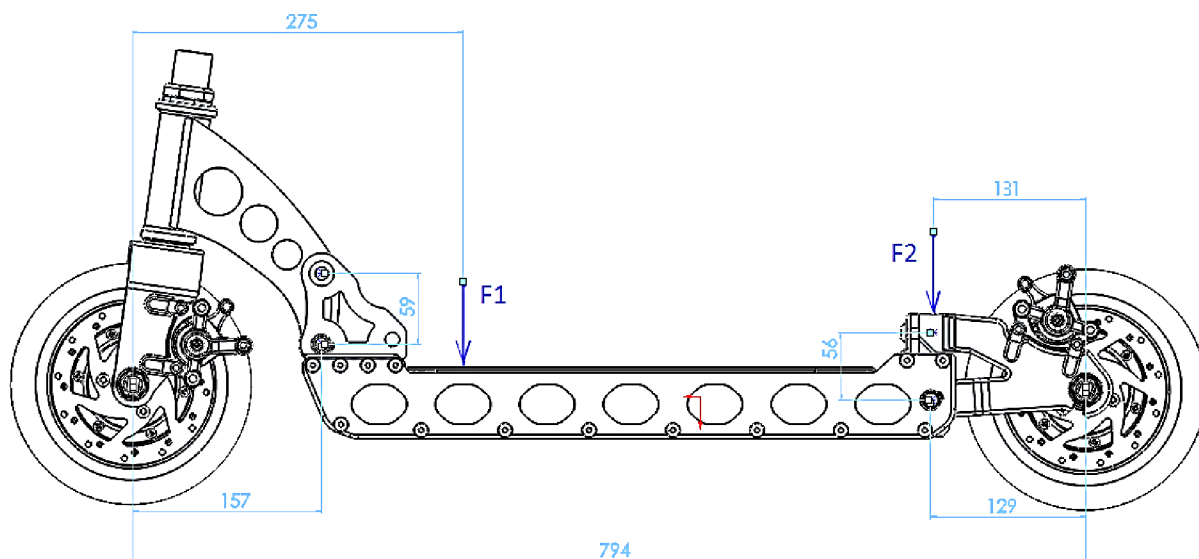
7. Silový rozbor konstrukce

Po předběžném návrhu konstrukce koloběžky s ohledem na rozmístění a zástavbu komponent elektrovýstroje a brzdové soustavy, je proveden silový rozbor pro zjištění reakčních sil a z nich vyplývajícího namáhání spojovacích součástí.

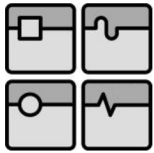
7.1. Statické zatížení koloběžky hmotností jezdce

Jak už bylo zmíněno v požadavcích na konstrukci, maximální hmotnost jezdce nepřesáhne 110 kg, dále proto bude počítáno s touto maximální zatěžovací silou.

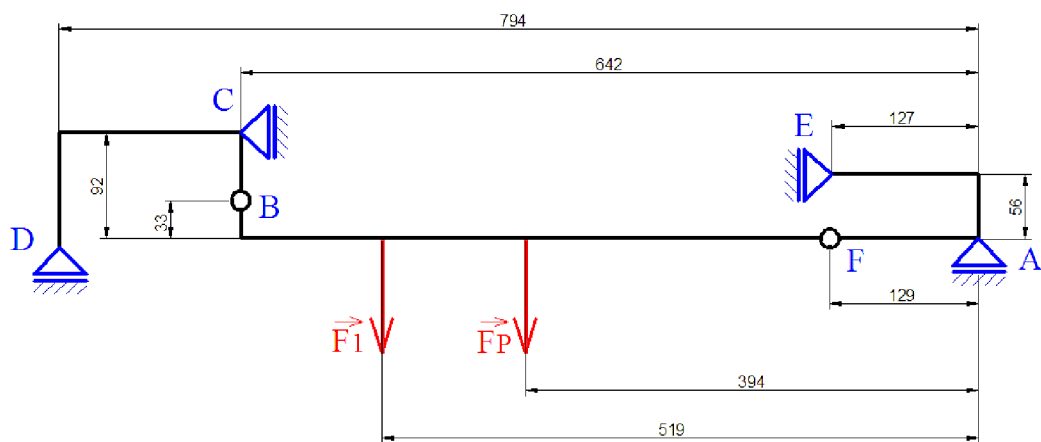
Pro získání stavů způsobujících největší možné namáhání konstrukce hmotností jezdce bude počítáno se dvěma stavy, při kterých bude celá síla od hmotnosti jezdce znázorněna silou F_1 , nebo silou F_2 .



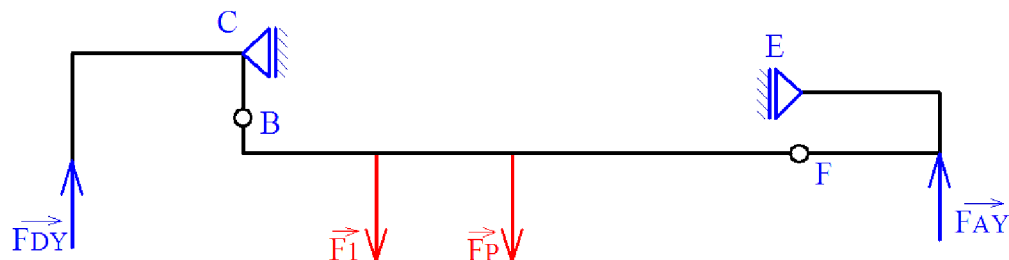
Obr.24 Schéma zatěžujících sil.

**Maximální síla F1**

Tento stav by nastal, pokud by jezdec hmotnosti 110 kg stál pouze na jedné noze v místě skládacího mechanismu. V tomto případě bude síla $F_2=0$ N a síla $F_1=g*m=9,81*110=1079$ N. Tato síla bude vyvozovat největší zatížení skládacího mechanismu, proto bude použita pro kontrolní výpočet. V tomto výpočtu bude dále zohledněna hmotnost konstrukce koloběžky včetně elektrovýstroje, pro výpočet znázorněno jedinou silou F_p v těžišti koloběžky. Síla $F_p=g*m=9,81*16=157$ N



Obr.25 Schéma MAX F1.



Obr.26 Schéma částečného uvolnění MAX F1.

$$F_1=1079 \text{ N}$$

$$F_p=157 \text{ N}$$

$$\sum M_{(D)}=0$$

$$F_1*0,275+F_p*0,400-F_{AY}*0,794=0$$

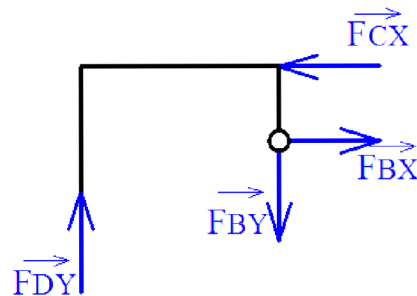
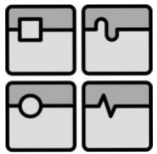
$$F_{AY}=359,53/0,794=452,8 \text{ N}$$

$$\sum F_y=0$$

$$F_{DY}-F_1-F_p+F_{AY}=0$$

$$F_{AY}=452,8 \text{ N}$$

$$F_{DY}=783,2 \text{ N}$$



Obr.27 Schéma uvolnění předního závěsu MAX F1.

$$\sum F_Y=0$$

$$F_{DY}-F_{BY}=0$$

$$F_{DY}=783,2 \text{ N}$$

$$F_{BY}=783,2 \text{ N}$$

$$\sum M(B)=0$$

$$F_{DY} \cdot 0,152 - F_{CX} \cdot 0,059 = 0$$

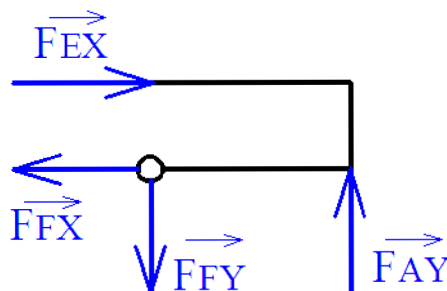
$$F_{CX} = 119,046 / 0,059 = 2017,74 \text{ N}$$

$$\sum F_X=0$$

$$F_{CX} - F_{BX} = 0$$

$$F_{CX} = 2017,74 \text{ N}$$

$$F_{BX} = 2017,74 \text{ N}$$



Obr.28 Schéma uvolnění kyvné vidlice MAX F1.

$$\sum M(F)=0$$

$$F_{AY} \cdot 0,129 - F_{EX} \cdot 0,056 = 0$$

$$F_{EX} = 58,411 / 0,056 = 1043,06 \text{ N}$$

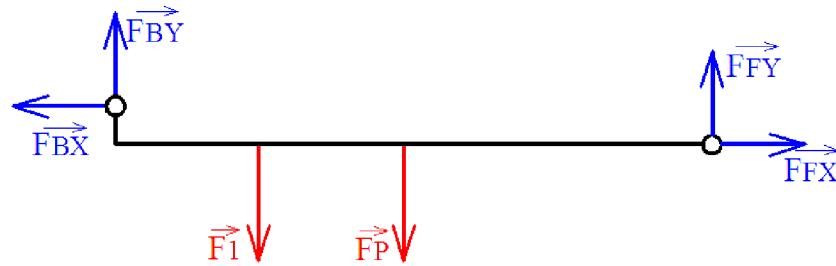
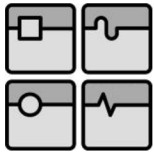
$$\sum F_Y=0$$

$$F_{AY} = F_{FY} = 452,8 \text{ N}$$

$$\sum F_X=0$$

$$F_{FX} = F_{EX}$$

$$F_{FX} = 1043,06 \text{ N}$$

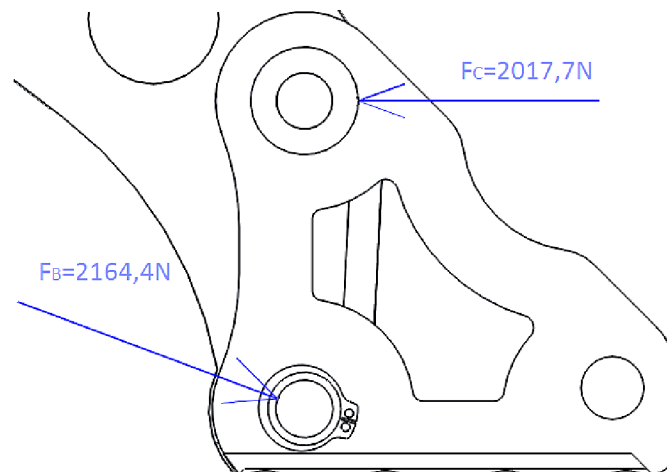


Obr.29 Schéma uvolnění desky MAX F1.

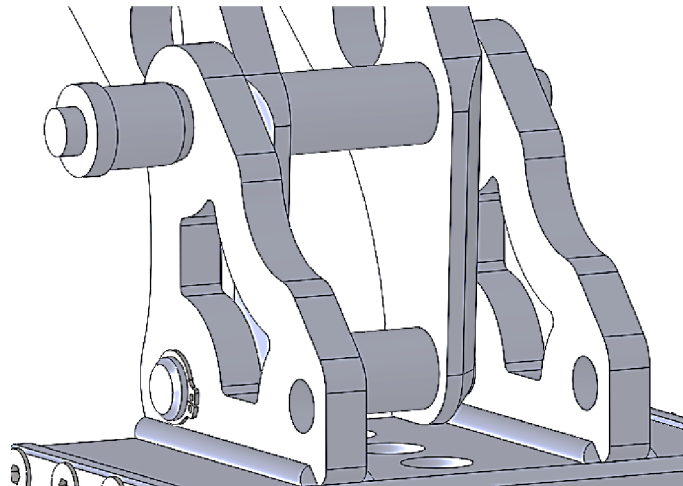
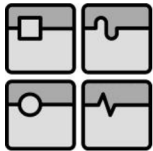
$$\sum M(B)=0$$
$$F_1 \cdot 0,123 + F_P \cdot 0,248 - F_{FY} \cdot 0,513 - F_{FX} \cdot 0,033 = 0$$

$$\sum F_Y = 0$$
$$F_{BY} - F_1 - F_P + F_{FY} = 0$$

$$\sum F_X = 0$$
$$F_{CX} - F_{BX} = 0$$



Obr.30 Znáznornění sil působících na čepy skládacího mechanismu.



Obr.31 Uspořádání součástí skládacího mechanismu.

Výpočet namáhání čepu skládacího mechanismu

Pro výpočet namáhání čepu je nutné vzít v úvahu sílu nejen od statického ztížení, ale i sílu vzniklou při dynamických změnách zatížení. Tyto síly byly získány pomocí CAD programu vymodelované sestavy.

Síly odpovídají přejezdu překážky výšky 50 mm při rychlosti 30 km/h a plném zatížení.

Síly vzniklé od zrychlování a zpomalování namáhají součásti skládacího mechanismu silami řádově nižšími, než je velikost sil vzniklých od přejezdu nerovnosti.

Maximální síla, kterou bude při této situaci namáhán čep skládacího mechanismu je 17500 N. Z obr.31 je patrné, že tato síla bude namáhat čep na střiž a to na dvou místech.

Čep skládacího mechanismu je volen z katalogu firmy Kipp.

Parametry fixačního čepu Kipp:

Katalogové číslo: K0746

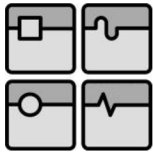
Materiál: Zušlechtěná nerezová ocel 1.4542

Průměr: 12 mm

Smyková síla dvoustřížná: 144 kN

Ovládání: Samovolné jištění, odjištění stisknutím tlačítka.

Jištění: Dvěma kuličkami.



Obr.32 Fixační čep Kipp.

Kontrola čepu na stříh:

$$F_{CD} < F_{SC}$$
$$17500 \text{ N} < 144000 \text{ N}$$

Kde: F_{CD} – zatěžovací síla dynamického rázu, F_{SC} – střížná síla čepu.

Kontrola uložení čepu na otláčení:

$$P_{CD} = F_{CD} / S_{\delta} = 72,9 \text{ MPa}$$
$$P_D = P_0 * 0,8 = 80 \text{ MPa}$$
$$P_{CD} < P_D$$
$$72,9 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Kde: P_{CD} – tlak od dynamického rázu, S_{δ} – plocha dotyku čepu, P_D – dovolený tlak pro duralovou slitinu.

Výpočet namáhání hřídele skládacího mechanismu

Pro výpočet namáhání hřídele je nutné vzít v úvahu sílu nejen od statického ztížení, ale i sílu vzniklou při dynamických změnách zatížení. Tyto síly byly získány pomocí CAD programu vymodelované sestavy.

Síly odpovídají přejezdu překážky výšky 50 mm při rychlosti 30 km/h a plném zatížení.

Maximální síla, kterou bude při této situaci namáhán hřídel skládacího mechanismu je 18700 N. Z obr.31 je patrné, že tato síla bude namáhat hřídel na stříh a to na dvou místech.

Parametry hřídele skládacího mechanismu:

Materiál: nerezová ocel 1.4542

Průměr: 14 mm

Jištění: Hřídelový pojistný kroužek.

Kontrola hřídele na stříh:

$$T_{DSH}=0,7 \cdot R_m=665 \text{ MPa}$$

$$T_{SH}=F/2 \cdot S=60,75 \text{ MPa}$$

$$T_{SH} < T_{DSH}$$

$$60,75 \text{ MPa} < 665 \text{ MPa}$$

Kde: T_{SH} – napětí vyvozené zatěžující silou, T_{DSH} – napětí na mez pevnosti.

Kontrola uložení hřídele na otláčení:

$$P_{BD}=F_{BD}/S_H=72,9 \text{ MPa}$$

$$P_D=P_0 \cdot 0,8=80 \text{ MPa}$$

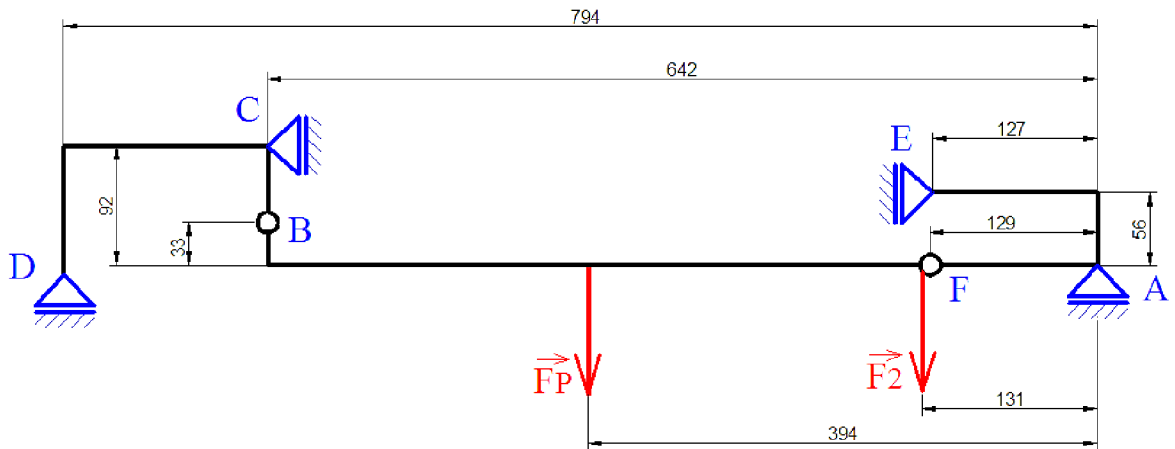
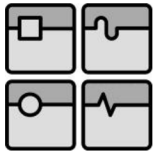
$$P_{BD} < P_D$$

$$66,8 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

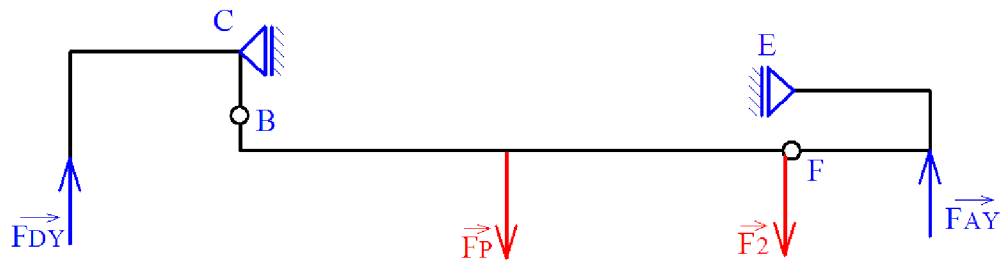
Kde: P_{BD} – tlak od dynamického rázu, S_H – plocha dotyku hřídele, P_D – dovolený tlak pro duralovou slitinu.

Maximální síla F_2

Tento stav by nastal, pokud by jezdec hmotnosti 110 kg stál pouze na jedné noze a to v místě, které není určené pro stání jezdce, ale tato situace by mohla nastat. Byl by to případ, kdy by jezdec stál na jedné noze na úchyty odpružení zadního kola. V tomto případě bude síla $F_1=0 \text{ N}$ a síla $F_2=g \cdot m=9,81 \cdot 110=1079 \text{ N}$. Tato síla bude vyvozovat největší zatížení pružin a čepů kyvné vidlice, proto bude použita pro kontrolní výpočet. V tomto výpočtu bude dále zohledněna hmotnost konstrukce koloběžky včetně elektrovýstroje, pro výpočet znázorněno jedinou silou F_p v těžišti koloběžky. Síla $F_p=g \cdot m=9,81 \cdot 16=157 \text{ N}$.



Obr.33 Schéma MAX F2.



Obr.34 Schéma částečného uvolnění MAX F2.

$$F_2 = 1079 \text{ N}$$

$$F_P = 157 \text{ N}$$

$$\sum M_{(D)} = 0$$

$$F_P \cdot 0,400 + F_2 \cdot 0,663 - F_{AY} \cdot 0,794 = 0$$

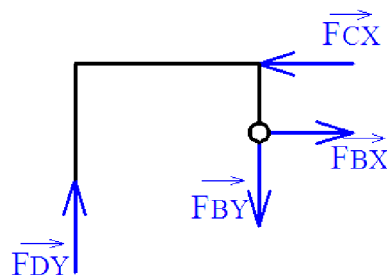
$$F_{AY} = 778,18 / 0,794 = 980,1 \text{ N}$$

$$\sum F_Y = 0$$

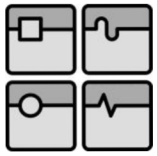
$$F_{DY} - F_P - F_2 + F_{AY} = 0$$

$$F_{AY} = 980,1 \text{ N}$$

$$F_{DY} = 255,9 \text{ N}$$



Obr.35 Schéma uvolnění předního závěsu MAX F2.



$$\sum F_Y=0$$

$$F_{DY}-F_{BY}=0$$

$$F_{DY}=255,9 \text{ N}$$

$$F_{BY}=255,9 \text{ N}$$

$$\sum M_{(B)}=0$$

$$F_{DY} \cdot 0,152 - F_{CX} \cdot 0,059 = 0$$

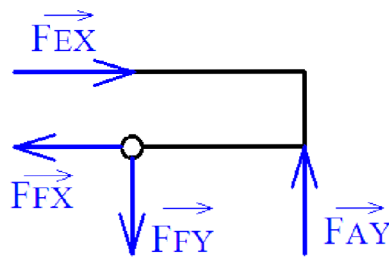
$$F_{CX} = 38,897 / 0,059 = 659,3 \text{ N}$$

$$\sum F_X=0$$

$$F_{CX} - F_{BX} = 0$$

$$F_{CX} = 659,3 \text{ N}$$

$$F_{BX} = 659,3 \text{ N}$$



Obr.36 Schéma uvolnění kyvné vidlice MAX F2.

$$\sum M_{(F)}=0$$

$$F_{AY} \cdot 0,129 - F_{EX} \cdot 0,056 = 0$$

$$F_{EX} = 126,433 / 0,056 = 2257,7 \text{ N}$$

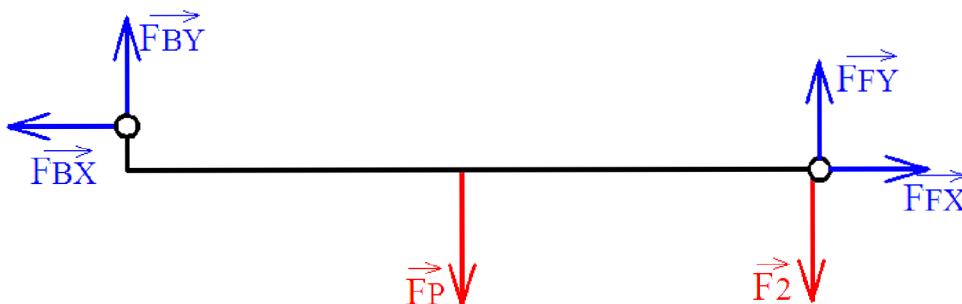
$$\sum F_Y=0$$

$$F_{AY} = F_{FY} = 980,1 \text{ N}$$

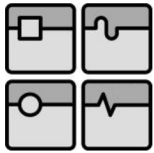
$$\sum F_X=0$$

$$F_{FX} = F_{EX}$$

$$F_{FX} = 2257,7 \text{ N}$$



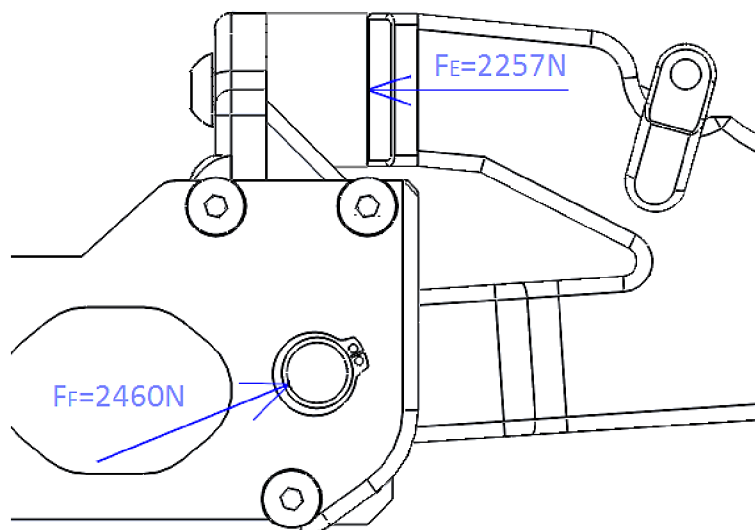
Obr.37 Schéma uvolnění desky MAX F2.



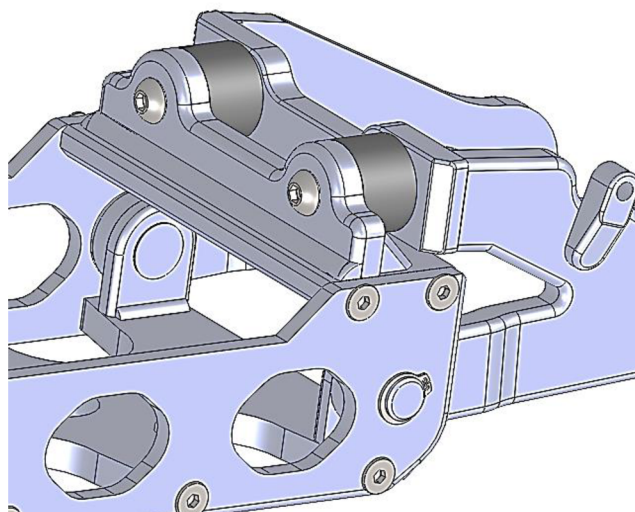
$$\sum M_{(B)}=0$$
$$F_1 \cdot 0,123 + F_P \cdot 0,248 - F_{FY} \cdot 0,513 - F_{FX} \cdot 0,033 = 0$$

$$\sum F_Y=0$$
$$F_{BY} - F_1 - F_P + F_{FY} = 0$$


$$\sum F_X=0$$
$$F_{CX} - F_{BX} = 0$$



Obr.38 Znáznornění sil působících na čepy a odpružení zadní kyvné vidlice.



Obr.39 Uspořádání součástí zadní kyvné vidlice.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 44
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Výpočet namáhání čepů zadní kyvné vidlice

Pro výpočet namáhání čepů zadní kyvné vidlice je nutné vzít v úvahu sílu nejen od statického ztížení, ale i sílu vzniklou při dynamických změnách zatížení. Tyto síly byly získány pomocí CAD programu vymodelované sestavy.

Síly odpovídají přejezdu překážky výšky 50 mm při rychlosti 30 km/h a plném zatížení.

Maximální síla, kterou budou při této situaci namáhány čepy zadní kyvné vidlice je 21170 N. Z obr.39 je patrné, že tato síla bude namáhat každý čep na střiž a to na dvou místech.

Parametry čepu zadní kyvné vidlice:

Materiál: nerezová ocel 1.4542

Průměr: 14 mm

Jištění: Hřídelový pojistný kroužek.

Kontrola čepu na střiž:

$$T_{DSK}=0,7 \cdot R_m=665 \text{ MPa}$$

$$T_{SK}=F/4 \cdot S=31,6 \text{ MPa}$$

$$T_{SK} < T_{DSK}$$

$$31,6 \text{ MPa} < 665 \text{ MPa}$$

Kde: T_{SK} – napětí vyvozené dynamickým rázem, T_{DSK} – napětí na mez pevnosti.

Kontrola uložení čepů zadní kyvné vidlice na otlačení:

$$P_{FD}=F_{FD}/2 \cdot S_D=69,4 \text{ MPa}$$

$$P_D=P_0 \cdot 0,8=80 \text{ MPa}$$

$$P_{FD} < P_D$$

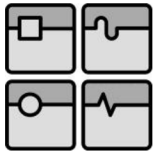
$$69,4 \text{ MPa} < 80 \text{ MPa}$$

Kde: P_{FD} – tlak od dynamického rázu, S_D – plocha dotyku čepů, P_D – dovolený tlak pro duralovou slitinu.

Výpočet namáhání odpružení zadní kyvné vidlice

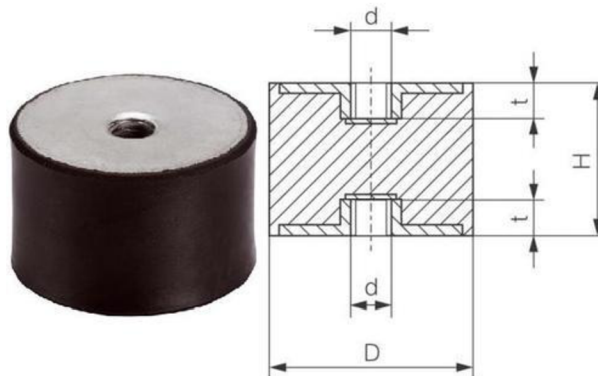
Pro zvýšení jízdní stability, komfortu jízdy a snížení dynamických rázů přenášených do konstrukce koloběžky, je zadní kyvná vidlice vybavena odpružením pomocí silentbloků.

Pro výpočet namáhání silentbloků zadní kyvné vidlice je nutné vzít v úvahu sílu nejen od statického ztížení, ale i sílu vzniklou při dynamických změnách zatížení. Tyto síly byly získány pomocí CAD programu vymodelované sestavy.



Síly odpovídají přejezdu překážky výšky 50 mm při rychlosti 30 km/h a plném zatížení.

Maximální síla, kterou budou při této situaci namáhány silentbloky odpružení zadní kyvné vidlice je 19420 N. Z obr.39 je patrné, že tato síla bude namáhat silentbloky na tlak a to každý z nich polovinou své aktuální hodnoty.



Obr.40 Silentblok odpružení zadní kyvné vidlice. [15]

Parametry silentbloku odpružení zadní vidlice ,elesa+ganter:

Katalogové číslo: DVA.3-30-20-SST-M8-55

Průměr: $D=30$ mm

Výška: $H=20$ mm

Závit: $d=M8$

Tuhost: 420 N/mm

Maximální stlačení: 5 mm

Stlačení silentbloku statickým zatížením:

$$F_{FS}=2257 \text{ N}$$

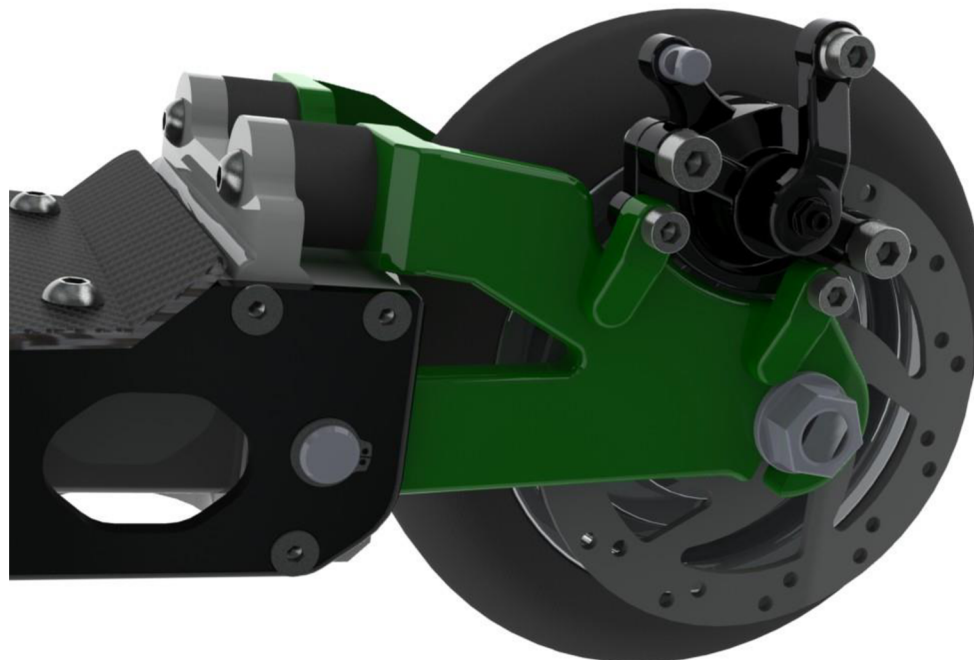
Při zatížení koloběžky maximální hmotností budou silentbloky stlačeny o 2,7 mm.

Stlačení silentbloku dynamickým zatížením:

$$F_{FD}=19420 \text{ N}$$

Při zatížení koloběžky maximální hmotností a maximálním dynamickým rázem budou silentbloky stlačeny o 5 mm a utlumí 4200 N z této síly, zbytek síly bude přenesen dorazy silentbloků.

Kde: F_{FS} —síla působící na silentbloky od statického zatížení, F_{FD} —síla působící na silentbloky od maximálního dynamického rázu.



Obr.41 Provedení a odpružení zadní kyvné vidlice.

8. Volba nakupovaných komponent konstrukce koloběžky

Je vhodné volit přednostně součásti dostupné na trhu, to následně snižuje časovou i finanční náročnost stavby, vývoje a umožňuje přesnější plánování nákladů na realizaci.

Vzhledem k povaze a konstrukci elektrokoloběžky je velké množství vhodných dílů dostupných z komponentů pro stavbu kol a elektrokol.

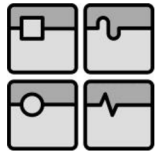
8.1. Elektronická výstroj koloběžky

V kapitole 6.1 a 6.2 byly již zvoleny a zdůvodněny motory a akumulátor, v této části jsou voleny zbývající části elektrovýstroje.

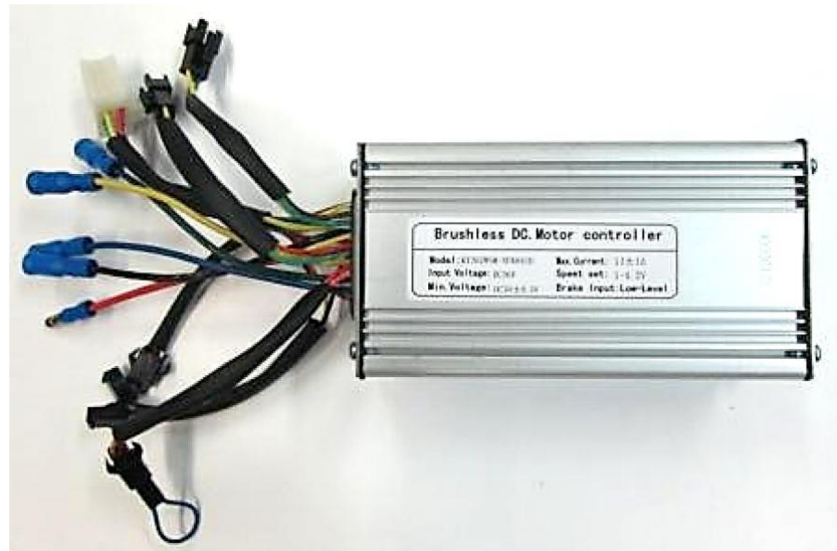
Řídící jednotka motoru

Motory pro pohon koloběžky byly voleny bezkartáčové stejnosměrné se třemi hallovými snímači, pracovní napětí elektroinstalace je 36 V a nominální pracovní proud motoru je 11 A. Pro provoz BLDC motorů je nutná řídicí jednotka, která zajišťuje elektronickou komutaci, v tomto případě musí mít řídicí jednotka i vstup pro napojení hallových snímačů natočení.

Je nutné, aby každý motor (v předním a zadním kole) měl svojí řídicí jednotku, která bude řídit motor nezávisle na poloze a zatížení motoru druhého.



Zvolena je řídicí jednotka od čínské firmy FOCAN, která vyhovuje elektronickými parametry, provozními nároky a zástavbovými rozměry.



Obr.42 Řídicí jednotka BLDC motoru. [16]

Parametry řídicí jednotky motoru:

Provozní napětí: 36 V

Ochrana proti překročení proudu: 11 A

Vstup pro hallový snímač

Účinnost: 99 %

Krytí: IP54

Odpojení motoru brzdovým spínačem

Tři módy maximální rychlosti

Tempomat 6 km/h

Ochrana akumulátoru odpojením při poklesu napětí pod 31 V

Řídicí jednotka nastavuje rychlost motoru na základě vstupu z potenciometru akceleračního prvku. Řídicí jednotka má koloběžka dvě, obě napojeny na jeden akcelerační prvek. Výstup na řízení rychlosti se skládá ze tří vodičů: dvou napájecích a signálního. Aby nedocházelo k vyrovnávání případného rozdílu napětí napájecími vodiči, je napájení realizováno pouze z jedné jednotky, druhá jednotka je napojena pouze signálním vodičem. Toto zapojení nastavuje na obou motorech stejnou rychlost. Při zatížení jednoho motoru klesají jeho otáčky a roste krouticí moment, aniž by tím byl ovlivněn nezatížený motor. Toto chování je výhodné pro pohon koloběžky s oběma hnanými koly a způsobuje při zatáčení nárůst hnací síly na zadní kolo rozdílnou délkou trajektorií jednotlivých kol.

Ovládací a indikační panel

Pro ovládání módů rychlostí, tempomatu 6 km/h a indikaci stavu baterie je koloběžka vybavena LED ovládacím/ indikačním panelem, který je umístěn na trubce řídítek. Ovládací panel také umožňuje vypnutí a zapnutí reakce jednotek na impulsy z ovládacích prvků.

Jednotka je volena s co nejmenšími rozměry a kompaktním designem.



Obr.43 Ovládací a indikační panel. [17]

Parametry ovládacího a indikačního panelu:

Provozní napětí: 36 V

Krytí: IP54

Vypnutí/ zapnutí

Indikace stavu LED diodami

Tři módy maximální rychlosti

Tempomat 6 Km/h

Indikace stavu baterie ve čtyřech stupních

Ovládací a indikační panel je připojen k řídicí jednotce čtyřmi vodiči. Dvěma napájecími, vodičem nastavujícím mód rychlosti a vodičem aktivace tempomatu. Panel ovládá obě řídicí jednotky. Aby nedocházelo k vyrovnávání případného rozdílu napětí napájecími vodiči, je panel napájen pouze z jedné řídicí jednotky a signální vodiče tempomatu a módu rychlosti jsou napojeny na obě jednotky. Při tomto zapojení mají oba motory v nezátíženém stavu stejnou rychlost při měnícím se signálu.

Akcelerační prvek

Ovládání rychlosti motorů a tím i rychlosti jízdy probíhá pomocí akceleračního prvku, ten je volen jako páčkový pro ovládání palcem.

Tento ovladač je umístěn vedle gripu řídicích a umožňuje jistý a pevný úchop při jízdě doprovázené odrážením.



Obr.44 Akcelerační páčka. [3]

Parametry akcelerační páčky:

Provozní napětí: 36 V

Krytí: IP54


Snímání polohy hallovým snímačem

Brzdové páčky

Koloběžka je vybavena dvěma nezávislými brzdami, ovládanými brzdovými páčkami. U elektrokoloběžky je nutné, aby mimo vývodu pro ovládání brzdíče obsahovali i spínač reagující při stisku páčky.



Obr.45 Brzdová páčka. [3]

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 50
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Parametry brzdové páčky:

Provozní napětí: 36 V
 Krytí: IP54
 Vývod brzdového spínače
 Přenos brzdové síly bovdenem

Je nutné, aby při stisknutí páčky došlo k odpojení pohonu aktivovaného akcelerační páčkou, nebo tlačítkem 6 km/h. To je realizováno vstupem řídicí jednotky. V případě koloběžky se dvěma řídicími jednotkami je zapojení provedeno tak, aby při stisknutí přední, nebo zadní brzdy byly odpojeny vždy oba motory.

Nabíjecí zařízení akumulátorů

Vzhledem k požadavku na dobu nabíjení akumulátorů maximálně 8 hodin postačuje nabíjecí zařízení s nabíjecím proudem 0,2 C. Takové zařízení nabije akumulátor vybitý na 31 V za 5,5 hodiny.



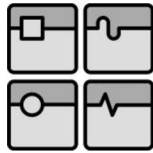
Obr.46 Nabíječka LiFePO4. [3]

Parametry nabíjecího zařízení:

Vstupní napájení 100/ 240 V
 Příkon 1,8 A
 Výstupní napětí 43,8 V
 Nabíjecí proud 2 A
 LED indikace stavu nabíjení

8.2. Komponenty konstrukce koloběžky

V kapitole 7.1 byly již zvoleny a popsány silentbloky kyvné vidlice a čep skládacího mechanismu, v této části jsou voleny zbývající nakupované komponenty.



Brzdíče

Koloběžka je vybavena dvěma nezávislými brzdami, ovládanými brzdovými páčkami. Vedení síly je realizováno bovdenem. Brzdíče jsou mechanické, kotoučové. Brzdíče jsou voleny stejné pro přední i zadní kolo.



Obr.47 Brzdič. [18]

Parametry brzdíče:

- Průměr brzdového kotouče 135 mm
- Mechanicky ovládaný
- Tloušťka brzdového kotouče do 3 mm
- Plovoucí třmen
- Třmen je nastavitelný
- Výměnné brzdové destičky

Brzdové kotouče

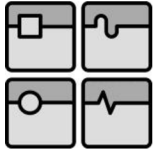
Brzdové kotouče jsou voleny od dodavatele motorů.

Parametry brzdových kotoučů:

- Průměr kotouče 135 mm
- Tloušťka kotouče 2 mm
- Materiál nerezová ocel

Řídítka

Řídítka jsou pevná typu vlašťovky, díky představci je možné jejich otočení při složení koloběžky a tím je realizováno snížení přepravní šířky.



Obr.48 Řídítka. [19]

Parametry řídítek:

Výrobce LOGIC
Materiál 6061 T6
Průměr 25,4 mm
Délka 440 mm

Představec

Představec slouží pro upevnění řídítek na trubku teleskopu, přenáší ovládací moment během řízení a svojí geometrií ovlivňuje stabilitu jízdy.



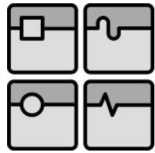
Obr.49 Představec. [19]

Parametry představce:

Výrobce BBB
Materiál 6061 T6
Průměr řídítek 25,4 mm
Průměr teleskopu 28,5 mm
Montáž šrouby s vnitřním šestihranem
Délka 70 mm
Úhel 35°

Objímky trubky teleskopu

Objímky zajišťují trubku teleskopu proti posunutí, nebo otočení. Na spoji s hlavovou trubicí jsou objímky zajištěny pomocí šroubu s vnitřním



šestihranem, pro zajištění řídítek je volena objímka zajišťovaná páčkou s vačkou pro snadné nastavení výšky řídítek, nebo jejich otočení při složení.



Obr.50 Objímka pevná.



Obr.51 Objímka rychloupínací. [19]

Parametry objímek:

Výrobce FORCE
Materiál 6061 T6
Průměr 34,9 mm

Hlavové složení

Pro uložení a snadný pohyb hlavové trubky slouží hlavové složení. Trubka hlavového složení je závitová, složení je tedy voleno závitové.



Obr.52 Závitové hlavové složení. [19]

Parametry závitového složení:

Výrobce FORCE
Materiál ocel
Rozměr 25,4 mm

Ložiska zadní kyvné vidlice

Pro uložení a snadný pohyb zadní odpružené kyvné vidlice je v bočnicích kyvné vidlice samomazné kluzné ložisko.



Obr.53 Pouzdro kyvné vidlice. [21]

Parametry kluzného pouzdra kyvné vidlice:

Výrobce Arkov

Materiál kompozit

Vnější průměr 16 mm

Vnitřní průměr 14 mm

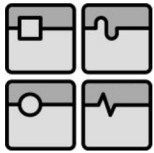
Šířka 10 mm

9. Volba geometrie přední vidlice

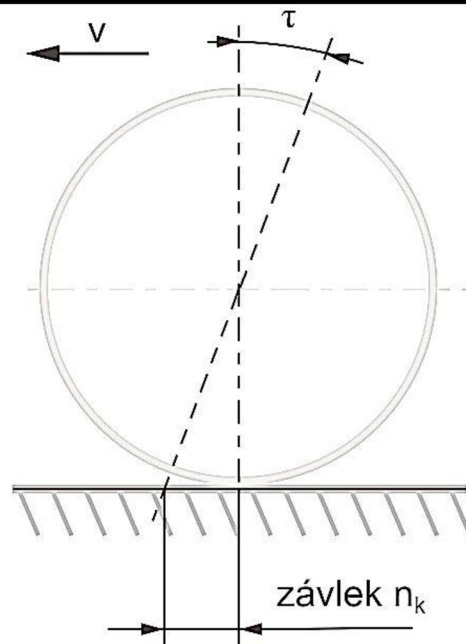
Volbou geometrie se zabývá velké množství literatury v oblasti konstrukce jízdních kol, nebo motocyklů, ale v žádném případě není přední kolo hnané. Tímto se situace mění na stav, který není v dostupných zdrojích zkoumán, nebo popisován. Stav geometrie předního hnaného řízeného kola je popisován pouze pro motorová vozidla dvoustopá.

Na základě zkušeností s nevhodností klasické geometrie sklonu osy řízení a závleku u jízdního kola vybaveného motorem pouze v předním kole, jsou zvoleny následující parametry:

Úhel řízení $T = 8^\circ$, Závlek $n_k = 2$ mm. Tyto hodnoty by vzhledem k malému průměru kola neměly způsobovat problémy se stabilitou, ale zároveň by mělo být řízení snadné a dostatečně hbité.




DIPLOMOVÁ PRÁCE



Obr.54 Závlek a úhel řízení. [20]



Obr.55 Geometrie a provedení vidlice předního kola s motorem.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 56
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

10. Ekonomické zhodnocení

Náklady na výrobu jsou uvedeny na jeden kus koloběžky. S ohledem na vyráběné množství byla volena i vhodná technologie výroby, která by ovšem byla pro větší sérii jiná.

Ekonomické náklady na nákup komponent


BLDC HUB motory: 4 200,-
 Baterie LiFePO4: 7 490,-
 Řídící jednotky včetně panelu: 2200,-
 Nabíječka: 650,-
 Brzdiče: 440,-
 Brzdové kotouče: 304,-
 Sada Brzdových páček: 200,-
 Akcelerátor: 202,-
 Gripy řídítek: 20,-
 Kabely a bovdeny: 200,-
 Spojovací materiál: 300,-
 Objímky: 270,-
 Hlavové složení: 50,-
 AHEAD trubka: 200,-
 Fixační čep: 1213,-
 Představec: 399,-
 Řídítka: 105,-
 Silentbloky: 70,-

Celkem za nákup komponent: 18 513,- Kč včetně DPH

Ekonomické náklady na nákup polotovarů

Duralové trubky: 300,-
 Duralové desky: 1 300,-
 Polymerová tyč: 100,-
 Uhlíková tkanina: 450,-
 Epoxidová pryskyřice: 100,-
 Nerezový plech a pásovina: 100,-

Celkem za nákup polotovarů: 2 350,- Kč včetně DPH

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 57
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Ekonomické náklady na dělení materiálu

Laserové pálení a ohyb: 200,-

Pálení dílů vodním paprskem: 5 400,-

Celkem za dělení materiálu: 5 600,- Kč včetně DPH

Ekonomické náklady na svařování

Svařování nerezové sestavy: 140,-

Svařování duralové sestavy: 400,-

Celkem za svařování: 540,- Kč včetně DPH

Ekonomické náklady na práci

Celkový čas pro obrábění: 8 hodin

Výroba CF desky: 2 hodiny

Montáž: 2 hodiny

Hodinová sazba: 300,-

Celkem za práci: 3 600,- Kč včetně DPH

Ekonomické náklady na dopravu

Doprava motorů: 3 000,-

Doprava komponent: 345,-

Doprava polotovarů: 400,-

Celkem za dopravu: 3 745,- Kč včetně DPH

Ekonomické náklady na povrchové úpravy

Tryskání balotinou + eloxování: 820,-


Celkem za nákup komponent: 820,- Kč včetně DPH

**Celkové náklady na výrobu elektrické koloběžky byly
35 168,- Kč včetně DPH**



Obr.56 Sestava elektrické koloběžky.

Celkové náklady na výrobu prototypu byly 35 168,-Kč. Při sledování jednotlivých položek celkových nákladů je patrné, že by bylo při další výrobě vhodné optimalizovat náklady na dopravu. Další výhodná změna by byla při větší vyráběné sérii zvolit alternativní technologii k dělení vodním paprskem. Tím by se snížily náklady jak na dělení materiálu, tak pozdější časová náročnost na obrábění jednotlivých dílů. Vzhledem k tomu, že takovýto výrobek nemá zatím konkurenci v sériové produkci jak vzhledem ke koncepci obou hnaných kol, tak i v celkovém výkonu při takto kompaktních rozměrech, není možné objektivně hodnotit cenu vzhledem ke konkurenčním výrobkům dostupných na trhu.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 59
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

11. Navrhované úpravy z reálného provozu

Aktuálně má koloběžka najeto 600 km v různém prostředí a jízda byla testována na různých typech povrchů. V této provozní době nedošlo k jejímu poškození, ani viditelnému opotřebením žádného z komponentů, nebo dílů. Z chování během provozu by ovšem ke zlepšení uživatelských vlastností přispěly úpravy, které jsou popsány a zdůvodněny v následující kapitole.

Skládací mechanismus

Ve skládacím mechanismu dochází vlivem vůlí při jízdě po nerovném povrchu k chrastění, které vzniká narážením kovových povrchů. Tento jev by bylo vhodné odstranit. Ekonomicky výhodným a funkčním řešením by bylo zvětšit díry pro hřídel a čep skládacího mechanismu a vybavit polymerovými pouzdry.

Úchyt bovdenu přední brzdy

Brzdíče kotoučových brzd jsou plovoucí mechanické. Bovden předního brzdíče je stažen v kabelovém svazku. Tím dochází k jeho pohybu během zatáčení vůči přední vidlici, čímž je naklápěn brzdíč a tře tak o bok brzdového kotouče. Vhodné řešení je přidat vedení bovdenu na přední vidlici.

Vedení teleskopu řídítek


Teleskop vysunování řídítek by bylo vhodné vybavit vedením, které by zajišťovalo pouze jejich lineární vedení a při úplném zasunutí jejich rotaci, což by usnadňovalo jejich nastavení při rozkládání koloběžky, nebo změny výšky řídítek. To by bylo možné provést drážkou ve vnitřní trubce teleskopu a do ní zapadajícím vodícím čepem na trubce vnější.

Stojan

Aby bylo možné koloběžku nechat odloženou v pohotovostní poloze, měla by být konstrukce doplněna o vhodný stojan, který by neměl výrazně přesahovat rozměry koloběžky, měl by být pohodlně přístupný a jeho obsluha snadná.

12. Možné modifikace

Konstrukční provedení koloběžky umožňuje její snadnou modifikaci a tím upravení dle požadavků konkrétní poptávky.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 60
DIPLOMOVÁ PRÁCE		

Počet motorů a výkon

Výrobce HUB BLDC motorů dodává se stejnými zástavbovými rozměry motory i s jiným výkonem, nebo pouze kolo bez motoru. Je tedy možné vyrobit variantu s nižším výkonem, případně variantu s hnaným pouze jedním kolem. Při použití pouze jednoho motoru by byla použita jedna řídicí jednotka.

Řídicí jednotka

Řídicí jednotka je vybavena možností zapojení funkce tempomatu, funkce omezení maximální rychlosti na 25 km/h a funkcí rekuperačního brzdění, které je neproporcionální s 18 % účinností. Rekuperační brzdění je aktivováno brzdovým spínačem.

Tuhost odpružení kyvné vidlice

Silentbloky odpružení zadní kyvné vidlice je možné měnit ve třech variantách, přičemž každá z nich má jinou tuhost. To umožňuje optimalizovat funkci odpružení vzhledem k hmotnosti jezdce.

Velikost a tvar řídítek

Řídítka je možné volit libovolně široká, případně s jiným úhlem, nebo tvarem. Ideální je ovšem dodržet jejich maximální šířku 450 mm, která umožňuje otočení řídítek při složení a tím snížení přepravní šířky.


Barevné provedení

Přední vidlice je vyrobena z nerezové oceli a její povrchová úprava je tryskáním balotinou. Je možné následně provést povrchovou úpravou práškovým lakováním v libovolné barvě.

Duralové díly jsou rovněž tryskány balotinou pro sjednocení povrchu a následně eloxovány pro zvýšení odolnosti povrchu. Jednotlivé díly je možné vyvést v jakékoliv barvě eloxu.

Street legal

Koloběžku je možné nastavit a dovybavit tak, aby splňovala požadavky pro provoz na pozemních komunikacích. Poté by koloběžka spadala do stejné kategorie jako jízdní kolo.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 61
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

13. Závěr

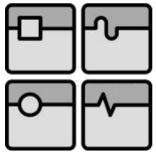
Tématem diplomové práce je návrh konstrukce elektrické koloběžky. Cílem diplomové práce bylo vytvoření konstrukce koloběžky poháněné elektromotorem, včetně elektrovýstroje, ekonomického zhodnocení a vytvoření výkresové dokumentace. Záměrem práce bylo vytvoření prototypu, který by v praxi ověřil navrhované konstrukční řešení a ekonomické předpoklady tohoto řešení.

Prvním krokem byla rešerše zkoumající na trhu dostupné řešení různých výrobců a aktuální ceny jejich výrobků. Tímto byly upřesněny vlastnosti, které by koloběžka měla splňovat, aby její návrh měl praktický smysl a dosahovala výjimečných vlastností, které u modelů na trhu nebyly nalezeny.

V první části byl volen elektrický pohon. Před volbou vhodného typu byly popsány elektromotory a akumulátory, které by bylo možno pro stavbu použít a následně srovnány jejich parametry a určen nejvhodnější typ. Po srovnání parametrů byl zvolen motor BLDC. Konstrukčně byl tento elektromotor volen jako součást disku kola. Při výpočtu dynamických vlastností koloběžky byly pro dosažení požadovaného výkonu voleny motory dva. To umožnilo použití motorů bez vnitřních převodů. V závislosti na zvolených motorech byl volen akumulátor. Z popsaných typů akumulátorů parametry vyhovoval akumulátor LiFePO₄. Kapacita akumulátoru byla určena po konzultaci s výrobcem elektrických koloběžek na základě požadovaného dojezdu koloběžky. Následně byla pomocí CAD software vymodelována konstrukce pro umístění pohonných komponent. Tato konstrukce byla tvořena s ohledem na požadavky vlastností koloběžky. Konstrukce byla zvolena jako sestava svarků z duralové slitiny, která byla zvolena pro nízkou měrnou hmotnost při dostačující pevnosti. Metoda svařování byla volena dle zkoušek provedených na ČVUT pro optimální mechanické vlastnosti svarku. Pro spoje mezi svarky byl proveden kontrolní výpočet pro dvě varianty nejvíce namáhající tato místa. Přední vidlice byla volena z nerezové oceli kvůli technologii výroby. Pro snížení rázů přenášeným do konstrukce byla zadní vidlice konstruována jako odpružená, pružiny byly voleny pryžové. Kvůli použití motoru v předním kole bylo nutné zvolit geometrii přední vidlice jinou, než jaká je užívána u konstrukcí s hnaným pouze zadním kolem. Řídítka byla navržena výškově stavitelná. Konstrukce byla navržena jako skládací, pro snížení přepravních rozměrů.

Pro motory byly zvoleny vhodné řídicí jednotky, které bylo nutné zapojit tak, aby oba motory pracovaly se stejnou rychlostí při užití jednoho ovládacího prvku. Byl zvolen ovládací panel umožňující přepínání rychlosti motorů a vypnutí/zapnutí řídicích jednotek. Dále byly zvoleny brzdové páčky se signalizací stisknutí pro odpojení motorů a akcelerační páčka ovládaná palcem. Pro nabíjení akumulátoru byla zvolena nabíječka dle požadované doby nabíjení.

V závěru práce je provedeno celkové ekonomické zhodnocení, které vychází přímo z realizace provedeného konstrukčního návrhu.



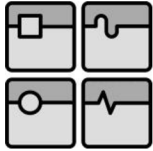
Dle konstrukčního návrhu skládajícího se z vyráběných a nakupovaných dílů byla koloběžka vyrobena pro ověření předpokládaných vlastností. Pro ověření chování koncepce obou hnaných kol, této koncepci přizpůsobené geometrii přední vidlice a použití pryžových pružin zadní kyvné vidlice.

V současné době bylo s koloběžkou najeto ca 600 km po různých typech povrchů a během různých provozních podmínek. Konstrukce nevykazuje poškození, deformaci, ani viditelné opotřebení v žádném místě. Geometrie přední vidlice byla volena vhodně: přední kolo nevykazuje nestabilitu při přejezdu terénních nerovností, ani nevyžaduje nadměrnou sílu pro ovládání řízení. Koncepce obou hnaných kol se jeví jako velice stabilní a výhodná zejména na mokřem povrchu, blátivém povrchu, trávníku a na povrchu znečištěného sypkými hmotami. Během testování byla koloběžka zatížena hmotností 95 kilogramů. Při tomto zatížení odpružení zadní kyvné vidlice plnilo svoji funkci a tlumilo jak rázy přenášené do konstrukce, tak zvyšovalo komfort jízdy. Koloběžku je možné provozovat jak pouze silou elektromotorů, tak odrážením s asistencí elektromotorů. Užitím motorů bez vnitřních převodů je možné koloběžku provozovat i pouze odrážením bez citelného odporu. Během testování provozu pouze pohonem motory byla maximální rychlost dosažená při jízdě po rovině po zpevněném povrchu 34 km/h, stoupavost 12 %, a dojezd na kapacitu akumulátoru mírným kopcovitým terénem po zpevněném povrchu 30 km. Na základě zkušeností z reálného provozu byly v závěru práce navrženy úpravy konstrukce koloběžky a její možné modifikace.

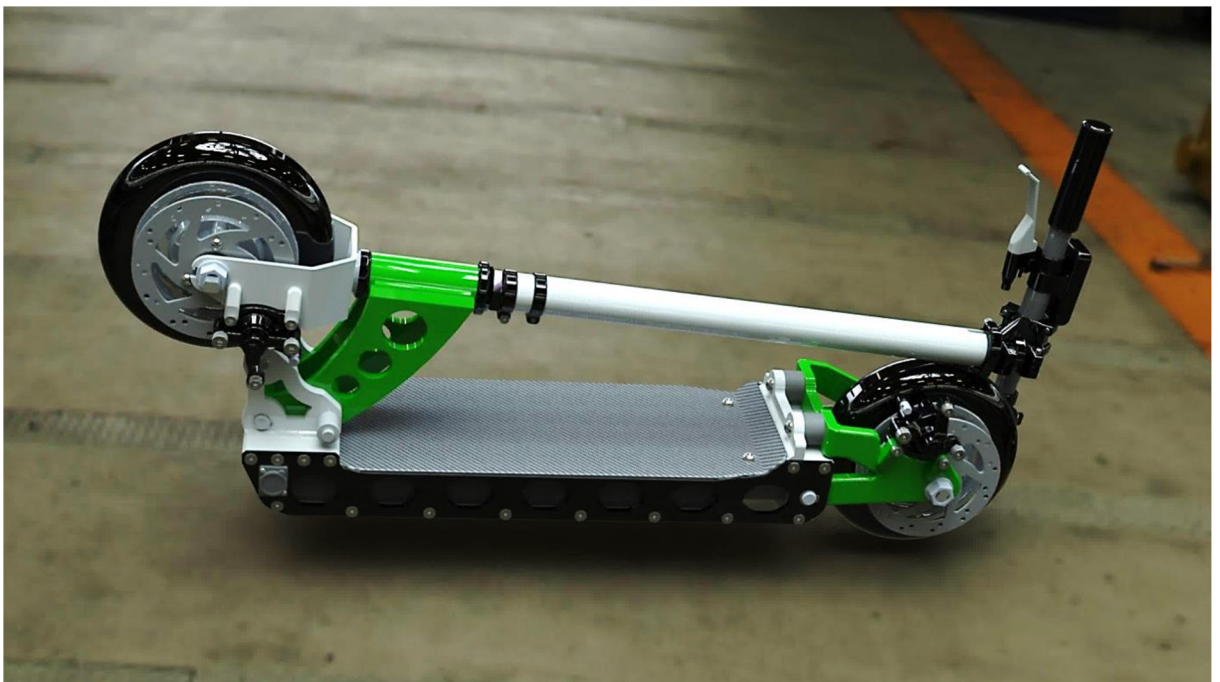
Na základě výsledku ekonomického zhodnocení a na vlastnostech zjištěných z chování konstrukce v reálných podmínkách, je shledán konstrukční návrh jako reálně použitelný v praxi.



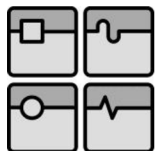
Obr.57 Vyrobená koloběžka.



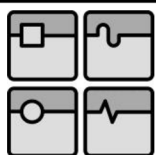
Obr.58 Model rozložené koloběžky.



Obr.59 Model složené koloběžky.

**Seznam použitých značek a symbolů**


$\Sigma M_{(B)}$	[Nm]	Suma momentů k bodu B
$\Sigma M_{(D)}$	[Nm]	Suma momentů k bodu D
$\Sigma M_{(F)}$	[Nm]	Suma momentů k bodu F
A	[-]	Bod středu zadního kola
a_k	[m/s ⁻²]	Zrychlení koloběžky
B	[-]	Bod středu hřídele skládacího mechanismu
C	[-]	Bod středu čepu skládacího mechanismu
c_x	[-]	Součinitel vzdušného odporu
D	[-]	Bod středu předního kola
e	[mm]	Předsunutí radiální reakce
E	[-]	Bod středu silentbloků
F	[-]	Bod středu čepu zadní kyvné vidlice
F_G	[N]	Tíhová síla
F_1	[N]	Síla od hmotnosti jezdce v přední poloze
F_2	[N]	Síla od hmotnosti jezdce v zadní poloze
F_{AX}	[N]	X složka síly v bodu A
F_{AY}	[N]	Y složka síly v bodu A
F_B	[N]	Statická síla působící na hřídel skládacího mechanismu
F_{BD}	[N]	Síla od dynamického rázu v bodu B
F_{BX}	[N]	X složka síly v bodu B
F_{BY}	[N]	Y složka síly v bodu B
F_C	[N]	Statická síla působící na čep skládacího mechanismu
F_{CD}	[N]	Síla od dynamického rázu v bodu C
F_{CX}	[N]	X složka síly v bodu C
F_{CY}	[N]	Y složka síly v bodu C
F_{DX}	[N]	X složka síly v bodu D
F_{DY}	[N]	Y složka síly v bodu D
F_E	[N]	Síla působící na silentbloky odpružení
F_{EX}	[N]	X složka síly v bodu E
F_{EY}	[N]	Y složka síly v bodu E
F_F	[N]	Síla působící na čepy kyvné vidlice
F_{FD}	[N]	Síla od dynamického rázu v bodu F
F_{FX}	[N]	X složka síly v bodu F
F_{FY}	[N]	Y složka síly v bodu F



DIPLOMOVÁ PRÁCE





F_{hk}	[N]	Celková hnací obvodová síla na kolech
f_k	[-]	Součinitel valivého odporu
F_p	[N]	Síla od hmotnosti koloběžky
F_{SC}	[N]	Střížná síla čepu skládacího mechanismu
I	[A]	Elektrický proud
J_{kp}	[kg*m ²]	Moment setrvačnosti předního kola
J_{kz}	[kg*m ²]	Moment setrvačnosti zadního kola
M	[Nm]	Krouticí moment
m_c	[kg]	Celková hmotnost
M_{fk}	[Nm]	Moment působící proti valení kola
n	[min ⁻¹]	Otáčky za minutu
n_k	[mm]	Závlek předního kola
O_s	[N]	Odpor stoupání
O_f	[N]	Celkový valivý odpor
O_{fk}	[N]	Valivý odpor kola
O_{rd}	[N]	Součet valivého a vzdušného odporu
O_{rdu}	[N]	Součet valivého, vzdušného a odporu stoupání
O_v	[N]	Odpor vzdušný
O_z	[N]	Celkový odpor zrychlení
O_{zp}	[N]	Odpor zrychlení posuvných částí
P_0	[MPa]	Maximální tlak pro duralovou slitinu
P_{BD}	[MPa]	Tlak od rázu v bodu B
P_{CD}	[MPa]	Tlak od rázu na styčné plochy čepu skládacího mechanismu
P_D	[MPa]	Dovolený tlak pro duralovou slitinu
P_{FD}	[MPa]	Tlak od rázu v bodu F
R	[Ω]	Elektrický odpor
r_d	[m]	Dynamický poloměr kola
$S_{\check{c}}$	[mm ²]	Styčná plocha čepu skládacího mechanismu
S_d	[mm ²]	Styčná plocha čepů kyvné vidlice
S_H	[mm ²]	Průřez hřídele skládacího mechanismu
S_x	[m ²]	Čelní plocha jezdce a koloběžky
T	[°]	Úhel řízení
t_a	[s]	Časový přírůstek zrychlení
T_{DSH}	[MPa]	Napětí na mez pevnosti
T_{SH}	[MPa]	Napětí od dynamického rázu
T_{SK}	[MPa]	Napětí vyvozené rázem

U	[V]	Elektrické napětí
v	[m/s]	Rychlost
u	[-]	Odpor zrychlení rotačních částí
v_r	[m/s]	Náporová rychlost proudění vzduchu
Z_k	[N]	Radiální zatížení kola
α	[°]	Úhel stoupání
ρ	[kg/m ³]	Hustota vzduchu

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 67
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam literatury





- [1] EagleFlight 250 city. AKUMOTO. Akumoto [online]. 2006 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.akumo.cz/eagleflight-250-city>
- [2] STRKAN Futurum ACE. STRKAN. Strkan [online]. 2013 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.ekolobka.cz/sluzby/sluzba-1>
- [3] EGRET ONE. EGRET. Egret [online]. 2010 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://esku.cz/cs/elektricka-kolobezky-egret/459-elektricka-kolobezka-egret-one>
- [4] XE 500 LED. Nitro Scooters. [online]. 2013 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.elektrokola-nachod.cz/products/elektricka-kolobezka-nitro-scooters-xe500-led>
- [5] Zákon č. 361/2000 Sb., Zákon o provozu na pozemních komunikacích a o změnách některých zákonů (ZÁKON O PROVOZU NA POZEMNÍCH KOMUNIKACÍCH). In: *Sbírka zákonů*. 14. 9. 2000. ISSN 1213-4414.
- [6] ELTECH. ELEKTROMOTORY. [online]. 2013 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/tst/rada.v/ELTECH/EL-MOTT>
- [7] EC MOTOR. Johnsons electric. [online]. 2014 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.johnsonselectric.com/en/resources-for-engineers/automotive-applications/motion-technology/ec-motor-brushless>
- [8] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: Prof. Ing. František Vlk, DrSc., 2004, 234 s. ISBN 80-239-1602-5.
- [9] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: komplexní přehled problematiky pro všechny typy technických automobilních škol*. Praha: Grada, 2012, 158 s. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [10] HUB Motors. Electricbike. [online]. 2014 [cit. 2014-01-21]. Dostupné z: <http://www.electricbike.com/hubmotors>
- [11] BMS. Bestechpower. [online]. 2011 [cit. 2014-01-21]. Dostupné z: <http://bestechpower.com/BMS>
- [12] LiFePO4 Baterie 36V 10Ah, pvc. MELDIUS. Meldius. [online]. 2013 [cit. 2014-01-21]. Dostupné z: <http://meldius.com/b003.html>
- [13] Caroline Barelle (2011). *Sport Aerodynamics: on the Relevance of Aerodynamic Force Modelling versus Wind Tunnel Testing.*, Wind Tunnels and Experimental Fluid Dynamic Research, Prof. Jorge Colman Lerner (Ed.), ISBN: 978-953-307-623-2, InTech, Dostupné z: <http://www.intechopen.com/books/wind-tunnels-and-experimental-fluid-dynamics-research/sport-aerodynamics-on-the-relevance-of-aerodynamic-force-modelling-versus-wind-tunnel-testing>

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 68
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

- [14] HUB Motors. UUMotor. [online]. 2014 [cit. 2014-01-23]. Dostupné z: <http://www.UUMotor.com/hubmotors>
- [15] Silentbloky. ELO. [online]. 2013 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.loziska.com/silentbloky>
- [16] Brushless Controller Hallsensor. Electricle. [online]. 2006 [cit. 2014-01-23]. Dostupné z: http://www.electricle.de/xtc/index.php?cat=c104_Brushless-Controller-Hallsensor
- [17] LED Display. Elifebike. [online]. 2012 [cit. 2014-01-23]. Dostupné z: <http://www.elifebike.com/peng/iview.asp?KeyID=dtpic-2013-5G-GY5S.6Y9WN>
- [18] Brzdový třmen. Motoborney. [online]. 2013 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.motoborney.cz/shop/ctyrkolky-minibike-pitbike-dirtbike/zadni-brzdovy-trmen-brzdic-na-minibike-minicros-ctyrkolky-detail>
- [19] Cyklo komponenty. Outdoor-Cyklo-Sport. [online]. 2010 [cit. 2014-01-23]. Dostupné z: <http://www.outdoor-cyklo-sport.cz/katalog/komponenty-a-nahradni-dily>
- [20] Sajdl, Jan. Autolexicon: Záklon rejdové osy a závlek. [online]. 2013 [cit. 2014-01-17]. ISSN: 1804-2554. Dostupné z: <http://cs.autolexicon.net/articles/zaklon-rejdove-osy-a-zavlek>
- [21] Kluzná pouzdra. Technické součásti. [online]. 2011 [cit. 2014-01-17]. Dostupné z: <http://www.technicke-soucasti.cz/Loziska-a-prislusenstvi/Kluzna-poudra>

Seznam obrázků

- Obr.1 Koloběžka Eagleflight 250 city.
- Obr.2 Koloběžka Strkan Futurum ACE.
- Obr.3 Koloběžka Egret ONE.
- Obr.4 Koloběžka XE500 NITRO.
- Obr.5 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru se sériovým buzením.
- Obr.6 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru s cizím buzením.
- Obr.7 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru s derivačním buzením.
- Obr.8 Schéma a charakteristika stejnosměrného motoru se smíšeným buzením.
- Obr.9 Schéma bezkartáčového stejnosměrného motoru.
- Obr.10 Charakteristika asynchronního motoru.
- Obr.11 Tabulka srovnání parametrů jednotlivých druhů elektromotorů.
- Obr.12 Tabulka srovnání parametrů jednotlivých druhů akumulátorů.
- Obr.13 Reakce pneumatiky s vozovkou.
- Obr.14 Víření vzduchu za obtékaným tělesem.
- Obr.15 Vzdušný odpor v závislosti na rychlosti pohybu.
- Obr.16 Odpor stoupání.
- Obr.17 Zrychlení koloběžky po rovině.
- Obr.18 Motor přímo součástí kola.
- Obr.19 Planetová převodovka v motoru.
- Obr.20 HUB motor firmy UUmotor.
- Obr.21 Charakteristika zvoleného HUB motoru.
- Obr.22 Schéma akumulátoru LiFePO₄ propojeného s BMS.
- Obr.23 Akumulátor LiFePO₄ včetně BMS jednotky v PVC krytu.
- Obr.24 Schéma zatěžujících sil.

 	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 70
 	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Obr.25 Schéma MAX F1.

Obr.26 Schéma částečného uvolnění MAX F1.

Obr.27 Schéma uvolnění předního závěsu MAX F1.

Obr.28 Schéma uvolnění kyvné vidlice MAX F1.

Obr.29 Schéma uvolnění desky MAX F1.

Obr.30 Znázornění sil působících na čepy skládacího mechanismu.

Obr.31 Uspořádání součástí skládacího mechanismu.

Obr.32 Fixační čep Kipp.

Obr.33 Schéma MAX F2.

Obr.34 Schéma částečného uvolnění MAX F2.

Obr.35 Schéma uvolnění předního závěsu MAX F2.

Obr.36 Schéma uvolnění kyvné vidlice MAX F2.

Obr.37 Schéma uvolnění desky MAX F2.

Obr.38 Znázornění sil působících na čepy a odpružení zadní kyvné vidlice.

Obr.39 Uspořádání součástí zadní kyvné vidlice.

Obr.40 Silentblok odpružení zadní kyvné vidlice.

Obr.41 Provedení a odpružení zadní kyvné vidlice.

Obr.42 Řídící jednotka BLDC motoru.

Obr.43 Ovládací a indikační panel.

Obr.44 Akcelerační páčka.

Obr.45 Brzdová páčka.


Obr.46 Nabíječka LiFePO4.

Obr.47 Brzdíč.

Obr.48 Řídítka.

Obr.49 Představec.

Obr.50 Objímka pevná.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 71
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Obr.51 Objímka rychloupínací.

Obr.52 Závitové hlavové složení.

Obr.53 Pouzdro kyvné vidlice.

Obr.54 Závlek a úhel řízení.


Obr.55 Geometrie a provedení vidlice předního kola s motorem.

Obr.56 Sestava elektrické koloběžky.

Obr.57 Vyrobená koloběžka.

Obr.58 Model rozložené koloběžky.

Obr.59 Model složené koloběžky.

	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky	Str. 72
	DIPLOMOVÁ PRÁCE	

Seznam příloh

Všechny přílohy této diplomové práce jsou také v elektronické podobě na přiloženém DVD.

Příloha P1: Výkresová dokumentace.

Příloha P2: Video z testovací jízdy.