



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

ELEKTRICKÉ ČTYŘKOLKY ATV

ELECTRIC ALL-TERRAIN VEHICLE ATV

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

KAREL SLÍVA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. PAVEL KUČERA

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Akademický rok: 2012/13

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Karel Slíva

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

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Elektrické čtyřkolky ATV

v anglickém jazyce:

Electric all-terrain vehicle ATV

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vypracujte rešerši o terénních čtyřkolkách ATV, které užívají k pohonu elektromotoru.

Cíle bakalářské práce:

Elektrické čtyřkolky na trhu

Elektrické pohony

Uzpůsobení podvozku pro el. pohon

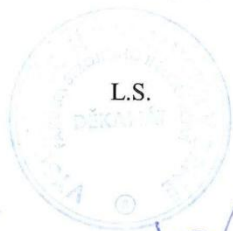
Seznam odborné literatury:

KAMEŠ, Josef. Alternativní pohon automobilů. Vyd. 1. Praha : BEN, 2004. 231 s. ISBN 80-7200-127-6.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Kučera

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

V Brně, dne 24.10.2012



prof. Ing. Václav Pištěk, DrSc.
Ředitel ústavu

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



ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá elektrickými čtyřkolkami ATV. Mezi hlavní části této práce patří jejich rozdělení dle užití a konstrukce a dále pak dostupné modely elektrických čtyřkolek na trhu a jejich popis. Dále se zabývá jednotlivými pohonnými jednotkami, které jsou neodmyslitelnou součástí celé čtyřkolky, a s nimi i akumulátory, které dodávají pohonu potřebnou energii. Závěrečná část práce je věnována podvozkům čtyřkolek, uzpůsobení podvozku pro elektrické čtyřkolky a zjednodušeným návrhem pohonné jednotky s výpočtem výdrže baterií.

KLÍČOVÁ SLOVA

Elektrické čtyřkolky, motor, podvozek, akumulátor

ABSTRACT

This bachelor thesis relates to the problematics of electrical four wheelers ATV. The main parts of this thesis are division according to the utilization and construction, and description of available models of the electrical four wheelers. Further the thesis discusses the accumulators, which supply energy to the propulsion units, which are essential parts of all four wheelers. The last part of the thesis relates to the undercarriages, their arrangement in the electrical four wheelers and also to the simplified design of propulsion unit and it also comprise the battery life calculation.

KEYWORDS

Electric quad bikes, motor, chassis, accumulator



BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SLÍVA, K. *Elektrické čtyřkolky ATV*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 47 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Pavel Kučera.



ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 24. května 2013

.....

Karel Slíva



PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat panu Ing. Pavlu Kučerovi za odbornou pomoc a hodnotné připomínky při zpracování bakalářské práce.



OBSAH

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY.....	1
Úvod.....	10
1 Historie.....	11
2 Rozdělení čtyřkolek.....	12
2.1 Čtyřkolky Utility ATV (utility all terrain vehicle).....	12
2.2 Sport ATV.....	12
2.3 Čtyřkolky se spalovacím motorem.....	13
2.4 Elektrické čtyřkolky.....	13
3 Dostupné elektrické čtyřkolky na trhu.....	14
3.1 EV Eliminator 4x4.....	14
3.2 Thunderbolt.....	14
3.3 Geo Country.....	15
3.4 EV Dominator.....	16
3.5 MC-241-3000W.....	16
3.6 MC-240-4000W.....	17
3.7 Dude electric ATV.....	17
3.8 E-Force.....	18
3.9 EUV M-1.....	18
3.10 Ranger EV.....	19
4 Elektrické pohony.....	20
4.1 Stejnoseměrný motor s cizím buzením.....	20
4.2 Asynchronní motor.....	21
4.3 Transversální motor.....	22
4.4 Řízený reluktanční motor.....	22
4.5 Stejnoseměrný motor bez kartáčů.....	23
4.6 Tandemový motor.....	24
5 Bateriové systémy a elektrické zásobníky.....	25
5.1 Olověný akumulátor.....	25
5.2 Akumulátory nikl – kadmium.....	26
5.3 Akumulátory nikl-metalhydrid.....	27
5.4 Akumulátor lithium – iontová.....	28
5.5 Vysokoteplotní akumulátory sodík-síra, sodík-niklchlorid.....	28
5.6 Akumulátor Lithium-polymer.....	28
5.7 Akumulátor Zinek-vzduch.....	29
6 Podvozek a jeho komponenty.....	30



6.1	Rám.....	30
6.2	Přední a zadní náprava.....	31
7	Návrh pohonného systému	34
7.1	Návrh a výpočet bateriového systému pro motory PMS 150 a AC-20	34
7.1.1	Volba motoru.....	35
7.1.2	Volba baterií	35
	Závěr.....	42
	Seznam použitých zkratk a symbolů	46



ÚVOD

Alternativní pohony se začaly využívat už v dávné minulosti. Jakmile si lidé uvědomili, že zásoby fosilních paliv nejsou nevyčerpatelné, začali přemýšlet o jiných možnostech pohonu strojů - například bio paliva, sluneční a elektrická energie. Tato paliva v sobě skrývají obrovský potenciál a spoustu možností využití. Mezi jejich hlavní výhodu patří to, že neznečišťují životní prostředí.

V polovině 19. století byl vyvinut první elektromobil. Ke konci tohoto století byly elektromobily oblíbenějšími vozidly než vozidla s klasickým spalovacím motorem, hlavně díky lehké obsluze.

Již od svého vzniku se elektrovozidla stále zdokonalovala a stále se zdokonalují z důvodu obrovské konkurence ostatních pohonných jednotek na trhu. V neposlední řadě jde hlavně o naprostou spokojenost zákazníků, kteří vyžadují podobný komfort jako v automobilech, a proto dnešní čtyřkolky svou vybaveností nemají k automobilům daleko. Jsou zde zakomponovány složitější elektronické ovládací systémy nebo mimo jiné posilovač řízení.

Pohonné jednotky (elektromotory) se poté začaly používat i v menších strojích, jako jsou například elektrická kola, motocykly, čtyřkolky, ale také pracovní nástroje nebo domácí spotřebiče. Bez těchto pohonných jednotek si většina z nás nedokáže představit svůj každodenní život.

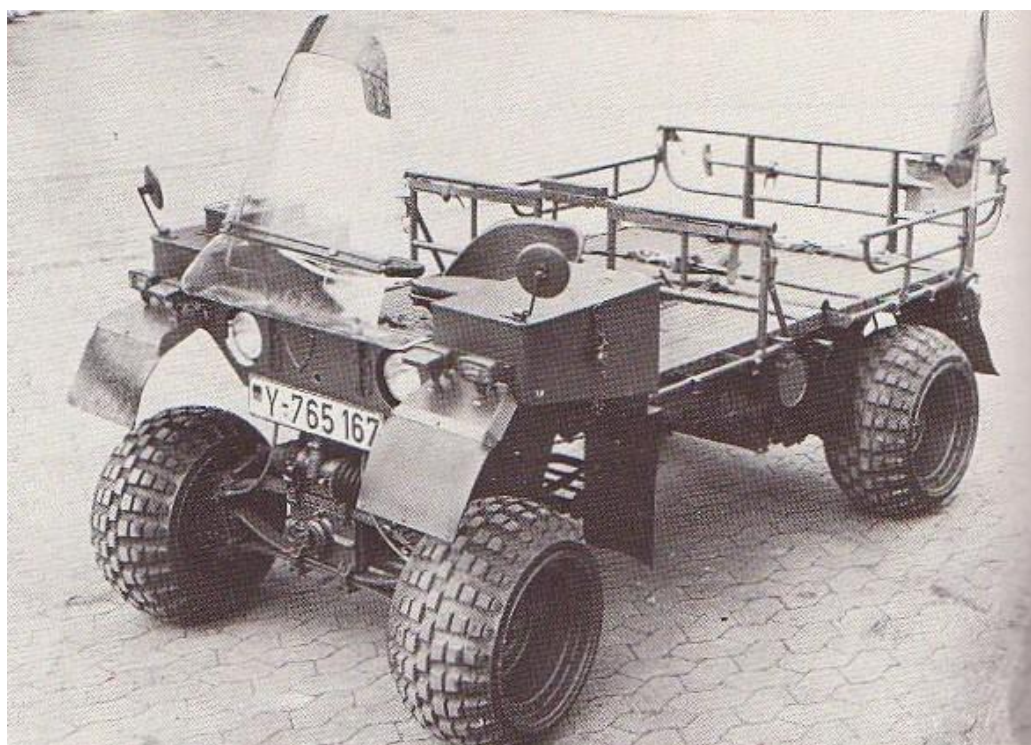
Má práce se zabývá elektrickými čtyřkolkami ATV, jejich rozdělením, dostupností na trhu, volbou pohonné jednotky a uzpůsobením podvozku čtyřkolky zejména pro umístění baterií. Tyto elektrické čtyřkolky se od čtyřkolek na spalovací motor na první pohled zdají k nerozeznání, ale při bližším zkoumání zjistíme, že jsou rozdílné v mnoha věcech. Jejich hlavní předností je také snadná údržba, levný provoz a hlavně nulové emise, které se všechny společnosti snaží mít co nejnižší z důvodu splnění přísných emisních kritérií pro provoz vozidla na pozemní komunikaci. Z tohoto pohledu jsou elektrická vozidla bezkonkurenčně nejlepší, jelikož jsou jejich emise při reálné jízdě nulové. Jediné emise, které se v souvislosti s touto tematikou vyskytují, vznikají při výrobě elektřiny, kterou potřebujeme, abychom mohli nabít baterie.



1 HISTORIE

Jak uvádí zdroj [1], čtyřkolky byly vynalezeny v polovině 20. století německou společností Zweirad Union IG. Univerzální vozidlo bylo vyvinuto pro využití v lesnictví a zemědělství. Tento malý subtilní „automobil“ byl ale bohužel veřejností odmítnut. Nicméně projevila o něj obrovský zájem německá armáda a tím směrem se odvíjel také její vývoj. V následujících letech se stroje testovaly a zdokonalovaly.

Koncem sedmdesátých let společnost HONDA vyvinula terénní motorovou tříkolku ATC. Spojením německé verze malého subtilního automobilu a terénní motorové tříkolky vznikly na začátku osmdesátých let první čtyřkolky pod názvem ATV a po nich se později objevily lehčí čtyřkolky známé jako sport ATV.



Obr. 1 Historická čtyřkolka Zweirad Union AG[26]



2 ROZDĚLENÍ ČTYŘKOLEK

V dnešní době se čtyřkolky vyrábí a prodávají v nejrůznějších provedeních - jak vzhledových, tak užitkových. Mají různou velikost i váhu.

Čtyřkolky se dělí na dvě hlavní skupiny: Utility ATV (utility all terrain vehicle) a sport ATV. Jako další hlavní rozdělení můžeme považovat to, co je jejich pohonnou jednotkou a jaké spotřebovávají palivo.

2.1 ČTYŘKOLKY UTILITY ATV (UTILITY ALL TERRAIN VEHICLE)

Čtyřkolky utility ATV jsou koncipovány jako užitkové a pracovní stroje, které slouží spíše pro práci než zábavu. Tyto ATV jsou širší, s lepšími ochrannými prostředky proti vnějším vlivům, například bláto nebo voda. Ve většině případů mají pohon všech čtyř kol a přední pohon je zpravidla odpojitelný. Tyto stroje jsou těžší a těžiště se nachází výš - právě proto je manipulace s nimi ve větších rychlostech poněkud obtížnější.



Obr. 2 BRP Can-Am Outlander 800R EFI 4x4[36]

Tyto čtyřkolky se hojně využívají všude, kde je nedostatek místa pro větší techniku - v lesnictví, zemědělství (úzký prostor mezi vinicemi) a v neposlední řadě pomáhají i postiženým lidem. Díky velkému množství úprav a snadnému ovládání mohou pomoci žít postiženým lidem alespoň trochu lehčí život.

2.2 SPORT ATV



Obr. 3 Yamaha Raptor 350[37]



Tyto čtyřkolky jsou koncipovány převážně pro sportovní zábavnou jízdu a pobavení široké veřejnosti. Stroje závodí v mnoha třídách na silnici i v terénu. Mezi nejoblíbenější patří amatérské závody jako ITP Essox Cup nebo Essox ADT Cup.

Jejich konstrukce bývá o něco menšího, ale o to vyzývavějšího stylu. Důležitým rozdílem je jejich hmotnost, která je mnohem menší. Dané čtyřkolky mívají zpravidla poháněnou jen zadní nápravu a jejich těžiště leží v nižší poloze, takže tím jejich ovladatelnost značně stoupá.

2.3 ČTYŘKOLKY SE SPALOVACÍM MOTOREM

Benzínové čtyřkolky drtivě převyšují nabídku všech dostupných čtyřkolek na světovém trhu především tím, že jejich pohonné hmoty jsou snadno dostupné.

Konstrukce na první pohled vypadá téměř totožně, na ten druhý jsou ovšem vidět naprosto jiné konstrukční rysy, které udávají jak přednosti, tak i záporné hodnoty.

Mezi hlavní výhody patří pohonná hmota, která jim během několika vteřin u benzínové pumpy dodá obrovské množství potřebné energie pro pohyb. K dalším přínosům patří vyšší výkon, například čtyřkolka Outlander 1000 XT od Kanadské společnosti Can Am dosahuje výkonu 82HP (61,147kW) a tím pádem i vyšší maximální rychlost, větší dojezd a v neposlední řadě větší síly. Jejich velkého výkonu a síly se využívá při tahání těžkých břemen, při práci v lese a v mnoha dalších činnostech.

Jako každá věc i tato má své nevýhody, které trochu kazí její jinak skvělé vlastnosti. Jedná se o vysokou hmotnost, nebezpečí výbuchu těkavých látek, hlučnost a možnost znečištění životního prostředí.

2.4 ELEKTRICKÉ ČTYŘKOLKY

Tyto ekologické stroje jsou charakteristické svou ohleduplností k životnímu prostředí, jelikož při jízdě nevznikají žádné emise. Mezi další výhody patří jednoduchá konstrukce, snadné startování a ovládání. Nespornou výhodou je i hlučnost čtyřkolky, která je téměř nulová.

Jak už zde bylo zmíněno, každá věc má i své nevýhody. V této skupině jsou jimi především menší jízdní výkon a z toho plynoucí nižší možnosti využití, omezená životnost baterií, které ji pohání, ale hlavně mnohem menší dojezd, který činí přibližně 40-60 kilometrů.

I přes tyto nevýhody se stále více využívají a propracovávají si svoji cestu na světový trh. Jelikož fosilní zásoby nejsou nevyčerpatelné, elektřina bude jeden z hlavních pohonů budoucnosti.



3 DOSTUPNÉ ELEKTRICKÉ ČTYŘKOLKY NA TRHU

V dnešní době se na světovém trhu vyskytuje mnoho modelů elektrických čtyřkolek. Mohou to být malé dětské čtyřkolky, které slouží pro zábavu těm nejmenším, nebo naopak velké pracovní čtyřkolky, které se hojně využívají v lesnictví, myslivosti, vinařství a jiných průmyslových odvětvích. Některé z nich zde budou zmíněny.

3.1 EV ELIMINATOR 4x4

Vlajková loď - tak bychom mohli nazvat tuto čtyřkolku od britské společnosti Eco Charger. Tuto čtyřkolku pohání osmipolový axiální stejnosměrný motor o špičkovém výkonu 15 kW. Tento motor předává svůj výkon na 4WD podvozek s uzávěrkou diferenciálu, která poskytuje vynikající prostupnost terénem. Díky tomu má také malý poloměr otáčení. Energie je do motoru přiváděna z olověných akumulátorů AGM (Absorbed Glass Matt) o výkonu 7,2 kW. Doba, po kterou se baterie nabíjí, se pohybuje mezi 3–5 hodinami. Uložení baterií v rámu zajišťuje nízké těžiště, což zlepšuje její stabilitu na nerovném terénu. Baterie dokáží dodávat energii pro dojezd až 48 km (dle stylu jízdy a terénu), přičemž je využíváno technologie rekuperace energie při brzdění nebo jízdě z kopce, jež také snižuje opotřebení hydraulických kotoučových brzd a přispívá k plynulejší jízdě. Převodovka dodává 4 rychlostní stupně, při nejvyšším stupni dosahuje čtyřkolka rychlosti 58 km/h a při nejnižším, který se používá pro orbu nebo tažení těžkých břemen, dosahuje rychlosti 14 km/h.[14]



Obr. 4 EV Eliminator 4x4[14]

3.2 THUNDERBOLT

Thunderbolt je další zástupce čtyřkolek od společnosti Eco Charger. Je to jejich nejmenší čtyřkolka, která je navržena jako lehké, zábavné vozidlo, které se hodí např. pro kontrolu stád domácích zvířat nebo jízdu po silnici. Thunderbolt je osazen stejnosměrným motorem o špičkovém výkonu 8,5 kW, který pohání AGM olověné baterie s rychlým nabíjením o výkonu 4,8 kW. Maximální rychlost je stanovena na 52,8 km/h a dojezd na více jak 30km. Daná čtyřkolka stejně jako EV eliminátor 4x4 využívá při brzdění a jízdě z kopce rekuperace energie, čímž šetří brzdy.[15]



Obr. 5 Thunderbolt - On Road Electric Quad Bike[17]

3.3 GEO COUNTRY

Geo Country byla první celosvětově homologovaná ATV čtyřkolka. Byla navržena jako pracovní stroj, který se hodí i pro zábavu. Podvozek je zde řešen přední lichoběžníkovou nápravou a zadní klikovou nápravou na jednom rameni. Geo Country pohání motor s cizím buzením o špičkové výkonu 4kW, který převádí svůj výkon na zadní nápravu se zapouzdřeným diferenciálem a zpětným chodem. Energii dodává 6x12V olověných baterií AGM s životností 400 cyklů a dobou výdrže na jedno nabití přibližně 9 hodin, 48 km v městském provozu nebo 40 km v terénu. Geo Country dosahuje maximální rychlosti při váze 383 kg 40km/h.[16]



Obr. 6 Geo Country[16]



3.4 EV DOMINATOR

Dominator je první ze speciálně pracovní série čtyřkolek firmy Eco Charger. Jeho převodovka umožňuje přepínat mezi nízkou a vysokou hodnotou převodového poměru a díky tomu je schopen dodávat vysokou tažnou sílu. Dominator je osazen osmipolovým axiálním stejnosměrným motorem o špičkovém výkonu 15 kW. Olověné baterie AGM o výkonu 7,2kW se při brzdění a jízdě z kopce dobíjí pomocí rekuperace energie a zároveň se díky tomu šetří brzdové obložení. Dojezd této čtyřkolky se pohybuje mezi 50 – 60 km dle stylu jízdy a typu terénu. Maximální dosahovaná rychlost při nízkém převodovém poměru je až 57.6 km/h a při vysokém převodovém poměru přibližně 25 km/h.[17]



Obr. 7 EV Dominator[17]

3.5 MC-241-3000W

Tato čtyřkolka pochází z dílny čínské společnosti ZHEJIANG BODE INDUSTRIAL CO. LTD sídlící v provincii Zhejiang. Tato čtyřkolka je poháněna kartáčovým motorem o špičkovém výkonu 3kW, který přes řetěz přenáší krouticí moment na zadní klikovou nápravu na jednom rameni. energii dodávají čtyři 12V olověné baterie, které jsou umístěné v rámu z vysokopevnostní oceli. Baterie se dobíjejí 3-4 hodiny a vydrží 300-400 cyklů. Čtyřkolka může stoupat do svahu o sklonu 40°. Maximální rychlost dle výrobce je 55 km/h a dojezd 55km. Brzdový systém je řešen předními nábojovými brzdami a zadními hydraulicky ovládanými kotoučovými brzdami.[18]



Obr. 8 Čínský zástupce ATV[18]



3.6 MC-240-4000W

Tato sportovnější verze ATV čtyřkolky pochází od již výše zmíněné čínské společnosti sídlící v provincii Zhejiang. Čtyřkolka sedí na přední lichoběžníkové nápravě a zadní klikové nápravě na jednom rameni připevněné k rámu z vysokopevnostní oceli. Na obou nápravách jsou hydraulicky ovládané brzdy. Špičkový výkon 4 kW kartáčového motoru je přiváděn na zadní nápravu. Motor je poháněn 4 olověnými 12V bateriemi, které se plně nabijí za 3-4 hodiny a vydrží 300-400 cyklů nabíjení. Tato čtyřkolka může zdolávat terén o sklonu 40°, dosahovat rychlosti 60km/h a vzdálenosti 65km.[19]



Obr. 9 Sportovní čínská čtyřkolka ATV[19]

3.7 DUDE ELECTRIC ATV

Společnost ZAP, která vyvinula tuto čtyřkolu Dude patří ve Spojených státech k předním výrobcům vozidel, které pohání alternativní zdroje energie. Čtyřkolka Dude je osazena kartáčovým stejnosměrným motorem s permanentními magnety. Energie do tohoto motoru je přiváděna z olověných akumulátorů AGM, přičemž nabíjecí interval se pohybuje mezi 4 – 6 hodinami. Akumulátory umožňují dodávat elektromotoru energii pro dojezd až 40 km. Hmotnost celé čtyřkolky včetně baterií je 320 kg, její nosnost je 131,5 kg a hmotnost taženého břemene může být 453,5 kg.[20]



Obr. 10 ZAP Dude electric ATV[20]



3.8 E-FORCE

Tato čtyřkolka byla postavena ve Spojených státech a je první s nulovými emisemi, která dosahuje vysokého výkonu a točivého momentu potřebného pro pohyb v těžkém terénu. Stejnoseměrný kartáčový motor dodává E-Force špičkový výkon 20,88 kW. Do tohoto elektromotoru se přivádí elektrická energie ze šesti 12 V olověných baterií typu SLA AGM. Nabíjení baterií se uskutečňuje ze sítě a doba pro plné nabití je stanovena na 6 hodin. Maximální rychlost E-Force je 55 km/h a dojezd na 40 km. Jednou z výhod této čtyřkolky je, že na zadní straně má umístěný generátor, který v případě nouze může baterie dobít. U E-Force funguje režim 2WD což je náhon pouze na jednu nápravu, v tomto případě tu zadní. Hmotnost čtyřkolky je docela vysoká - přibližně 375 kg, i tak ale dokáže táhnout břemena o váze pohybující se okolo 550 kg. E-Force se díky nízké dojezdové vzdálenosti nehodí moc pro práci v lese, spíše v blízkosti rančů nebo v malém vinařství, nicméně se dá použít i jako zábavní prostředek.[21][22]



Obr. 11 Electric ATV E-Force[22]

3.9 EUV M-1



Obr. 12 EUV M-1 Barefoot motor[23]

Další společností, která vyrábí elektrické čtyřkolky, je společnost Barefoot Motor z USA. Pohon zde zajišťují dva motory. První pohání přední nápravu a dosahuje hodnot výkonu 6,3



kW a 18,9 Nm. Druhý, který dosahuje vyšších parametrů 16,6 kW a 69,1 Nm, je situován na zadní nápravě. Oba jsou řízeny regulátory SepEx. Energie do motoru se přivádí ze zdroje 24 článkové lithium-železo-fosfátové baterie (LiFePO₄). Dle výrobce tato baterie vydrží 1000 cyklů nabíjení a při plném nabití dokáže zásobovat motor energií 3-8 hodin dle aktuálního provozu, nebo ujet vzdálenost až 45 km. Nabíjení baterií se provádí ze sítě a nabíjecí cyklus trvá 7 hodin. Tato čtyřkolka se vyrábí ve dvou verzích, přičemž jedna z nich má režim pohonu 2WD a druhá 4WD.

Tato čtyřkolka je koncipována jako naprostý „dřič“, a proto se využívá spíše pro těžkou práci. Dokáže táhnout břemena o váze až 567 kg a uveze až 250 kg. Je skoro bezúdržbová a její komponenty jsou tak propracované, že jim nevádí ani voda.[23]

3.10 RANGER EV

Mezi další zástupce elektrických čtyřkolek patří čtyřkolka od americké značky Polaris, která ale již není typu ATV, ale UTV. Tuto čtyřkolku pohání střídavý indukční elektromotor, jehož špičkový výkon dosahuje 22,371 kW. Ten je napájen blokovou baterií Banner GiS T1275+ (8ks), kterou je možno opakovaně plně nabít po dobu 100 cyklů. Po překonání této hranice se kapacita sníží o 10%, což se cyklicky opakuje. Životnost baterie je přibližně 5 let. Díky těmto bateriím a třímódovému systému (High, Low, Max) regulace výkonu, který je v daném okamžiku zapotřebí, má dojezd až 100km. Nabíjení se uskutečňuje pouhým zapnutím do zásuvky, ve které je napětí 230 V. Přenos pohonu zajišťuje variátor, který může pohánět obě nápravy, nebo jednu s uzávěrkou diferenciálu. On-Demand True All-Wheel Drive (ADW) je systém, který poskytuje trakční sílu všem kolům. Automaticky zapíná nebo vypíná pohon všech kol, mimo jiné když prokluzují zadní kola a je zapotřebí více trakce, tak na ně přesně rozloží krouticí moment. Bez jakéhokoli vnějšího zásahu se tento systém automaticky přepne do režimu 2WD, ve kterém je poháněna jen zadní náprava. V tomto režimu je možné získat lepší manévrovatelnost s nižším poloměrem, a to díky systému modulVersaTrack, který otevírá uzávěrku zadního diferenciálu.[24][25]

Tato čtyřkolka je vyrobena převážně pro práci v lese, zemědělství, údržbu zahrad, cest a přepravu nákladů. Dále je hojně využívána pro myslivost díky jejímu tichému a klidnému chodu a také tam, kde jsou nepřijatelné emise plynů nebo hluk.[25]



Obr. 13 Polaris Ranger EV[25]



4 ELEKTRICKÉ POHONY

Elektrický pohon vozidel je jeden z možných pohonů naší budoucnosti. Jeho nezpochybnitelná výhoda spočívá v produkci nulových emisí, nízké hladině hluku, vysokém kroutícím momentu od nulových hodnot. Má ale také i své slabiny jako je vysoká cena a hlavně kratší dojezd. Pro následující kapitoly jsem čerpal informace ze zdrojů [2][3].

4.1 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR S CIZÍM BUZENÍM

Stejnosemřný motor s cizím buzením má zejména přínosné momentové charakteristiky, snadnou regulaci otáček ve velké míře a kontinuální přechod z jízdy na brzdění. Díky těmto vlastnostem je již dlouhou dobu využíván u elektrických vozidel napájených přímo z baterií. Stejnosemřný motor se skládá z rotoru a statoru, na kterém je budící vinutí. Proud se přivádí na otáčející se rotor přes kartáče a komutátor, který zajišťuje přivádění správně orientovaného proudu do cívek kotvy. Díky tomu se v magnetickém poli hlavních pólů vytváří točivý moment, který působí ve směru rotace. Podle zapojení budící kotvy rozdělujeme zapojení na sériové nebo paralelní a z toho plyne sériový nebo paralelní motor.

Sériový elektromotor – při svém spuštění má dobrý točivý moment, který se stoupajícími otáčkami rychle klesá. Používá se jako trakční motor u kolejových vozidel - metro, tramvaj či vlak. Rychlost motoru lze snadno usměrnit odkloněním napětí na transformátoru **Chyba! enalezen zdroj odkazů.**[4]

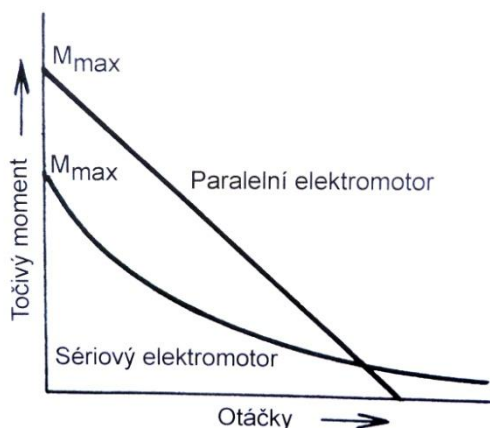
Paralelní elektromotor - hojně se využívá u elektrovozidel z důvodu pomalého klesání točivého momentu.

Kompaundní elektromotor – kombinuje výhody obou předchozích elektromotorů díky sériově - paralelnímu zapojení budícího vnutí.

Všechny tyto elektromotory jsou regulovány napájením vinutí motoru pomocí křemíkových tyristorů s pravoúhlým průběhem napětí. Střední dosah proudu se určuje změnou frekvence a amplitudy.

Stejnosemřné motory se mohou po krátkou dobu silně přetížít, až o 100% jejich výkonu. Tohoto přetížení dosahují kupříkladu při rozběhu. Maximální otáčky jsou stanoveny přibližně na 7000 min^{-1} .

Mezi výhody stejnosmřných motorů patří jednoduché řízení a nízká cena. Jejich nevýhodou je náchylnost kartáčů k poruchám a s tím spojené náklady na výměnu výměnu a údržbu.[5]



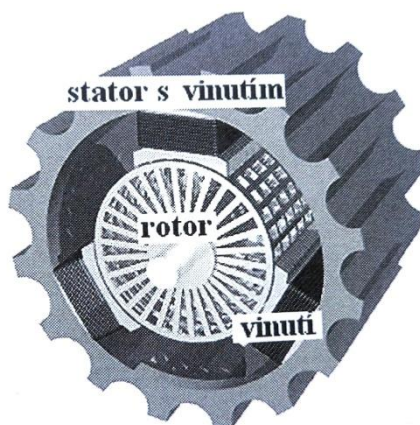
Obr. 14 Charakteristika paralelního a sériového stejnosmřného elektromotoru[2]



4.2 ASYNCHRONNÍ MOTOR

Patří mezi zástupce střídavých elektromotorů. Tyto motory jsou dnes více využívány než stejnosměrné elektromotory, zejména jako pohony elektrovozidel hlavně kvůli zachování stejného výkonu při nižší váze a menší velikosti. Jeho hlavní výhodou tkví v tom, že nemá vinutí kotvy a kolektor. Díky tomu může dosahovat vysokých otáček, až $20\,000\text{ ot. min}^{-1}$.

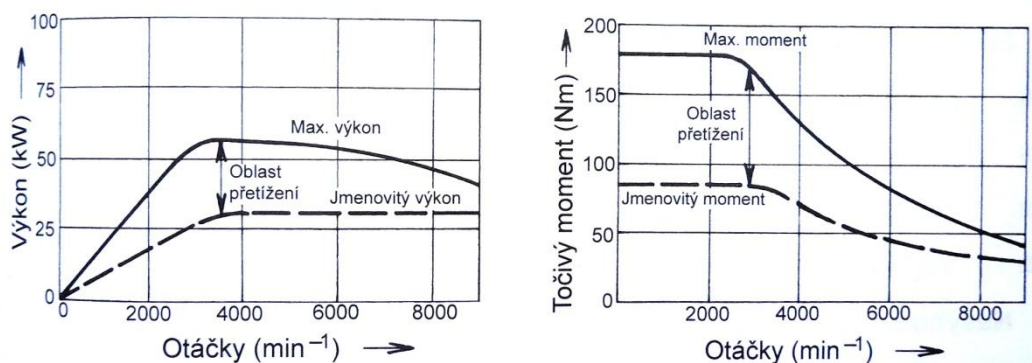
Asynchronní motory se skládají ze tří částí, které jsou stator, rotor a vinutí. Stator je složen ze statorových plechů, které mají na vnitřních stěnách drážky, do kterých se obvykle ukládá trojfázové vinutí. Rotor asynchronního motoru může být proveden jako kroužkový nebo klecový rotor. Kroužkový rotor se skládá z nalisovaných plechů na hřídeli, které mají z vnější strany drážky, ve kterých je zapojeno trojfázové vinutí zapojené do hvězdy a jehož konce vystupují na sběrací kroužky. Klecový rotor má odlišnou konstrukci, skládá se z tlustých kovových tyčí, které jsou spojeny nakrátko, a vnitřní prostor je vyplněn transformátorovými plechy. Do statoru je přiváděn magnetický tok budícím vinutím - rotačním napětím měnící se amplitudou a frekvencí, která musí být získána ze stejnosměrného napětí trakční baterie.



Obr. 15 Schéma asynchronního motoru[3]

Stejný proud z akumulátoru se musí přeměnit na střídavý. Změny proudu se dosahuje cyklickým zapínáním tyristoru, tím se pravoúhlý průběh mění na sinusový. Aby bylo možné regulovat tahovou sílu a otáčky motoru, musí být proměnná frekvence a napětí.

Mezi další výhody asynchronního motoru oproti stejnosměrnému motoru je jeho velikost a hmotnost při zachování stejných výkonů. Asynchronní motory jsou výrazně lehčí a menší a díky tomu můžeme počítat s výkonovou hmotností přibližně 1 kg/kW . Tyto motory jsou jednodušší konstrukce, silně přetížitelné a bezúdržbové.[2][3]



Obr. 16 Výkonová a momentová charakteristika asynchronního motoru[2]



4.3 TRANSVERSÁLNÍ MOTOR

Mezi další typ střídavých motorů patří zvláštní typ asynchronního motoru, takzvaný transversální motor. Do tohoto motoru je proud přiváděn v obvodovém směru rotoru a magnetický tok není kolmý k ose rotoru, ale je paralelní.

„U synchronních motorů souhlasí kruhová frekvence s obíhajícím magnetickým polem (ω příp. ω/n). Jedná se o elektricky a permanentně buzené provedení. U prvního je rotor opatřen vinutím, kterým protéká stejnosměrný proud vyvolaný magnetickým polem. Tato stavba má výhodu, že je dosaženo velkého rozsahu konstantního max. výkonu v důsledku změny stejnosměrného proudu. U permanentně buzených synchronních motorů je magnetické pole v rotoru buzeno permanentními magnety, tedy bez potřeby přídavné elektrické energie.“[4]

Výhody

- technická dokonalost
- kompaktnost, robustnost a bezúdržbovost
- snáší vysoké otáčky, až $15\,000\text{ min}^{-1}$
- vysoká účinnost [2]

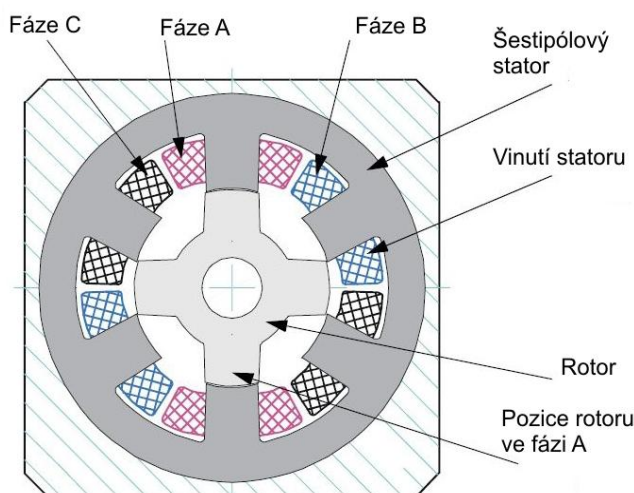
Nevýhody

- nákladné řízení a z toho plynoucí vysoká cena

4.4 ŘÍZENÝ RELUKTANČNÍ MOTOR

Tyto motory pracují na technice reluktančních krokových motorů. I přes jeho velice snadnou a levnou výrobu byl tento motor dlouhou dobu skoro nevyužíván pro jeho nerovnoměrnou závislost točivého momentu na poloze rotoru. Tato nevýhoda již může být překonána správným řízením.

„Reluktanční motor je zvláštní tvar střídavého motoru. V jeho rotoru není budící vinutí. Rotor z měkkého železa má pólové nástavce ve tvaru ozubeného kola. Výkonovou elektronikou je možno otáčky a točivý moment reluktančního motoru velmi dobře ovlivňovat. Reluktanční motor se rozbíhá asynchronně, a pak běží synchronně. Pojem reluktance poukazuje na magnetický odpor, který rotor v magnetickém poli představuje. Na základě bezhmotných mezer zubů v rotoru má rotor reluktančního motoru velmi malý moment setrvačnosti a tím velmi vysoké možnosti zrychlení.“[10]



Obr. 17 Schéma reluktančního motoru[7]

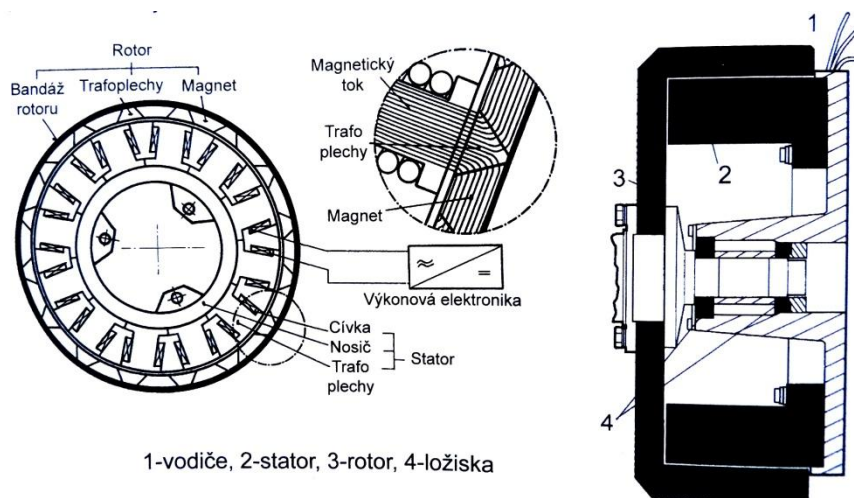


- Výhody reluktančních motorů
- Jednoduchá konstrukce
 - Vysoká mechanická odolnost
 - Vysoký výkon v poměru k hmotnosti
 - Vysoká účinnost a nízká cena
 - Vysoký točivý moment při vysokých otáčkách
 - Velká přetížitelnost[3][2]
- Nevýhody reluktančních motorů
- Vysoká hlučnost motoru
 - Nerovnoměrný točivý moment[2]

4.5 STEJNOSMĚRNÝ MOTOR BEZ KARTÁČŮ

U tohoto bezkartáčového stejnosměrného motoru jsou nahrazené pozice rotoru a statoru proti konvekčnímu permanentně buzenému stejnosměrnému motoru. V tomto případě se ve vnějším statoru nachází vinutí a v rotoru jsou umístěny permanentní magnety, z čehož plyne, že sestavení motoru je podobné permanentně buzenému synchronnímu motoru.

Pulzně modulovaný stejnosměrný proud, který napájí vinutí statoru, zajišťuje komutátor. Jelikož se ve většině případů vinutí statoru skládá jen ze tří nebo čtyř svazků závitů, jsou náklady na elektrickou komutaci nižší. Fázové posunutí hustoty toku statoru a rotoru se pohybuje přibližně okolo 90° díky seřízení jednotlivých svazků závitů. Díky tomu je umístění statoru fixně stanoveno. Ve většině případů se k tomu využívá optoelektronického systému, magnetorezistenčního systému nebo Halových sond. Tyto stejnosměrné bezkartáčové motory, které mají navíc vinutí výkonové elektroniky, disponují také novými permanentními magnetickými materiály jako samarium-kobalt a neodym-železo-bor, jejichž nevýhodou je stále vysoká cena.



Obr. 18 Schéma a řez stejnosměrným motorem bez kartáčů[2]

V nedávné době firma Magnet-Motor vyvinula pokrokové řešení daného motoru, které je unikátní elektrickými parametry motoru při nízké hmotnosti a stavebních rozměrech, dále vyniká v řešení jeho konstrukce. Dosahovaný moment u všech elektromotorů je úměrný magnetické indukci ve vzduchovém prostoru k axiální délce rotoru a ke kvadrátu vzduchového prostoru. Vhodnost konstrukce vnějšího rotoru je dána kvadratickou závislostí momentu na poloměru vzduchového prostoru. Tento rotor se skládá z vylisovaných elektroplechů, ve kterých jsou umístěny tangenciálně magnetizované oddělené magnety neodym-železo-bor, které mají střídavou polaritu. Díky tomu motor nemá žádné elektrické rotační součásti. Vysokopólové nosiče cívek tvoří stator, který se nachází uvnitř a je složen

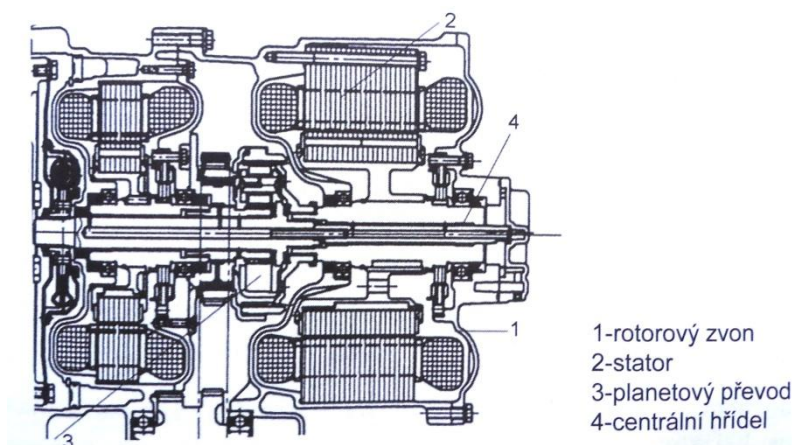


z lisovaných elektroplechů. Díky propojení výstupu výkonové elektroniky a cívek se komutují proudy přiváděné do statorového vinutí tak, že se tento motor jeví jako stejnosměrný s cizím buzením. Tento jev se nazývá elektronická komutace. V celém rozsahu otáček až do $n = 0$ je regulace velice jednoduchá a naprosto dokonalá. V tomto provedení musí být statorové vinutí ochlazováno kapalinou z důvodu velkého zvětšení výkonu oproti konvenčnímu provedení elektromotoru. Další vlastností tohoto motoru je jeho hmotnost, která dosahuje až čtyřnásobku nižší váhy než konvenční provedení.[2][3][8]

4.6 TANDEMŮVÝ MOTOR

Tento motor se skládá ze dvou stejných pohonných agregátů, které mají zakomponovaný planetový převod. Tento motor se používá pro pohon hybridních automobilů a bateriových vozidel.

„Konstrukční princip je patrný z (Obr.19). V rotorovém zvonu 1 každé z obou polovin má uvnitř stator 2, ve kterém je integrován jednostupňový planetový převod 3 pohánějí centrální hřídel 4. Planetový převod je 2,75. Motor má vnější průměr 300 mm, rozjezdový moment $2 \times 1\,250\text{ Nm}$ a jmenovitý výkon 100 kW.“[9]



Obr. 19 Tandemový motor s integrovanou planetovou převodovkou[2]

Tab. 1 Porovnání elektrických motorů (10 = nejlepší)

Motor	Cena	Účinnost	Hmotnost	Rozsah Pkonst	Přetížitelnost	Spolehlivost	Stav vývoje
Stejnosměrný	10	7	6	10	10	7	10
Asynchronní	8	8	6	9	10	9	9
Synchronní	8	10	7	10	10	9	8
Transversální	7	10	8	8	10	10	7
Řízený reluktanční	9	6	7	4	10	9	5
Stejnosměrný bez kartáčů	8	10	10	8	9	10	8



5 BATERIOVÉ SYSTÉMY A ELEKTRICKÉ ZÁSOBNÍKY

Trakční baterie jsou jedny z nejdůležitějších komponentů elektrického pohonu všech elektrických vozidel. Jelikož žádná baterie nevydrží věčně, byly pro ně dány určité požadavky, mezi které patří:

- Schopnost nabíjení vysokou rychlostí, životnost od 5 do 10 let, bezúdržbovost
- Dojezdová životnost více než 50 000 km
- Energetická hustota musí dosahovat alespoň 200 Wh/kg a hustota výkonu přibližně 100 W/kg
- Nejdůležitější je nejspíše cena, která by neměla přesahovat 150 Euro/kWh

Nyní se používají plynotěsné baterie nikl-kadmium a olovo-gelové baterie, které se těmto hodnotám hustoty výkonu již hodně blíží, ale nedosahují zásobní kapacity. Navíc životnost olovo-gelové baterie je velmi omezena. Hlavním problémem všech baterií je jejich velikost a hmotnost v porovnání s palivovou nádrží spalovacích motorů.[2][3]

U všech baterií jsou důležité určité parametry, které určují jejich vlastnosti. Mezi tyto parametry patří:

Měrná energie [W. h. kg⁻¹]. Díky této veličině vyjádřené ve vztahu k objemu můžeme určit prostorovou náročnost baterií a zároveň po spočítání potřebného množství energie z dojezdu lze určit hmotnost baterií. Mezi nejvhodnější baterie patří ty, které mají nejvyšší hodnotu měrné energie. Bohužel tato veličina patří k velkým nedostatkům baterií.

Měrný výkon [W. kg⁻¹]. Tento parametr má vliv na zrychlení a maximální rychlost vozidla. Měrný výkon spalovacích motorů bývá zcela nahrazen měrným výkonem určitých typů baterií.

Nabíjecí doba [h]. Patří mezi zásadní parametry všech baterií. Dle typu baterie se pohybuje v rozmezí několika hodin. Při nabíjení metodou Minit Charge je možné délku trvání nabíjení ještě zkrátit. Princip nabíjení tkví v tom, že baterie je nabíjena krátkými pulzy o vysokém proudu. Po dosažení kapacity 80% nabíjecí proud klesne a zbylých 20% kapacity se nabíjí pomaleji a díky tomu se zvýší životnost baterie.

Životnost. Jak již bylo zmíněno, je dána jak způsobem nabíjení a vybíjení baterie, tak údržbou. Udává též množství kilometrů, které vůz ujede s jednou sadou baterií.

Údržba. Životnost baterií lze zásadně zvýšit pravidelnou a správnou údržbou.[42]

Dnes je na trhu velké množství baterií, které se používají pro elektrická vozidla všech typů. Některé z nich Vám v následujících odkazech trochu přiblížím.

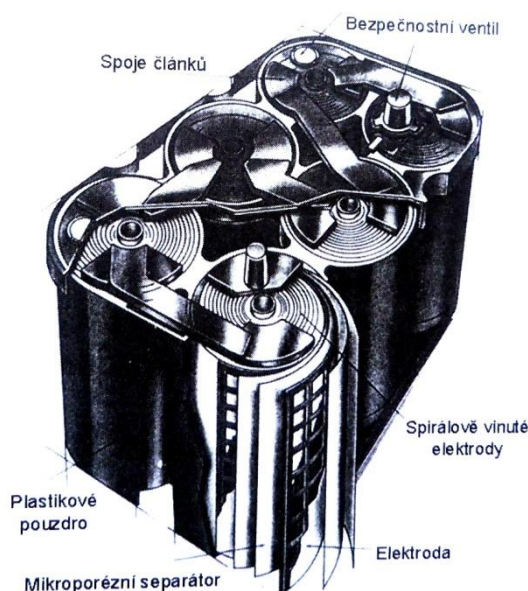
5.1 OLOVĚNÝ AKUMULÁTOR

Patří k základním akumulátorům na trhu. U tohoto akumulátoru se v nabitém stavu katoda (záporná elektroda) skládá z čistého olova a anoda (kladná elektroda) z oxidu olovičitého. Napětí mezi elektrodami se pohybuje okolo 2 V. Jako elektrolyt zde působí zředěná kyselina sírová, vodou. Při vybíjení akumulátoru, ionty olova difundují do elektrolytu a tam reagují na sulfát olova. Při opačném procesu se reakce obrací. Tento proces můžeme znázornit rovnicí.





Díky velkému množství zkušeností a nízkým cenovým nákladům na výrobu se tento akumulátor stále používá v elektrovozidlech. Bohužel nemůže akumulovat velké množství energie, přibližně 25 Wh/kg, a v neposlední řadě má velkou hmotnost. Životnost u těchto akumulátorů při použití jako zdrojů energie pro pohon elektrovozidel se pohybuje okolo 4 let, nebo 800 cyklů nabití a vybití. Při použití jako startovací zdroj vydrží až dvojnásobek oproti užití v elektropohonu, což je dáno velikostí namáhání. Doba nabíjení těchto akumulátorů se dá snížit až na 2 hodiny, ale za cenu poklesu kapacity o 20%. Reálný dojezd elektrovozidel



Obr. 20 Olověný akumulátor se spirálovými články[2]

poháněných olověnými akumulátory se udává v rámci 50km na jedno nabití.

Nejnovější typ olověného akumulátoru pracujícího na principu spirálových článků dosahuje až 3 krát vyšší životnosti než obyčejný olověný akumulátor. V mikroporézní skelné vate separátorů je obsažen elektrolyt a nosné části jsou složeny z čistého železa. Tento akumulátor je bezúdržbový. Při vysoké rychlosti nabíjení vysokými proudy je v článku vytvořeno a udržováno vakuum. Tento proud dosahuje až 100A napětí 14,4 V. Tímto postupem lze zkrátit dobu nabíjení na jednu hodinu.[2][11]

5.2 AKUMULÁTORY NIKL – KADMIUM

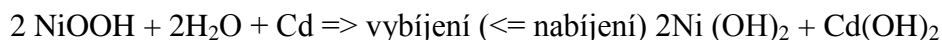
Tento typ akumulátorů je pro elektrovozidla velice významný. Pro spotřebitele se vyrábí jako malé uzavřené knoflíkové články, nebo jako velké otevřené články. Pro elektrovozidla se tyto akumulátory vyrábí jako bezúdržbové a plynotěsné. Speciální stavbou elektrod je možné zvýšit jeho kapacitu. Elektrody jsou sestaveny z vláken, které obsahují elektricky vodivé, niklem vrstvené materiály. Zástupcem elektrolytu je zde vodný roztok hydroxid draselný, který se neúčastní reakce, ale přemísťováním iontů mezi elektrodami. Tento akumulátor je možné nabíjet vysokou rychlostí.

Elektrovozidla, která disponují těmito akumulátory, mají o 50% větší dojezd než elektrovozidla s olověnými akumulátory o stejné hmotnosti. Za určitou nevýhodu tohoto typu akumulátoru může být považován jeho paměťový efekt. To znamená, že pokud chceme akumulátor nabít do plné kapacity, musí být pravidelně a hlavně úplně vybit. Za další nevýhodu lze považovat jeho složení, jelikož kadmium je jedovatý těžký kov. Existují tak



námitky k jeho zavádění, i když proti olověným akumulátorům dosahují mnohem vyšší životnosti 2000 cyklů, nebo 10 let, případně dojezd 120 000km.

Reakci nabíjení a vybíjení akumulátoru lze popsat rovnicí:



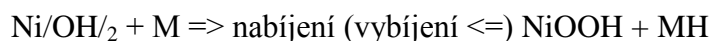
Jedny z novějších typů akumulátorů, které využívají nových technologií, mají elektrody tvořeny deskami z vlákna umělé hmoty a poniklovány ve speciální lázni. Díky tomu je konstrukce takovéto elektrody velice lehká a kompaktní. Do takto vyrobené kladné elektrody je následně pastován hydroxid nikelný a do záporné elektrody hydroxid kademnatý, jejichž izolace je tvořena plastovými separátory. Napětí těchto článků je 1,2 V.

Tyto typy akumulátorů vynikají hlavně svou vysokou životností 20 až 25 let, rozsahem pracovních teplot od -50 do +50 °C, vysokou proudovou zatížitelností, malou hmotností a vysokým počtem cyklů, který dosahuje až 3000. Například akumulátor typu „X“ je možné nabíjet proudy o vysoké hodnotě po časový interval kratší než 10 minut.[3][11]

5.3 AKUMULÁTORY NIKL-METALHYDRID

Nikl-metalhydridový akumulátor má velké množství stejných znaků jako akumulátory nikl-kadmiové. Akumulátor se skládá z anody (kladná elektroda), jež je vytvořena na bázi sloučeniny niklu. Katoda (záporná elektroda) je tvořena slitinou z materiálů kobaltu, lanthanu, hliníku a manganu, která pohlcuje vodík. Zředěný roztok hydroxidu zde zastupuje funkci elektrolytu. Separátor, který je umístěn mezi elektrodami, je naplněn basickým elektrolytem, který bývá ředěn lithiovým nebo vápenatým roztokem hydroxidu.

Reakci nabíjení a vybíjení akumulátoru lze popsat rovnicí:



v níž M – označuje slitinu a MH metalhydrid.

Akumulátory nikl – metalhydrid nejsou proti nikl – kadmium škodlivé vůči životnímu prostředí a také jejich energetická hodnota společně s výkonem dosahuje vyšších hodnot, avšak jejich nevýhodou je nižší životnost, která může být až poloviční, a také vyšší pořizovací cena. I přes všechny tyto výhody a nevýhody se tyto akumulátory používají ve většině moderních automobilů.[3][42]



Obr. 21 Akumulátor nikl-metalhydridová NiMH[12]



5.4 AKUMULÁTOR LITHIUM – IONTOVÁ

Mezi další zástupce akumulátorů patří lithium - iontový, jehož anoda je vyrobena z uhlíkové matrice grafitisovaných částí koksu a katodu je možno vyrobit např. z Li_2MnO_2 , LiCoO_2 nebo LiNiO_2 . Elektrolyt je složen z rozpouštědel a vodivých solí jako třeba. Lithium hexafluorofosfát (LiPF_6). Tyto akumulátory se někdy nazývají jako kmitavé baterie proto, že ionty mezi katodou a anodou kmitají. Typický tvar těchto akumulátorů je válcový.

Mezi výhody tohoto typu akumulátorů patří jeho vysoká výkonová a energetická hustota. Životnost akumulátoru se pohybuje okolo 1000 cyklů a měrná energie dosahuje hodnot 120 až 130 Wh/kg. Hlavním problémem je vysoká cena.[2]



Obr. 22 Lithium - iontový akumulátor užívaný v automobilu Prius +[13]

5.5 VYSOKOTEPLTNÍ AKUMULÁTORY SODÍK-SÍRA, SODÍK-NIKLCHLORID

Tyto akumulátory, které se také nazývají vysokoenergetické, pracují v teplotním rozmezí mezi 250 a 330°C. Tyto akumulátory mají energetickou hustotu až čtyřikrát větší než obyčejné olověné akumulátory. Akumulátoru sodík – niklchlorid se také někdy říká akumulátor ZEBRA (Zero-Emission Battery). Akumulátory těchto typů mají katodu v kapalném skupenství, která je ze sodíku, ale anoda zůstává v pevném stavu ze síry nebo niklchloridu. Izolační keramika z oxidu hlinitého odděluje od sebe obě elektrody, touto izolační keramikou následně tečou sodíkové ionty při teplotě, která se pohybuje okolo 300°C.

Akumulátory se skládají z jednotlivých článků, které mohou být sestaveny paralelně, ale také sériově. Mezi výhody tohoto akumulátoru patří jeho plynotěsnost, bezúdržbová, proudová účinnost rovna 1, díky čemuž dosahujeme energetické účinnosti přes 88 %. Tyto akumulátory musejí být stále udržovány v pracovní teplotě, a proto jsou vakuově izolovány. Automobily a jiná elektrovozidla, která nesou tyto akumulátory, dosahují dojezdové vzdálenosti přes 100 km (VW Golf uvádí až 250 km), přičemž doba životnosti je okolo 30 000 km nebo 1000 cyklů, což je z důvodu vysoké ceny poměrně málo.[2][3][42]

5.6 AKUMULÁTOR LITHIUM-POLYMER

Katoda akumulátoru je tvořena fólií z kovu s organosulfidovým polymerem, který je zakotvený, a anoda je tvořena z lithiové fólie. Tento akumulátor je schopen dosáhnout napětí až 3 V a hustota energie při výkonové hustotě 200 W/kg dosahuje 150 W/kg. Akumulátor pracuje za teplot 40 – 150 °C a při rychlém nabíjení dosahuje nabíjecí účinnosti 90%.[42]



5.7 AKUMULÁTOR ZINEK-VZDUCH

Akumulátory zinek-vzduch mají o 30% nižší hmotnost než akumulátory sodík-síra a při tom jejich energetická hustota je 220 Wh/kg. Elektrolytem je zde roztok hydroxidu sodného. Nevýhodou tohoto akumulátoru je to, že při nízkých teplotách musí být ohříván.[42]

Tab. 2 Srovnání jednotlivých typů baterií[3]

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
Sodík-niklchlorid	85-100	150-175	155	255	800-1000	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
Cílové hodnoty	80-200	135-300	75-200	250-600	600-1000	5-10	90-135



6 PODVOZEK A JEHO KOMPONENTY

6.1 RÁM

Rám čtyřkolky jakožto základní stavební prvek celé její konstrukce, ke které se nadále připevňují další komponenty, určuje, jak bude celá čtyřkolka v závěru vypadat. U spalovacích čtyřkolek je ve většině případů ve středu uložen motor a nad ním je palivová nádrž, dále se zde nachází vyhrazené místo pro baterii a ostatní komponenty. Namísto toho elektrické čtyřkolky mají trochu odlišnou konstrukci. Jelikož jejich motor nezaujímá tak velký prostor jako ten spalovací, může být umístěn i jinak. Motory elektrických čtyřkolek se mohou umísťovat v prostoru rámu, ale ne tak, aby blokovaly úložný prostor bateriím. Další možností uložení motoru je přímo na nápravě (nápravách) nebo v její těsné blízkosti. Díky tomu se získá více prostoru pro umístění baterií, kterého je potřeba opravdu hodně, pokud chceme, aby čtyřkolka dosahovala dojezdové vzdálenosti alespoň 40km na jedno nabití a baterie nebyly příliš drahé.



Obr. 23 Sestavený rám z hliníkové slitiny[27]

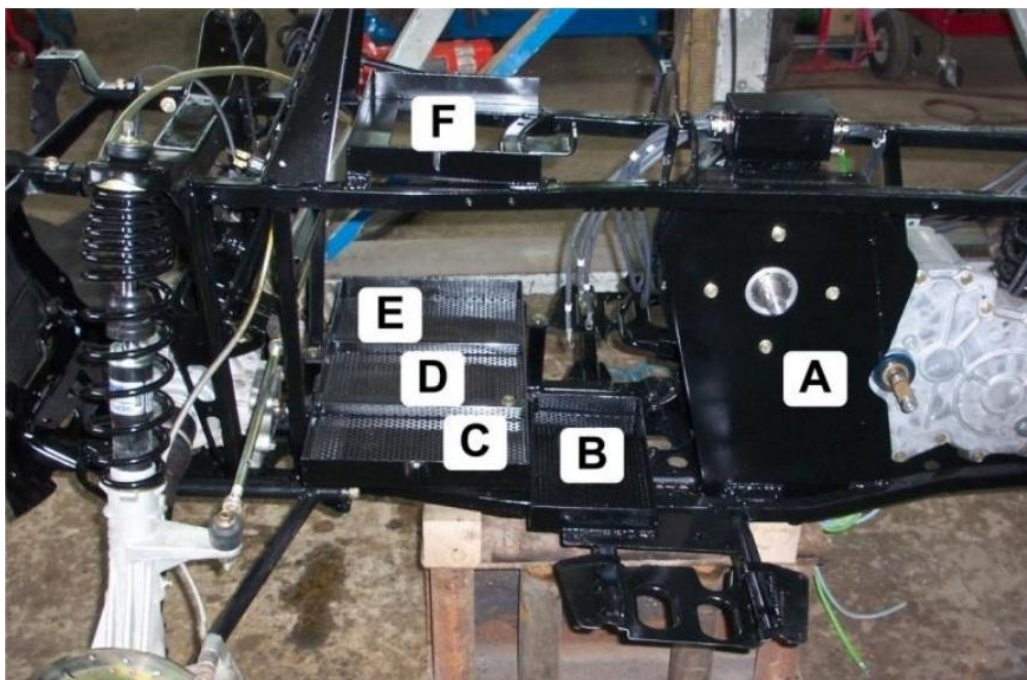
Rámy se vyrábí ve dvou typech. První z nich je založen na sešroubování jednotlivých komponentů rámu, které jsou vyráběné z hliníkové slitiny - díky tomu je konstrukce mnohem lehčí a přitom neztrácí nic na své tuhosti. Tyto rámy se využívají převážně v závodních čtyřkolkách, kde je zapotřebí co nejlehčí konstrukce. Druhým typem je výroba rámu ve formě svařované konstrukce převážně z trubkových polotovarů. Tento typ rámu má oproti rámu z hliníkové slitiny větší hmotnost a používá se u těžších pracovních čtyřkolek.



Obr. 24 Trubkový rám čtyřkolky KTM SX[28]



Jak je vidět na obrázku 25., úpravy rámu jsou značné. Musel se vytvořit prostor pro baterie, který je označen v obrázku písmeny B, C, D, E, F. Plocha, na kterých budou baterie položeny, je vyrobena z necelistvého plechu pro lepší chlazení baterií při nabíjení. Hned za bateriemi pod písmenem A je uložen motor, který předává svůj výkon na převodovou skříň a ta dále rozvádí krouticí moment na zadní nápravu a pohání kola.



Obr. 25 Rám elektrické ATV čtyřkolky[32]

6.2 PŘEDNÍ A ZADNÍ NÁPRAVA

Na dnes vyráběných čtyřkolkách se jako přední nápravy nejvíce využívá lichoběžníková nebo McPherson, kterou využívá např. čtyřkolka od firmy Can-Am, OUTLANDER MAX 400. Lichoběžníková náprava, kterou lze jasně vidět na obr 26. se skládá z dvojice trojúhelníkových příčných ramen, které se vyrábí jako svařované a v některých případech i kované, z nichž horní rameno je kratší. Tato ramena jsou spojena kulovými čepy s těhlicí, která se vyrábí jako odlitek z oceli, výkovek nebo ve speciálních případech (závodní speciály) jako obrobek. Na dolních ramenech, v některých případech také na horních ramenech, jsou situovány pružiny a tlumiče.



Obr. 26 Přední lichoběžníková náprava čtyřkolky Kawasaki KFX450R ATV[29]



Zavěšení zadní nápravy může být uskutečněno jako u přední za pomoci lichoběžníkové nápravy, mimo to se používá klikové konstrukční řešení na jednom rameni, jak je vidět na obr 27. Této konstrukce se využívá u sportovních čtyřkolek a také u elektrických čtyřkolek, které nedosahují vysokých výkonů, a není tedy kladen velký důraz na jejich průchodnost těžkým terénem. Jak je dále patrné z obrázku, pružící jednotka je umístěna pod sedadlem a ve spodní části spojena s klikovou nápravou.



Obr. 27 Zadní kliková náprava sportovní čtyřkolky[29]

U velkých užitkových čtyřkolek se využívají převážně klikové a lichoběžníkové nápravy, které díky své konstrukci nezávislého zavěšení kol zajišťují dokonalejší průchodnost nedostupným terénem a také zvládají vyšší zatížení a namáhání než klikové konstrukce na jednom rameni. U těchto náprav, jak lze vidět na obr. 28, jsou pružící jednotky upevněny ke spodnímu ramenu lichoběžníkové nápravy a k rámu čtyřkolky, který je umístěn pod sedadlem.



Obr. 28 Zadní lichoběžníková náprava užitkové čtyřkolky[30]



Jelikož každá věc má svoji určitou životnost, která se všemi mechanickými a i chemickými procesy snižuje, používají se u ATV čtyřkolek takzvané A-Arms kity, které dle obrázku 29. mají za úkol chránit čtyřkolku před vnějším zásahem okolí. Tato „obranná“ konstrukce je zaměřena hlavně na nápravy, kde chrání ramena a celé uložení, a tím jim poskytuje ochranu před mechanickým poškozením například od kamenů. Dále chrání celou spodní plochu čtyřkolky a může být použita i jako ochranný přední štít, který má své opodstatnění při výjezdu prudkých kopců.



Obr. 29 Ochranné prvky čtyřkolek[31]



7 NÁVRH POHONNÉHO SYSTÉMU

Všechny dostupné elektrické čtyřkolky využívají pohonné jednotky umístěné v rámu nebo na jednotlivých nápravách. Díky tomuto umístění motoru se snižuje prostor pro uložení baterií potřebných pro dodávání energie motoru. Z tohoto důvodu si myslím, že by bylo možné umístit motory přímo do jednotlivých kol a tím zvýšit velikost úložného prostoru pro baterie a to by umožnilo zvýšení dojezdové vzdálenosti. Tento typ uložení motorů je dnes k vidění již u mnoha elektrických automobilů nebo takzvaných hybridů. Momentálně vyvíjí nový typ těchto motorů společnost Protean Electric. Tento motor je popsán na obrázku 30. Zabudování tohoto motorového systému do kol velkou měrou snižuje komplikovanost celého pohonného systému. Konstrukční řešení motoru je dáno stejnosměrným, bezkomutátorovým, pomaloběžným motorem s permanentními neodymovými magnety.

Motor dosahuje účinnosti až 93% a při reálné jízdě přesahuje hodnotu 85%. Dále je zde využívána schopnost rekuperačního brzdění, což snižuje náklady na nabíjení baterií a zvyšuje celkový dojezd vozidla. Účinnost rekuperačního brzdění dosahuje dle informací od výrobce 85%. Výkonnostní specifikace tohoto motoru s porovnáním oproti spalovacímu motoru jsou neskutečné. Jednotlivý motor může dosahovat výkonu až 80kW (110 koní) a točivého momentu až 1000 Nm při váze přibližně 30 kg. V poměru výkon/hmotnost jsou tyto motory oproti spalovacím motorům bezkonkurenčně lepší.

Bohužel i tento motor má své nevýhody, mezi které patří zejména vysoká neodpružená hmotnost, což snižuje jízdní vlastnosti.



Obr. 30 Schéma motoru zabudovaného v kole[33]

Myslím si, že tento typ pohonu společně s větším úložným prostorem pro baterie je přínosem a v budoucnu by mohla vzniknout čtyřkolka se stejným nebo podobným systémem. Hlavní nevýhodou tohoto návrhu bude celková hmotnost čtyřkolky, která se nejspíše mnohonásobně zvýší jednotlivou hmotností motorů a následně větší zástavou baterií, tudíž by se námi zvýšený dojezd větším počtem baterií nemusel vůbec zvýšit. A také by se mohla snížit průjezdnost terénem.[33]

7.1 NÁVRH A VÝPOČET BATERIOVÉHO SYSTÉMU PRO MOTORY PMS 150 A AC-20

Návrh a výpočet bateriového systému je situován do čtyřkolky KVF 300 od společnosti Kawasaki Motors Corp., která má své sídlo v USA. Potřebné údaje pro výpočet byly čerpány



z dokumentů dostupných na [40]. Některé hodnoty, jako např. hmotnost, musely být upraveny, jelikož se spalovací motor a ostatní komponenty potřebné pro pohon nahradily komponenty pro elektrický pohon, mezi které patří baterie, nabíjecí zařízení, elektromotor a další součásti.

7.1.1 VOLBA MOTORU

Motory pro výpočet byly voleny na základě potřebného výkonu a krouticího momentu potřebného pro pohyb v terénu. Dále bylo přihlíženo na jejich velikost a hmotnost, následně k parametrům motorů, které popisuje kapitola 4. Byly zvoleny dva rozdílné motory. Motor AC-20 je asynchronní od společnosti HPGC z Ontaria, která dodává motory zvláště pro elektrické motocykly, golfové vozíky, a motor méně výkonný, PMS 150, je synchronní motor s permanentními magnety od Německé společnosti Servo Vision, jež dodává motory pro elektrická vozidla, ale i pro menší lodě a jízdní kola. Informace uvedené v následujících tabulkách byly čerpány z odkazů[38][39].

Tab. 3 Parametry voleného motoru AC-20

Motor AC - 20			
Název	Označení	Velikost	jednotka
Maximální výkon (špičkový)	P_{emax}	46,233	kW
Kontinuální výkon	P_{ekon}	6,189	kW
Špičkový krouticí moment	T_{emax}	128,806	Nm
Hmotnost motoru	m_{motor}	27,216	kg
Maximální otáčky	n_{max}	6000	min^{-1}
Účinnost motoru	η	0,89	-

Tab. 4 Parametry voleného motoru PMS 150

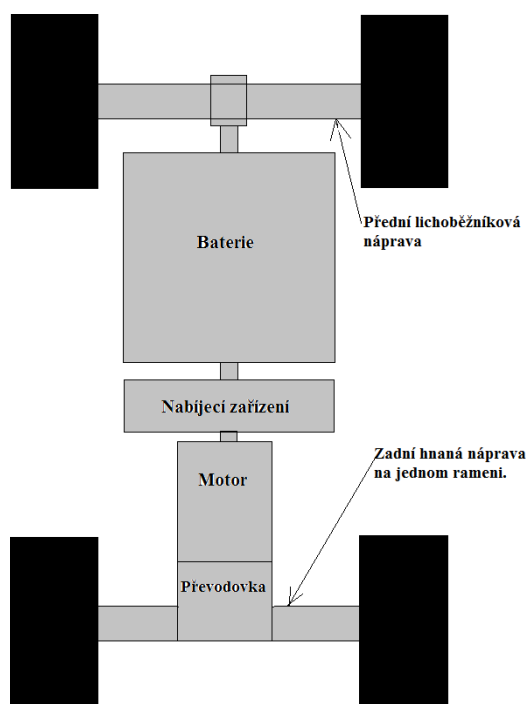
Motor PMS 150			
Název	Označení	Velikost	jednotka
Maximální výkon (špičkový)	P_{emax}	14	kW
Kontinuální výkon	P_{ekon}	4,8	kW
Špičkový krouticí moment	T_{emax}	80	Nm
Hmotnost motoru	m_{motor}	22,3	kg
Maximální otáčky	n_{max}	6000	min^{-1}
Účinnost motoru	η	0,94	-

7.1.2 VOLBA BATERIÍ

Jako zdroj energie pro čtyřkolku jsem volil baterie, které dosahují potřebného výkonu při malých rozměrech, jelikož prostor pro umístění baterií je omezený. Byly zvoleny baterie typu WB – LYP100AHA. Informace, které jsou obsaženy v tabulce 5., byly čerpány z odkazů [34][35]. Z těchto baterií byl sestaven kompaktní bateriový systém, který obsahuje 30 baterií o celkovém nominálním napětí $U=96\text{V}$.

Tab. 5 Parametry zvolených baterií

Název	Označení	Velikost	Jednotka
Nominální kapacita baterie	C_{bat}	100	Ah
Nominální napětí baterie	U_n	3,2	V
Maximální napětí baterie	U_{max}	4	V
Minimální napětí baterie	U_{min}	2,5	V
Konstantní proud při vybíjení	I_{kond}	300	A
Impulzní (špičkový) proud při vybíjení	I_{impd}	2000	A
Standardní vybíjecí a nabíjecí proud	I_{scd}	50	A
Počet životních cyklů do 80% vybití	$T_{80\%}$	3000	-
Počet životních cyklů do 70% vybití	$T_{70\%}$	5000	-
Teplotní odolnost baterie	T_{od}	200	°C
Operační teplota baterie	T_{oper}	45÷85	°C
Hmotnost baterie	m	3,4	kg



Obr. 31 Schéma rozložení čtyřkolky

Výpočet:

Všechny výpočty byly provedeny ve výpočtovém systému Mathcad a informace potřebné pro výpočet byly čerpány z [41].

Pro výpočet převodového poměru byl použit pastorek o počtu zubů 22 a ozubené kolo s 90 zuby.



$$z_1 := 22$$

$$z_2 := 90$$

Převodový poměr:

$$i_p := \frac{z_2}{z_1} \tag{1}$$

$$i_p = 4.091$$

Rozsah otáček motoru AC -20:

$$n_e := \begin{pmatrix} 1000 \\ 2000 \\ 3000 \\ 4000 \\ 5000 \\ 6000 \end{pmatrix} \text{rpm}$$

Otáčky kola:

$$n_{w_i} := \frac{n_{e_i}}{i_p} \tag{2}$$

$$n_w = \begin{pmatrix} 244.4 \\ 488.9 \\ 733.3 \\ 977.8 \\ 1222.2 \\ 1466.7 \end{pmatrix} \cdot \text{rpm}$$

Výpočet dynamického poloměru zadního kola: Pneumatika AT 22 x 10-10 MAXXIS

$$d_{pf} := 22\text{in}$$

$$d_{pf} = 558.8 \cdot \text{mm}$$



$$r_{rd} := \frac{d_{pf}}{2} \quad (3)$$

$$r_{rd} = 279.4 \cdot \text{mm}$$

Výpočet rychlosti čtyřkolky:

$$v_i := 2 \cdot \pi \cdot r_{rd} \cdot n_{w_i} \quad (4)$$

$$v = \begin{pmatrix} 25.7 \\ 51.5 \\ 77.2 \\ 103 \\ 128.7 \\ 154.5 \end{pmatrix} \cdot \frac{\text{km}}{\text{hr}}$$

Odhadovaná hmotnost čtyřkolky Kawasaki KVF 300 bez motoru a příslušenství (původní hmotnost 242 kg) :

$$m_{ATV} := 142 \text{kg}$$

$$m_{jez} := 75 \text{kg}$$

$$m_{bat} := 102 \text{kg}$$

$$m_{motor} := 27.216 \text{kg}$$

$$m_{cel} := m_{ATV} + m_{jez} + m_{bat} + m_{motor} \quad (6)$$

$$m_{cel} = 346.216 \text{kg}$$

Výpočet vzdušného a valivého odporu:

Pro tento výpočet bylo zapotřebí zjistit a dopočítat některé dílčí hodnoty potřebné pro výpočet jednotlivých odporů.

Čelní plocha čtyřkolky – výpočet je vyvozen z odhadu rozměrů čtyřkolky i s uvažovaným odporem plochy řidiče.

$$S_x := 1080 \text{mm} \cdot 1170 \text{mm} \quad (7)$$

$$S_x = 1.264 \text{m}^2$$



Součinitel vzdušného odporu pro závodní auta s nekrytými koly:

$$c_x := 0.6$$

Hustota vzduchu pro teplotu 15°C a tlak vzduch 101,3 kPa:

$$\rho_{vz} := 1.250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

Účinnost ozubeného převodu:

$$\eta_d := 0.98$$

Součinitel valivého odporu pro polní mokrou nebo suchou cestu:

$$f := 0.15$$

Valivý odpor:

$$O_f := m_{\text{cel}} \cdot g \cdot f \quad (8)$$

$$O_f = 509.3 \text{ N}$$

Průměrná rychlost vzduchu:

$$v_p := 0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Vzdušný odpor:

$$O_v := c_x \cdot \frac{\rho_{vz}}{2} \cdot S_x \cdot (v + v_p)^2 \quad (9)$$

$$O_{v\text{max}} := \max(O_v) \quad (10)$$

$$O_{v\text{max}} = 872.6 \text{ N}$$

Síla jízdního odporu:

$$F_{\text{od}} := O_f + O_v \quad (11)$$

Výkon potřebný k jízdě po rovině:

$$P_{p_i} := \frac{F_{\text{od}_i} \cdot r_{rd}}{i_p \cdot \eta_d} \cdot 2 \cdot \pi \cdot n_{e_i} \quad (12)$$



$$P_p = \begin{pmatrix} 3.9 \\ 8.8 \\ 15.9 \\ 26.2 \\ 40.7 \\ 60.5 \end{pmatrix} \cdot \text{kW}$$

Napětí dodávané do baterií:

$$U := 96\text{V}$$

Počet baterií:

$$j_{\text{bat}} := \frac{U}{U_n} \quad (13)$$

$$j_{\text{bat}} = 30$$

Energie baterií:

$$E_{\text{bat}} := C_{\text{bat}} \cdot U \quad (14)$$

$$E_{\text{bat}} = 9.6 \cdot \text{kW} \cdot \text{hr}$$

Doba jízdy za předpokladu bezztrátového přenosu energie baterií do motoru a její změny na výkon:

$$t_{\text{jiz}} := \frac{E_{\text{bat}}}{P_p} \quad (15)$$

$$t_{\text{jiz}} = \begin{pmatrix} 2.47 \\ 1.08 \\ 0.6 \\ 0.37 \\ 0.24 \\ 0.16 \end{pmatrix} \cdot \text{hr}$$

Dosažená vzdálenost v závislosti na rychlosti a čase:

$$s_{v_i} := v_i \cdot t_{\text{jiz}_i} \quad (16)$$



$$s_v = \begin{pmatrix} 63.5 \\ 55.9 \\ 46.6 \\ 37.8 \\ 30.4 \\ 24.5 \end{pmatrix} \cdot \text{km}$$

Při výpočtu výdrže baterií u motoru PMS 150 se postupuje stejně jako v případě výpočtu pro motor AC-35 jen s rozdílem změny hmotnosti motoru a tím i změny výstupních hodnot. Z tohoto důvodu jsou uvedeny jen výsledné výstupní hodnoty.

Výkon potřebný k jízdě po rovině:

$$P_p = \begin{pmatrix} 3.8 \\ 8.7 \\ 15.8 \\ 26 \\ 40.4 \\ 60.2 \end{pmatrix} \cdot \text{kW}$$

Doba jízdy za předpokladu bezztrátového přenosu energie baterií do motoru a její změny na výkon:

$$t_{jiz} = \begin{pmatrix} 2.5 \\ 1.1 \\ 0.61 \\ 0.37 \\ 0.24 \\ 0.16 \end{pmatrix} \cdot \text{hr}$$

Dosažená vzdálenost v závislosti na rychlosti a čase:

$$s_v = \begin{pmatrix} 64.4 \\ 56.5 \\ 47 \\ 38.1 \\ 30.6 \\ 24.6 \end{pmatrix} \cdot \text{km}$$



ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo zmapovat světový trh s elektrickými čtyřkolkami, zjistit používané pohonné jednotky těchto čtyřkolek a uzpůsobení podvozku pro elektrický pohon.

V první části jsou zmapovány dostupné ATV čtyřkolky na světovém trhu, které pocházejí od různých společností po celém světě. Například čtyřkolka E-Force, která byla postavena v Ellicottville. Jako možnou alternativu vůči ATV čtyřkolkám bylo uvedeno elektrické vozidlo UTV Ranger EV od společnosti Polaris, která má své pobočky po celém světě a nám nejbližší sídlí v Německu. Toto UTV se od ATV liší především svou konstrukcí a možnostmi využití.

Následující část práce se zabývá elektrickými pohonnými jednotkami, které se používají u čtyřkolek, jejich výhody a nevýhody, někdy i ve srovnání se spalovacími motory. Dále pak jednotlivými typy akumulátorů, jejich vlastnostmi jako je například nabíjecí doba, životnost nebo cena. Ke zpracování těchto údajů bylo použito odborné literatury a internetových zdrojů. V závěru každé z této části byla vytvořena tabulka, ve které jsou stručně shrnuty hlavní vlastnosti jednotlivých pohonů a typů baterií.

V dalším bodě bylo za úkol zjistit, jak vypadá uzpůsobení podvozku pro elektrické čtyřkolky. Z této práce vyplývá, že podvozek se na první pohled skoro neliší. Nápravy se používají naprosto stejné jako u běžných čtyřkolek na spalovací motor. Jediným rozdílem je uspořádání prostoru, kde není obsažen spalovací motor a ostatní komponenty potřebné pro jeho provoz. Tento prostor zaujímají baterie, řídicí jednotka a nabíjecí zařízení. Pro všechny tyto součásti musí být v rámu čtyřkolky připraven prostor, kam se jednotlivé komponenty umístí.

Součástí práce je i pokus nastínění možného budoucího vývoje čtyřkolek z pohledu volby pohonné jednotky a jejího umístění. Byla zvolena pohonná jednotka, která je umístěna přímo v kole vozidla, díky tomu vzniká víc prostoru pro zástavbu bateriemi, čímž se ale podstatně zvýší hmotnost celého vozidla, což může vést ke zhoršení průjezdnosti terénem a také vyšší spotřebě energie a tím nižší dojezdové vzdálenosti i přes větší počet baterií. Tato technologie je zatím spíše ve vývoji, ale nepochybuji o tom, že se jednou dostane na takovou úroveň, že se bude využívat ve velkém množství vozidel.

Závěr práce je koncipován jako výpočtový návrh výdrže baterií pro dva různé typy motorů. Jak je z výpočtu patrné, výsledné hodnoty doby jízdy jsou dány za předpokladu, že energie z baterií pohání motor bez ztrát a veškerá energie se přemění na daný výkon.



POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] DEGELMAN., R. *Dokonalá jízda na čtyřkolce*. Vyd. 1. České Budějovice : KOPP, 2009. 139 s ISBN 9788072323845
- [2] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohon automobilů*. Vyd. 1. Praha : BEN, 2004. 231 s. ISBN80-7200-127-6.
- [3] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony*. Vyd. 1. Praha : GRADA, 2012. 160 s. ISBN 978-80-247-4455-1
- [4] TEORIE: Jednofázový sériový motor. *Elektrika* [online]. 2010 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/teorie-jednofazovy-seriovy-motor>
- [5] Princip stejnosměrných motorů. *Elektrika* [online]. 2008 [cit. 2013-05-21]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnosmernych-motoru>
- [6] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohony automobilů: Transversální motor*. 1. vyd. Praha 10: BEN, 2004, s. 44. ISBN 80-7300-127-6.
- [7] Reluktanční motor znovu na scéně. PAZDERA, Josef. *Osel* [online]. 2011 [cit. 2013-03-28]. Dostupné z: <http://www.osel.cz/index.php?clanek=5810>
- [8] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: Stejnosměrný motor bez kartáčů*. 1. vyd. U Průhonu 22, Praha 7: Grada Publishing, a.s., 2012, s. 51. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [9] KAMEŠ, Josef. *Alternativní pohony automobilů: Tandemový motor*. 1. vyd. Praha 10: BEN, 2004, s. 47. ISBN 80-7300-127-6.
- [10] HROMÁDKO, Jan. *Speciální spalovací motory a alternativní pohony: Řízený reluktanční motor*. Praha: Grada Publishing, 2012, s. 50. ISBN 978-80-247-4455-1.
- [11] Battery construction. *Tpub* [online]. [cit. 2013-04-13]. Dostupné z WWW: <http://www.tpub.com/neets/book1/chapter2/1e.htm>.
- [12] Toyota setzt auf unterschiedliche Batterietechnologien. *Grueneautos* [online]. Deutschland, 2009 [cit. 2013-04-14]. Dostupné z: <http://www.grueneautos.com/2009/09/toyota-setzt-auf-unterschiedliche-batterietechnologien/>
- [13] Toyota už ví kdo jí bude recyklovat li-ion akumulátory v Evropě. *Hybrid* [online]. 2012 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/toyota-uz-vi-kdo-ji-bude-recyklovat-li-ion-akumulatory-v-evrope>
- [14] ECO Charger EV Eliminator 4x4 - Electric Quad Bike. *Electric-quad-bikes* [online]. 2012 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.electric-quad-bikes.com/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=4



- [15] Eco Charger Thunderbolt - On Road Electric Quad Bike. *Electric-quad-bikes* [online]. 2012 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.electric-quad-bikes.com/index.php?main_page=product_info&cPath=2&products_id=3
- [16] Váš nový životní styl...3e[online].2011[cit.2013-05-20].Dostupné z: <http://www.3e.cz/page/67938.country-quad-elektricka-ctyrkolka-silnicni-homologace/>
- [17] Eco Charger EV Dominator Off Road Electric Quad Bike. *Electric-quad-bikes* [online]. 2012 [cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.electric-quad-bikes.com/index.php?main_page=product_info&cPath=1&products_id=2
- [18] ITEM NO:MC-241-3000W. *Bodevehicle* [online].2013[cit. 2013-04-25]. Dostupné z: http://www.bodevehicle.com/ATV_DIRTBIKE_proview.asp?p_id=212
- [19] MC-240-4000W. *Bodevehicle* [online].2013[cit. 2013-04-28]. Dostupné z: http://www.bodevehicle.com/ATV_DIRTBIKE_proview.asp?p_id=182
- [20] ZAP Dude Electric ATV. *Modertradingpost* [online]. [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: www.modertradingpost.com/pages/zap_electric_atv.html
- [21] E-Force. *Ecoeatv* [online]. 2011 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.ecoatv.com/products/e-force-atv/>
- [22] Electric All Terrain Vehicles (ATV's). *Greenlivingtips* [online]. 2009 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.greenlivingtips.com/articles/electric-atv.html>
- [23] 2010 Barefoot Motors EUV M-1 ATV Review. *Motorcycle-usa* [online]. 2009 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.motorcycle-usa.com/23/4753/Motorcycle-Article/2010-Barefoot-Motors-EUV-M-1-ATV-Review.aspx>
- [24] Polaris Ranger EV. *Quadmania* [online]. 2010 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.quadmania.cz/detail-clanku/polaris-ranger-ev-13091.html>
- [25] Ranger EV. *Polariscz* [online]. 2010 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.polariscz.cz/cze/stroje/ranger/ranger-ev/>
- [26] Faun 640 Kraka (Zweirad-Union AG). *Loutan* [online]. 2006 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.loutan.net/olivier/archives/2006/08/01/faun-640-kraka-zweirad-union-ag/>
- [27] BRP Reveals DS 450 Aluminum Frame High-tech Frame has No Welds; is Lightest in Industry. *Atvriders* [online]. 2007 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.atvriders.com/atvnews/canam2007ds450sportatv02aluminumframe.html>
- [28] 2009 KTM 450SX & 505SX Race Ready ATV - SX Suspension. *Atvriders* [online]. 2009 [cit. 2013-04-15]. Dostupné z: <http://www.atvriders.com/atvmodels/ktm-2009-450-505-sx-mx-race-ready-atv-p4-suspension.html>
- [29] Motocross performance based on the World Champion KX™450F. *Atv* [online]. 2006 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.atv.info/article.cfm?id=350>



- [30] Bruce Force 750 4x4i Chassis. *Atvriders* [online]. 2010 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.atvriders.com/atvmodels/kawasaki-2010-bruteforce-750-4x4i-atv-features.html>
- [31] Can-Am Quads - A ARM GUARDS REAR for CAN AM 1000 OUTLANDER. *Sss-racing* [online]. 2010 [cit. 2013-04-22]. Dostupné z: <http://www.sss-racing.co.za/spdetail.aspx?spid=523>
- [32] R. CHEVREFILS, Adam. *Modeling and Design of an Electric All-Terrain Vehicle* [online]. Winnipeg, Manitoba, 2008 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://mspace.lib.umanitoba.ca/bitstream/1993/3113/1/Adam%20Chevrefils%20-%20Modeling%20and%20Design%20of%20an%20Electric%20All-Terrain%20Vehicle.pdf>. Master of science. The University of Manitoba.
- [33] Motor v kolech. Je ideálním řešením pro elektromobily?. MURTINGER, Karel. *Nazeleno* [online]. 2012 [cit. 2013-04-23]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/technologie-1/hybridy-a-elektromobily/motor-v-kolech-je-idealnim-resenim-pro-elektromobily.aspx>
- [34] WB-LYP100AHA(A). *En.winston-battery* [online]. 2011 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://en.winston-battery.com/index.php/products/power-battery/item/wb-lyp100ahaa-2?category_id=176
- [35] GWL/Power: WB-LYP100AHA LiFeYPO4 (3.2V/100Ah). *I4wifi* [online]. [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: http://www.i4wifi.cz/wb-lyp100aha-lifeypo4-3-2v-100ah-_d1580.html
- [36] 2011 BRP Can-Am Outlander 800R EFI 4x4 Utility ATV Models. *Atvriders* [online]. 2011 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.atvriders.com/atvmodels/canam-2011-outlander-800r-efi-4x4-atv.html>
- [37] 2010 Yamaha Raptor 350 Sport ATV Info. *Atvriders* [online]. 2010 [cit. 2013-05-04]. Dostupné z: <http://www.atvriders.com/atvmodels/yamaha-2010-raptor-350-atv.html>
- [38] AC 20 Family of Motors. *Hpevs* [online]. 2013 [cit. 2013-05-19]. Dostupné z: <http://hpevs.com/catalog-ac-20.htm>
- [39] Permanently Excited Synchronous Motors with Air- or Water-Cooling. *Servovision* [online]. 2013 [cit. 2013-05-15]. Dostupné z: <http://www.servovision.com/hub%20motor/PMS%20MOTOR/PMS%20MOTOR.html>
- [40] 2012 KVF300. *Mack1* [online]. 2012 [cit. 2013-05-16]. Dostupné z: <http://www.mack1.com.au/store/agricultural/2012-kvf300/>
- [41] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. Vyd. 1. Brno : VLK, 2000. 433 s. ISBN80-238-5273-6.
- [42] VLK, František. *Alternativní pohony motorových vozidel*. 1. vyd. Brno: František Vlk, 2004. ISBN 80-239-1602-5.



SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

η_d	[-]	Účinnost převodu
2WD	[-]	Náhon jedné nápravy
4WD	[-]	Náhon obou náprav
ADW	[-]	All wheel drive
ATV	[-]	All terein vehicle
C_{bat}	[Ah]	Nominální kapacita baterie
c_x	[-]	Součinitel vzdušného odporu
d_{pf}	[mm]	Dynamický průměr zadního kola
E_{bat}	[kW]	Energie soustavy baterií
f	[-]	Součinitel valivého odporu
F_{od}	[N]	Síla jízdního odporu
I_{impd}	[A]	Impulzní (špičkový) proud při vybíjení
I_{kond}	[A]	Kontinuální proud při vybíjení
i_p	[-]	Převodový poměr
I_{scd}	[A]	Standardní vybíjecí a nabíjecí proud
m	[kg]	Hmotnost baterie
m_{ATV}	[kg]	Odhadovaná hmotnost čtyřkolky bez příslušenství
m_{bat}	[kg]	Hmotnost baterií
m_{cel}	[kg]	Celková hmotnost čtyřkolky
m_{jez}	[kg]	Hmotnost jezdce
m_{motor}	[kg]	Hmotnost motoru
n_e	[min ⁻¹]	Otáčky motoru
n_w	[min ⁻¹]	Otáčky kola
O_f	[N]	Valivý odpor
O_v	[N]	Vzdušný odpor
P_{ekon}	[kW]	Kontinuální výkon
P_{emax}	[kW]	Maximální (špičkový) výkon
P_p	[kW]	Výkon potřebný jízdě po rovině
r_{pd}	[mm]	Dynamický poloměr zadního kola
s_v	[km]	Dojezd čtyřkolky
S_x	[m ²]	Čelní plocha čtyřkolky
$T_{70\%}$	[-]	Počet životních cyklů do 70% vybití



$T_{80\%}$	[-]	Počet životních cyklů do 80% vybití
t_{bat}	[-]	Počet baterií
T_{emax}	[Nm]	Špičkový krouticí moment
t_{jiz}	[hod]	Výdrž baterií
T_{od}	[°C]	Teplotní odolnost baterie
T_{oper}	[°C]	Operační teplota baterie
U	[V]	Napětí dodávané soustavou baterií
U_{max}	[V]	Maximální napětí baterie
U_{min}	[V]	Minimální napětí baterie
U_n	[V]	Nominální napětí baterie
v	[m.s ⁻¹]	Rychlost čtyřkolky
v_p	[m.s ⁻¹]	Průměrná rychlost větru
z_1	[zubů]	Počet zubů pastorku
z_2	[zubů]	Počet zubů kola
ρ_{vz}	[kg.m ⁻³]	Hustota vzduchu