



Středoškolská technika 2014

Setkání a prezentace prací středoškolských studentů na ČVUT

Hybridní systémy

Jan Rýznar

Střední průmyslová škola a obchodní akademie, Bruntál
Kavalcova 814/1
792 01, Bruntál

Poděkování

Rád bych zde poděkoval vedoucímu ročníkové práce Ing. Václavu Míkovi, za jeho rady a čas, který mi věnoval při řešení dané problematiky. V neposlední řadě také děkuji všem, kteří se účastnili na realizaci této práce a poskytli potřebné informace.

Abstrakt

Tato práce pojednává o problematice hybridních systémů osobních automobilů. V této práci Vás seznámím s druhy těchto systémů a popíšu jednotlivé komponenty. Dále se zaměřím na systém Plug-in-Hybrid, který podrobím zkouškám na speciálně vyrobeném modelu automobilu. Budu se věnovat konstrukci modelu, jeho elektroinstalaci, dálkovému ovládní a samotné hybridní části. Neméně důležitou částí bude měření efektivnosti provozu tohoto pohonu. Závěr práce bude věnován zjištěným skutečnostem, hodnocením řešené problematiky a jejich přínosy.

Klíčová slova: Hybrid, Plug-in-Hybrid, rekuperace, akumulátor, elektromotor, spalovací motor.

Obsah

Poděkování	2
Abstrakt	3
Úvod	6
1. Základ k hybridním pohonům	7
1.1. Druhy hybridních pohonů	8
1.1.1. Sériový hybrid.....	8
1.1.2. Paralelní hybrid	9
1.1.3. Kombinovaný hybrid	10
1.2. Rozdělení podle velikosti „hybridizace“	11
1.2.1. Micro-Hybrid	11
1.2.2. Mild-Hybrid	11
1.2.3. Full-Hybrid	12
1.2.4. Plug-in-Hybrid.....	12
1.3. Systémy součástí hybridního pohonu	13
1.3.1. Systém Start & Stop.....	13
1.3.2. Funkce plachtění	13
1.3.3. Regenerativní brzdění	13
2. Návrh a výroba modelu automobilu využívající systém Plug-in-Hybrid.....	15
2.1. Koncepce pohonu.....	15
2.2. Výběr spalovacího motoru	15
2.3. Výběr elektromotoru.....	16
2.4. Výběr akumulátoru	17
2.5. Konstrukce.....	18
2.5.1. Postup výroby příhradové konstrukce	18
2.5.1.1. Základní obrys	18
2.5.1.2. Hlavní nosná část.....	18
2.5.1.3. Dokončení ochranné klece	19
2.5.2. Výroba pomocných komponentů.....	19
2.5.2.1. Uložení ložisek zadní nápravy	20
2.5.2.2. Řízení předních kol	20
2.5.2.3. Regulace množství směsi pomocí šoupátka	22
2.5.2.4. Palivová nádrž	22
2.5.2.5. Kotoučová brzda.....	23
2.5.2.6. Převodovka s držákem pro elektromotor	23
2.5.2.7. Držák spalovacího motoru.....	24

2.5.2.8.	Výfukové potrubí.....	24
2.5.2.9.	Kapotáž.....	25
2.6.	Elektroinstalace	25
2.6.1.	Elektrické komponenty.....	26
2.6.1.1.	Měnič DC – DC (12 V – 5 V)	26
2.6.1.2.	Dobíječ DC – DC (12 V – 27,5 V)	26
2.6.1.3.	Voltmetry 12 - 24V	27
2.6.1.4.	Měřicí analyzátor.....	27
2.6.1.5.	Elektronický regulátor otáček elektromotoru.....	28
2.6.2.	Dálkové ovládání	29
2.6.2.1.	Vysílač.....	29
2.6.2.2.	Přijímač.....	29
2.6.2.3.	Ovládání ostatních komponentů modelu.....	30
2.6.2.3.1.	Mikročip	30
2.6.2.3.2.	Program s popisem.....	30
2.6.2.3.3.	Realizace a oživení obvodu na zkušební poli	33
2.7.	Závěrečná ukázka kompletně smontovaného modelu	34
3.	Výpočty efektivnosti provozu Plug-in-Hybridu.....	35
3.1.	Elektropohon.....	35
3.1.1.	Naměřená data.....	35
3.1.2.	Maximální rychlost	36
3.1.3.	Spotřeba elektrické energie na vzdálenost 100 km	36
3.1.4.	Výpočet nákladů na ujetí jednoho kilometru.....	36
3.1.5.	Akční rádius	36
3.2.	Spalovací pohon	36
3.2.1.	Naměřená data.....	37
3.2.2.	Maximální rychlost	37
3.2.3.	Spotřeba paliva na vzdálenost 100 km.....	37
3.2.4.	Výpočet nákladů na ujetí jednoho kilometru.....	37
3.2.5.	Akční rádius	37
Závěr.....		38
Použité informační zdroje		39
Seznam obrázků.....		40

Úvod

Jsem rád, že jsem si tuto ročníkovou práci mohl vybrat sám, neboť jsem už dlouho toužil postavit si dálkově ovládaný model s možností dvou různých způsobů pohonu. Hlavním důvodem výběru tohoto téma, byla jeho aktuálnost. V dnešní době jsou kladeny vysoké nároky na ekologii a emise CO₂. Proto se výrobci snaží snížit emise svých automobilů na minimum a vydávají se cestou hybridních pohonů. Každým rokem oblíbenost těchto „hybridů“ stoupá, proto je jen otázka času kdy bude mít každá automobilka ve své nabídce několik hybridních modelů. Dalším významným krokem pro rozšíření těchto vozů je zavedení určitých výhod ze strany státu, ať už osvobození od různých daní, či dotace při koupi tohoto vozidla. Největším problémem těchto automobilů je totiž jejich cena a nedůvěra ve spolehlivost těchto vozů. Touto prací chci vyzkoušet a reálně testovat fungující hybrid v malém měřítku. Výsledná data nechci porovnávat s ostatními hybridy jako např. Toyota Prius a Volvo V60 Plug-in-Hybrid. Jen se budu snažit dokázat smysl této technologie, jestli má vůbec nějaký reálný vliv na spotřebu paliva a na další jiné faktory s tím související.

1. Základ k hybridním pohonům

Hybridní pohon je takový pohon, který využívá několik různých zdrojů energie pro pohon jednoho dopravního prostředku. Největším důvodem pro zavádění hybridních pohonů do automobilů je nízká účinnost spalovacích motorů. Účinnost dnešních spalovacích motorů se pohybuje přibližně mezi 30 až 40 %. V současné době jsou na trhu i vznětové motory s účinností až 45 %. Zážehové motory mají obecně účinnost spíše nižší na spodní hranici pásma, vznětové motory jsou na tom o trochu lépe. Hodnota účinnosti spalovacích motorů je však z větší části dána účinností samotného termodynamického cyklu, ten má jasná fyzikální omezení. V budoucnosti se tedy nedá očekávat výraznějšího zlepšení účinnosti klasických spalovacích motorů.

Další potíž je v tom, že největší účinnosti spalovací motor dosáhne jen v optimálních podmínkách. Při běžném provozu se optimálních podmínek dosáhne pouze výjimečně a to znamená, že celková účinnost je ještě o něco nižší. Nejhorším případem je běh motoru na volnoběh. Motor spotřebovává palivo, ale přitom automobil nekoná žádnou práci, protože stojí na místě. Navíc je spalovací motor schopen uspokojivě pracovat pouze v poměrně úzkém rozsahu otáček. To je také důvod, proč automobil se spalovacím motorem potřebuje převodovku.

Použití převodovky ovšem přináší další nezanedbatelné ztráty, ostatně jako každý mechanický převod. Navíc má většinou jen omezený počet rychlostních stupňů a to je dalším důvodem, proč nemůže motor pracovat v optimálních podmínkách. Existují i převodovky s plynulou změnou převodového poměru (CVT - *Continuously variable transmission*), ty ale mají zase horší účinnost.

Naproti tomu současné elektromotory mají účinnost kolem 95 %. Navíc této vysoké účinnosti dosahují v širokém rozsahu otáček a zatížení. Pro svoji činnost jim stačí pouze jednostupňová převodovka, neboť elektromotory dosahují až 15 000 ot/min a mají maximální točivý moment již od nulových otáček. Jejich nevýhodou je nutnost do konstrukce automobilu zabudovat velké množství akumulátorů. S tím souvisí velká hmotnost i malý dojezd na jedno nabití akumulátorů.

Proto začíná celosvětový rozmach osobních automobilů s technologií hybridního pohonu, neboť spojuje výhody obou druhů pohonů. Spalovací motor se snaží využívat jen v neefektivnějších podmínkách tím, že jeho neefektivní provoz nahrazuje elektromotorem. Jeho nevýhodou je abnormálně vysoká cena.

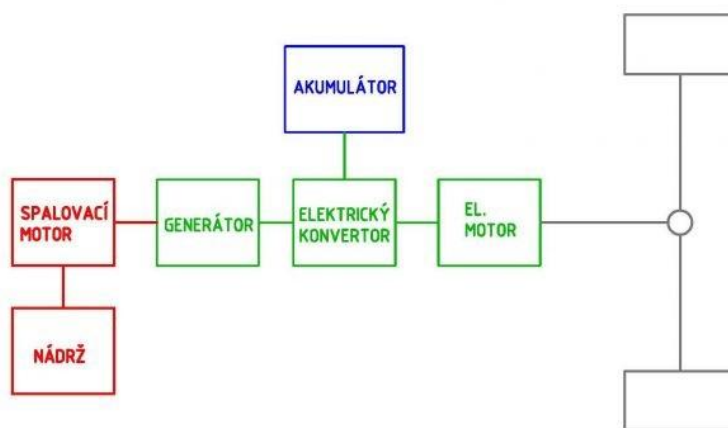


Obr. 1 Označení hybridního automobilu (Toyota)

1.1. Druhy hybridních pohonů

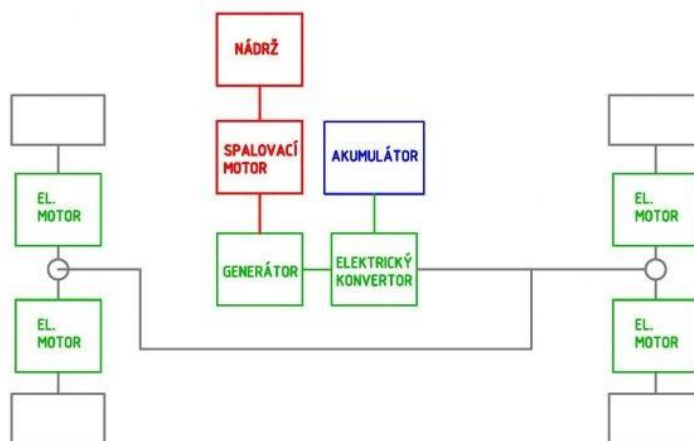
1.1.1. Sériový hybrid

Sériový hybridní pohon se v mnohém podobá vozu s čistě elektrickým pohonem. Na obr. [2] spalovací motor pohání generátor, není tedy přímo spojen s poháněnými koly. Generátor má dvě funkce, buď slouží k dobíjení akumulátorů, nebo dodává energii přímo pro elektromotor pohánějící kola vozu. Při požadavku maximálního výkonu, je potřebná energie dodána jak z baterií, tak z generátoru. Převodovka není potřeba, neboť elektromotor je účinnější v širším rozsahu otáček než spalovací motor. Hlavní výhodou sériového hybridu je, že otáčky spalovacího motoru nejsou závislé na otáčkách kol. Spalovací motor se tedy pohybuje v okolí návrhového bodu (prakticky konstantní otáčky), ve kterém má nejvyšší účinnost, tedy nejpříznivější spotřebu paliva. Dále toto uspořádání dává větší volnost inženýrům při návrhu vozidla. Klasický spalovací motor může být nahrazen plynovou turbínou či lineárním motorem.



Obr. 2 Sériový hybrid

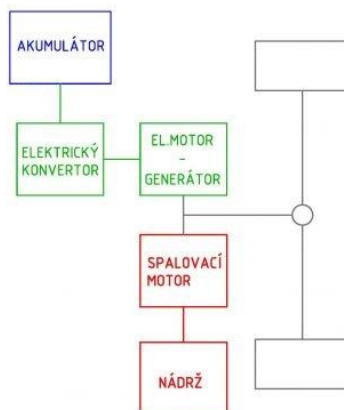
Pokud jsou elektromotory umístěny v nábojích kol na obr. [3], není třeba používat převodovku, diferenciál nebo hnací hřídele. Nevýhodou tohoto řešení je výrazný nárůst neodpružené hmoty, což způsobí problémy při návrhu odpružení (výrazné snížení komfortu). Dalším záporem při odstranění mechanického spojení spalovacího motoru s poháněnými koly prostřednictvím spojky, převodovky, diferenciálu a hnacího hřídele, je pokles účinnosti pohonu. Mechanická cesta má výrazně vyšší účinnost (98 %) než elektrická cesta přes generátor, měnič do elektromotoru (70-80 %). V porovnání s paralelním hybridem, o kterém se zmíním dále, je jeho efektivita vyšší při pomalé přerušované jízdě ve městě, naopak s rostoucí rychlostí se projeví výhody paralelního pohonu.



Obr. 3 Sériový hybrid s elektromotory v nábojích kol

1.1.2. Paralelní hybrid

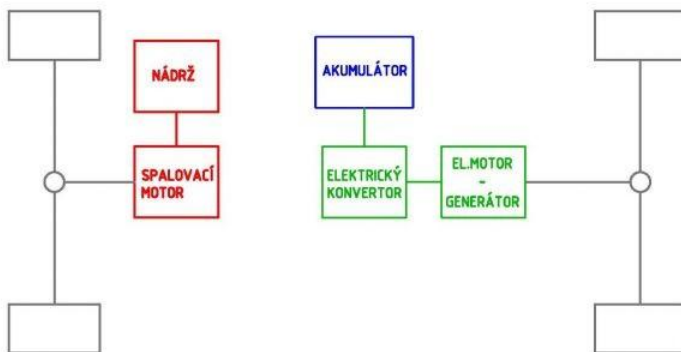
U většiny dnes prodávaných hybridů se používá právě tento systém na obr. [4]. Vůz je vybaven spalovacím motorem a elektromotorem, které jsou s koly propojeny přes mechanickou převodovku. Častým uspořádáním je umístění elektromotoru a generátoru mezi spalovací motor a převodovku. Elektromotor plní funkci startéru a alternátoru. K akumulaci elektrické energie slouží akumulátory s výrazně větším napětím než je v běžných automobilech. Kvůli zvýšení účinnosti spalovacího motoru bývají „spotřebiče“ jako posilovač řízení nebo klimatizace poháněny elektromotorem. Tím jsou jejich otáčky nezávislé na otáčkách motoru a navíc pokud zařízení nepracuje, není mu dodávána elektrická energie.



Obr. 4 Paralelní hybrid

Dva zdroje energie jsou spojeny hřídelem a výsledný moment je dán součtem jejich okamžitých momentů. Pokud je tedy využíván pouze jeden motor, druhý rotuje s ním, aniž by dodával výkon (volnoběh), nebo může být odpojen přes spojku. U automobilů se častěji používá spojení přes planetovou převodovku. Obvyklým režimem paralelního hybridu je, že většinu výkonu

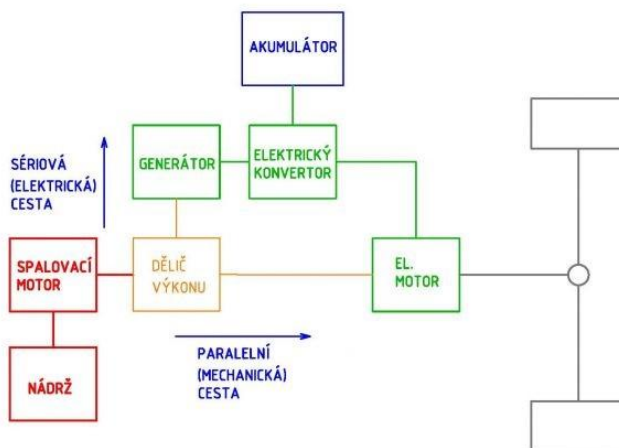
dodává spalovací motor a elektromotor se zapojuje v případě akcelerace. Výhodou je možnost rekuperace. Volvo V60 Plug-in-Hybrid využívá paralelní hybrid k pohonu obou náprav na obr. [5].



Obr. 5 Paralelní hybrid s pohonem obou náprav

1.1.3. Kombinovaný hybrid

Je vybaven tzv. *děličem výkonu*. Ten zajišťuje, aby tok výkonu spalovacího motoru šel ke kolům buď to mechanickou cestou (paralelní hybrid) nebo elektrickou (sériový hybrid). O tom kolik procent výkonu půjde mechanickou či elektrickou cestou rozhoduje režim, ve kterém se vůz nachází. Jsou to například akcelerace, jízda nízkou rychlostí (město), vysokou rychlostí (dálnice), prudká akcelerace, jízda z kopce, brzdění. Tímto systémem na obr. [6] jsou vybaveny vozy Toyota a Lexus.



Obr. 6 Kombinovaný hybrid s děličem výkonu

1.2. Rozdělení podle velikosti „hybridizace“

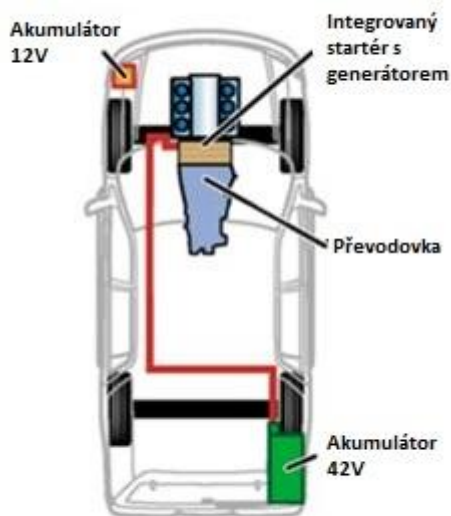
1.2.1. Micro-Hybrid

Jako Micro-Hybrid je označován automobil vybavený systémem Start & Stop. Micro-Hybrid tak vlastně ze všech druhů hybridů reprezentuje technicky nejjednodušší variantu hybridního pohonu. Micro-Hybrid je označení pro typ hybridního pohonu, u kterého je k pohonu kol po celou dobu jízdy využíván klasický spalovací motor. Automobil má vlastně jen předimenzovaný startér, který umožňuje častější zhasínání a startování motoru podle příkazů řídicí jednotky. Micro-Hybrid tedy není možné provozovat pouze na samotnou elektřinu.

Micro-Hybridy druhé generace jsou nově vybaveny funkcí rekuperace brzděné energie, což znamená, že startér funguje při brzdění jako alternátor a dobíjí tedy akumulátor. Přesto je úspornost těchto vozidel velmi nízká a odborníci Micro-Hybrid nepovažují za plnohodnotný hybridní automobil. Největší úspornosti dosahuje Micro-Hybrid v městském provozu, kdy řidič často čeká na zelenou nebo dobrzdí v kolonách.

1.2.2. Mild-Hybrid

Jako Mild-Hybrid je označován hybridní automobil na obr. [7], u kterého se elektromotor na pohybu nikdy nepodílí sám. Elektromotor pouze pomáhá klasickému spalovacímu motoru při rozjezdu nebo při akceleraci automobilu. Není však možné, aby byl Mild-Hybrid poháněn pouze samotnou elektřinou.

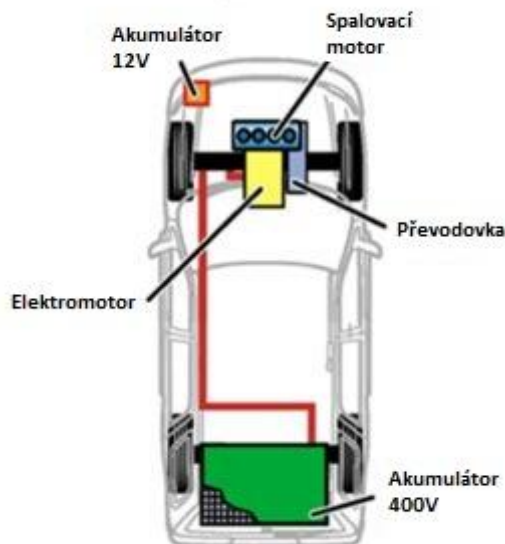


Obr. 7 Mild-Hybrid

Je nutné podotknout, že mnoho odborníků nepovažuje Mild a Micro-Hybrid za skutečný hybrid. Úspory paliva u těchto hybridů jsou minimální. V současné době se tyto systémy pomalu začínají montovat do všech sériově vyráběných automobilů, aniž by se označovaly jako hybridy. Tyto systémy se stávají nutnou součástí automobilu, neboť neustálé vyhlášky Evropské unie nutí výrobce snižovat spotřebu paliva a emise CO₂ za každou cenu.

1.2.3. Full-Hybrid

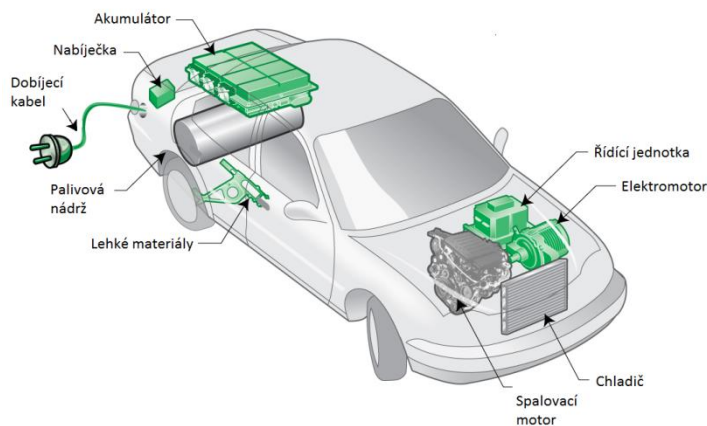
Jako Full-Hybrid je označován hybridní automobil na obr.[8], který je schopen pohybovat se prostřednictvím spalovacího motoru nebo na čistě elektrický pohon. Full-Hybrid se od Mild-Hybridu liší především tím, že dokáže jet bez použití spalovacího motoru, např. čistě na elektrický pohon. V tomto režimu má automobil v podstatě nulové emise. Průkopníkem takového pohonu je Toyota a Lexus. U Full-Hybridů si může řidič volit, na jaký druh pohonu chce právě cestovat.



Obr. 8 Full-Hybrid

1.2.4. Plug-in-Hybrid

Hybridní automobil s přívlástkem Plug-in-Hybrid na obr. [9] je takový hybridní automobil, který je možné dobít přímo z elektrické sítě, jako čistý elektromobil. Nově představované hybridní automobily nesou stále častěji přívlástek Plug-in. V praxi to neznamená nic jiného než to, že akumulátory takového hybridního vozu je možné dobít prostřednictvím kabelu přímo z elektrické zásuvky. Jinak tento systém pracuje stejně, jako v případě Full-Hybridu. Jedno z prvních řešení tohoto druhu systému nabídla automobilka Volvo se svým modelem V60.



Obr. 9 Plug-in-Hybrid

Výhodou takových vozidel je skutečnost, že dokážou ujet několik desítek kilometrů čistě na elektřinu, čímž ve městě výrazně snižují svou spotřebu a emise. V případě potřeby vysokých rychlostí na dlouhé vzdálenosti pak vozidlo zapíná spalovací motor, který je optimalizovaný právě na takové využití, čímž se dále zvyšuje jeho účinnost.

1.3. Systémy součástí hybridního pohonu

1.3.1. Systém Start & Stop

Vozidla vybavená systémem Start & Stop obr. [10] automaticky vypínají spalovací motor v případě, že se nacházejí v klidovém stavu (např. stání na křižovatce na červenou). Díky tomuto systému se šetří nejen palivo, ale snižují se i emise. Tento systém vyvinula společnost Bosch, jako svůj příspěvek ekonomickému a ekologickému provozu vozidel. Pro použití funkce Start & Stop vytvořili vývojáři firmy BOSCH speciální startér. Životnost tohoto startéru byla výrazně prodloužena. Startér dostal výkonnější elektromotor a má tišší chod. Zní to sice zcela jednoduše, nicméně pro správnou a bezproblémovou funkci je zapotřebí součinnosti několika zařízení a čidel. Nejprve řídicí jednotka motoru zkontroluje, zda se motor nachází ve stavu chodu naprázdno, zda jsou kola ve stavu klidu a zda akumulátor disponuje dostatečným množstvím energie pro opětovné nastartování motoru. Pokud ano, motor se vypne. Aby mohl vůz pokračovat v jízdě, stačí lehce stisknout spojku a motor okamžitě automaticky nastartuje. Zcela potichu a spolehlivě. Nejvíce se projeví výhody tohoto systému při jízdě v hustém městském provozu. Firma BOSCH uvádí snížení spotřeby paliva a emisí CO₂ až o 8 %. Při jízdě mimo město nemá tento systém smysl.



Obr. 10 Tlačítko deaktivace systému Start & Stop

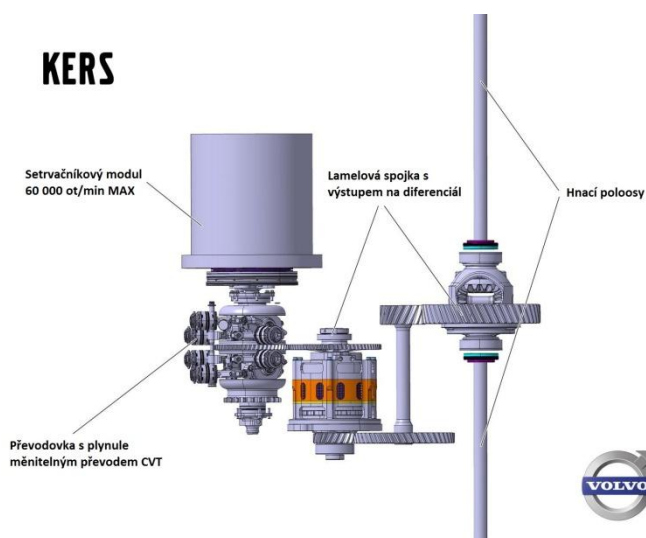
1.3.2. Funkce plachtění

Funkce plachtění snižuje spotřebu paliva automobilů s automatickou převodovkou. Princip je prostý: pokud vozidlo jede po rovině či mírně z kopce a řidič sundá nohu z plynu, automobil sám zařadí neutrální. Tím sníží mechanické odpory, potažmo spotřebu paliva. Jakmile se řidič dotkne brzdy nebo plynu, opět se zařadí odpovídající převodový stupeň. Funkcí plachtění jsou vybaveny například automatické převodovky DSG od 4. generace. Některé hybridní automobily mohou úplně vypnout spalovací motor a jet pouze s využitím elektromotoru. Při požadavku na akceleraci se pak opět bleskově spouští spalovací motor.

1.3.3. Regenerativní brzdění

Regenerativní brzdění umožňuje přeměnu kinetické energie na takovou formu energie, kterou lze uchovat a později znovu využít. Nejčastěji bývá kinetická energie automobilu přeměňována

na elektrickou a uchovávána v akumulátorech nebo kondenzátorech. Ve výjimečných případech se používá systém KERS (Kinetic Energy Recovery System) obr. [11] princip spočívá v uchovávání kinetické energie prostřednictvím setrvačníku.



Obr. 11 Systém KERS u vozů Volvo

Princip brzdění spočívá v maření kinetické energie vozidla a její přeměně na tepelnou energii prostřednictvím třecích brzd. K tomuto účelu jsou obvykle využívány kotoučové či bubnové brzdy. Z dnešního pohledu je takové počínání neekonomické a neekologické, proto výrobci automobilů přicházejí s více či méně sofistikovanými systémy pro rekuperaci brzděné energie. Princip je jednoduchý: Při deceleraci se posílí funkce alternátoru, který mechanickou energii přeměňuje na elektrickou. Při deceleraci alternátor jednoduše odebírá více mechanické energie, čili brzdí, a tím vytváří přebytek napětí, který je dále využit nebo uchován. Při akceleraci nebo ustálené jízdě je tomu naopak, alternátor v tomto případě může pracovat s nižší zátěží. Krátkodobě může alternátor dokonce vyrábět méně elektrické energie než je pro provoz automobilu zapotřebí. V tomto případě se energie odebírá z akumulátoru, tím se ulehčí práce spalovacímu motoru a uspoří se palivo. Část energie se do akumulátoru opět získá při brzdění.

Mazda používá systém rekuperativního brzdění označený i-ELOOP obr. [12]. Jeho principem je uchovávání energie vzniklé při brzdění v kondenzátoru místo klasických akumulátorů. Kondenzátor má tu výhodu, že umí velmi rychle nahromadit velkou spoustu elektrické energie a stejně rychle se i vybit. Systém i-ELOOP (Inteligentní energetická smyčka) se skládá z výkonného alternátoru střídavého napětí 12-25 V, stejnosměrného měniče a nízkoodporového dvouvrstvého kondenzátoru, který se dokáže nabít během několika málo sekund. Energie nahromaděná v kondenzátoru může po převodu v měniči napětí napájet elektrické spotřebiče ve voze nebo dobíjet akumulátor.



Obr. 12 Rekuperativní systém i-ELOOP

2. Návrh a výroba modelu automobilu využívající systém Plug-in-Hybrid

2.1. Koncepce pohonu

Jako svou koncepci uspořádání pohonu jsem si zvolil paralelní, jak to u Plug-in-Hybridů bývá. Spalovací motor bude přenášet točivý moment na kola prostřednictvím odstředivé spojky, která bude spojená s jednostupňovou převodovkou a bude tvořena dvěma řetězovými převody. Na převodovku následně přimontuji elektromotor tak, aby osa elektromotoru byla v ose klikové hřídele motoru. Díky odstředivé spojce bude možné otáčet elektromotorem nezávisle na spalovacím motoru. Naopak to ale nebude možné, neboť elektromotor bude pevně spojen s převodovkou. Tento nedostatek nebude tvořit žádný problém, neboť elektromotor má v klidovém stavu minimální odpor.

2.2. Výběr spalovacího motoru

Jako nejvhodnější spalovací motor jsem zvolil zážehový dvoutaktní motor. Zatím je jedinou možnou alternativou, protože splňuje podmínky na nízkou hmotnost, nízkou cenu a jednoduchost provozu. Motor dosahuje vysokých výkonů z malého objemu, je to dáno jeho konstrukcí, která umožňuje vysoké otáčky. Celý pracovní cyklus se odehraje během jedné otáčky klikové hřídele. Jedinou nevýhodou je nadměrně vysoká spotřeba paliva z důvodu nedokonalého spalování. Do paliva se musí přimíchávat olej, neboť směs paliva s olejem maže součásti v klikové skříni.

Pro model jsem zvolil následující motor na obr. [13]. Technická data jsou uvedena v Tab. [1]. Motor je primárně určen pro dětské čtyřkolky, jeho výkonové parametry jsou tedy více než dostačující. Součástí motoru je již odstředivá spojka, elektrický startér, alternátor a převodovka.



Obr. 13 Dvoudobý spalovací motor

Tab. 1 Technická data

Zapalování	C.D.I	Efektivní výkon	2,5 kW / 8000 ot/min
Karburátor	Dell Orto	Hmotnost	4 kg

2.3. Výběr elektromotoru

Velmi důležitou částí byl výběr správného elektromotoru. Existuje mnoho druhů elektromotorů, jako např. stejnosměrné motory, synchronní motory a asynchronní motory. Ale ne každý je vhodný pro pohon vozidla, neboť je nutné neustále regulovat otáčky, což některé konstrukce elektromotorů neumožňují. Z vlastní zkušenosti proto volím BLDC motor na obr. [14]. BLDC motor je konstrukčně velmi podobný stejnosměrnému motoru, s tím rozdílem, že BLDC motor nemá komutátor. Tato výhoda zvyšuje účinnost a efektivnost tohoto motoru. Tím, že se odstranil mechanický komutátor, se musely do statoru přemístit cívky, které jsou napájeny třífázově a do rotoru se umístily magnety. Použité magnety ovlivňují vlastnosti motoru. Nejúčinnější jsou NdFeB (Neodymové magnety), které jsou v současné době nejsilnější, mohou být menší, čímž se snižuje hmotnost rotoru, tím jeho setrvačnost a celkově i hmotnost celého motoru. Přepínání proudu do jednotlivých cívek zajišťují elektronické spínací obvody, které spínají na základě informací o natočení rotoru vůči statoru. Směr magnetického pole statoru tak udržuje optimální úhel k magnetickému poli rotoru, podobně jako je to u mechanického komutátoru. Tato konstrukce motoru se začala rozvíjet s možností využívání polovodičových součástek. Problém u řízení tohoto motoru spočívá v tom, že je nutné znát přesnou polohu natočení rotoru vůči statoru, aby ke komutaci docházelo ve správný okamžik. V případě mé regulace nemá elektromotor žádné snímače natočení statoru vůči rotoru, proto při rozjezdech bude mít motor problémy. Technická data jsou uvedena v Tab. [2].



Obr. 14 BLDC motor řízený třífázovým regulátorem

Tab. 2 Technická data BLDC motoru

Pracovní napětí	15-42 V	Napěťová konstanta	230 ot/min/V
Pracovní proud	1,7-90 A	Max. Výkon	3780 W
Maximální účinnost	85 %	Hmotnost	709 g

2.4. Výběr akumulátoru

Neméně důležitým komponentem je akumulátor, který dodává energii elektromotoru. Na trhu je velké množství druhů akumulátorů, které se dají použít. Ve většině hybridních automobilů se používají Li-ion (Lithium-iontové) akumulátory, které mají v současné době nejlepší energetickou hustotu na kilogram své hmotnosti. Jejich jedinou nevýhodou je vysoká cena, která enormně zvyšuje cenu již zmíněných hybridních automobilů. Jako spolehlivé a dostupné řešení volím olověný gelový bezúdržbový akumulátor na obr. [15], který má dostačující energetickou kapacitu a je odolný vůči vysokému proudovému odběru. Nejvhodnější řešení je použití dvou těchto akumulátorů zapojených do série, kdy získám napětí 24 V a celkovou kapacitu 9 Ah.



Obr. 15 Olověný gelový bezúdržbový akumulátor 12 V o kapacitě 9 Ah

2.5. Konstrukce

Základem je zvolit vhodnou konstrukci, která se bude hodit pro tento typ pohonu. Ten si nárokuje velký prostor pro zástavbu elektromotoru, akumulátoru a pomocných elektronických zařízení. Bylo důležité navrhnout konstrukci tak, aby snesla velkou hmotnost těchto komponent, a zároveň splňovala požadavek na maximální možnou pevnost a zároveň nízkou hmotnost. Nejlepší volbou se ukázalo použití příhradové konstrukce svařené z profilů Jäkl 15x1,5 mm. Tvar (design) konstrukce jsem částečně převzal z pouštních buggyn, jelikož jejich konstrukce je poměrně jednoduchá a na výrobu méně složitá než jiné příhradové konstrukce.

2.5.1. Postup výroby příhradové konstrukce

2.5.1.1. Základní obrys

Celá konstrukce je svařená technologií MAG (Metal Active Gas) z nelegované profilové konstrukční oceli třídy 12. Při výrobě této konstrukce je důležité vytvořit základní obrys konstrukce obr. [16], od které se pak odvíjí zbytek. Proto je nezbytné se této části věnovat co nejvíce zodpovědně. Návrhu této konstrukce předcházela jednoduchý náčrt se základními kótami.



Obr. 16 Základní obrys konstrukce

2.5.1.2. Hlavní nosná část

Tato část je velmi důležitým prvkem celé konstrukce obr. [17], neboť zaručuje torzní tuhost a pevnost. Při svaření jsem si musel dávat pozor na přirozenou roztažnost materiálů. Při nesprávném zvolení délky profilu se konstrukce začala kroutit z důvodu vnitřního pnutí. Tento nepříjemný jev mě potrápil vcelku na celé konstrukci. Pro udržení dané přesnosti výroby jsem musel nevyhovující části přepracovávat.



Obr. 17 Hlavní nosná část

2.5.1.3. Dokončení ochranné klece

Ochranná klec na obr. [18] slouží k ochraně vnitřních komponent, a také zlepšuje pevnost celého skeletu. Jejím dalším úkolem je umožnit zástavbu komponent, které se do hlavní nosné části nevešly. Samozřejmě tato část doplňuje závěrečný vzhled modelu. Ochranná klec byla na výrobu nejsložitější, obsahovala složené řezy (úkos a pokos), které se velmi těžce nařezávaly. Nařezané kusy bylo potřeba několikrát upravovat, aby přesně pasovaly do daného místa.



Obr. 18 Ochranná vrchní klec

2.5.2. Výroba pomocných komponentů

Vzhledem k velkému množství komponentů, které tento model obsahuje, jsem byl nucen navrhovat pomocné komponenty ve vektorovém programu AutoCAD. Tento program umožňuje navrhovat jednotlivé komponenty rychle a efektivně. Návrh probíhá v reálných délkových rozměrech [mm]. Konečné návrhy jsem následně převedl do souřadnicových G-kódů, které ovládají 2D CNC vyřezávací stroj.

Nejlepším vhodným materiálem pro výrobu těchto komponent byl Sklotextit tab. [3]. Sklotextit je materiál používaný při výrobě tištěných spojů nebo elektrických zařízení. Jeho předností je vysoká mechanická a elektrická pevnost. Skládá se z několika tenkých vrstev skelné tkaniny, které je pod vysokým tlakem a teploty spojeny pomocí syntetické epoxidové živice do pevných desek o různé tloušťce. Jeho mechanické vlastnosti se blíží mnohem lepším kompozitovým materiálům, jako je uhlíkové vlákno. Cena je ale mnohem přijatelnější než jiné kompozity.

Tab. 3 Mechanické vlastnosti materiálu Sklotextit G11 155°C

Mechanické vlastnosti:	Měrná jednotka:	Hodnoty:
Pevnost v ohybu při porušení kolmo na vrstvy (při 20 °C)	MPa	340
Modul pružnosti v ohybu	MPa	24x10 ³
Pevnost v tahu	MPa	300
Pevnost v tlaku kolmo na vrstvy	MPa	350
Rázová houževnatost (Charpy) rovnoběžně s vrstvami	KJ/m ²	33
Pevnost ve smyku rovnoběžně s vrstvami	MPa	30
Pevnost v tlaku rovnoběžně s vrstvami dle PN-83/C-89031	MPa	180

2.5.2.1. Uložení ložisek zadní nápravy

Uložení ložisek zadní nápravy jsem se rozhodl vyrobit vlastní, neboť si mohu navrhnout vlastní řešení přesně zapadající do konstrukce. Uložení jsem navrhl jako jednoduché s možností demontáže pomocí šroubů a rychlé výměny ložiska. Skládá se z jednotlivých vrstev sklotextitu o tloušťce 1,5 a 2 mm. Na obr. [19] je CAD návrh, následná realizace a konečná montáž s ložiskem.



Obr. 19 CAD návrh, následná realizace a montáž na hřídel

2.5.2.2. Řízení předních kol

Řízení je jednou z nejdůležitějších částí modelu, umožňuje bezpečnou a spolehlivou změnu směru jízdy. Vzhledem k tomu, že se jedná o dálkově řízený model je potřeba do řízení zabudovat mechanismus, který bude s koly otáčet. V mém případě jsem zvolil servomotory ovládané dálkovým přijímačem. Servomotor na obr. [20] reaguje na délku signálu z přijímače a podle toho přizpůsobuje svoje natočení. Velmi důležité jsou parametry servomotoru tab. [4]. Na přívodní vodiče všech servomotorů je potřeba umístit feritová jádra z důvodu odrušení. Největším zdrojem rušení je zapalování. Při špatném odrušení by servomotory nereagovaly na signály z přijímače a mohlo by dojít k nehodě.



Obr. 20 Servomotor Hitec HS-805MG

Tab. 4 Parametry servomotoru Hitec HS-805MG

Typ servomotoru	Analogový	Rychlost při 4.8V [s/60°]	0,19
Tah při 4.8V [kg/cm]	19,8	Rychlost při 6.0V [s/60°]	0,14
Tah při 6.0V [kg/cm]	24,7	Napájení [V]	4,8-6,0
Převody servomotoru	Kovové	Hmotnost [g]	197

Můj první návrh na obr. [21] měl při zkoušce funkčnosti problémy, neboť nesplňoval požadavky pro bezpečnost. Nežádoucí věc se objevila v nezávislém natáčení kol, která byla ze začátku tohoto konceptu opomenuta. Problémem byla nemožnost udržení kol v přímém směru, když na kola působily vnější síly. Při jízdě kola neustále měnila svoji sbíhavost a rozbíhavost. Servomotory nedokázaly vyrovnávat sílu, která působila proti nim, proto jsem se rozhodl tento koncept přepracovat.



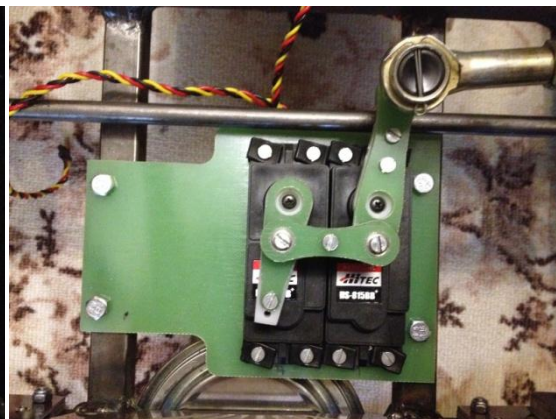
Obr. 21 Nevyhovující koncept nezávislého řízení

Jako poučení z předchozího konceptu jsem odstranil nezávislé řízení a obě přední kola spojil tyčí s možností seřizování sbíhavosti pomocí závitů a matic. Pro podmínku správného odvalování kol jsem vytvořil speciální držáky obr. [22], které vytvářejí lichoběžník řízení. Servomotory jsem sloučil do

jednoho kompaktního celku, čímž jsem zvýšil točivý moment, kterým budou natáčena kola na obr.[23]. Při reálné zkoušce kola držela svůj směr a nijak neměnila svoji sbíhavost. Díky sloučení obou servomotorů jsem dosáhl zvýšení rychlosti natočení kol a větší spolehlivosti, neboť při selhání jednoho servomotoru je schopný druhý převzít řízení na nouzové dojetí.



Obr. 22 Nástavec pro lichoběžník řízení



Obr. 23 Sloučené servomotory

2.5.2.3. Regulace množství směsi pomocí šoupátka

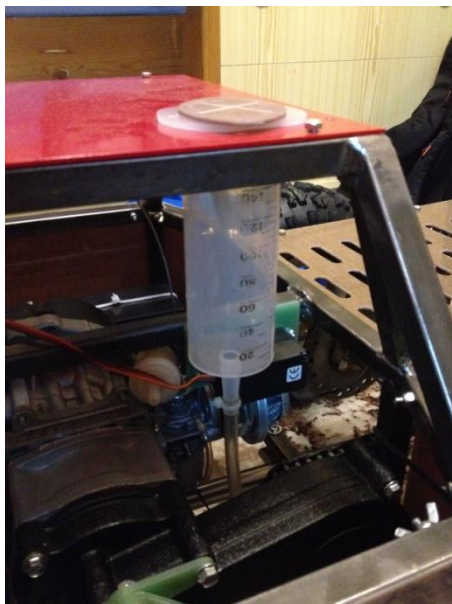
Regulace množství směsi pomocí šoupátka je také provedena pomocí servomotoru. Na servomotor je přimontovaná speciální páka na obr. [24], která tahá za ocelové lanko pevně spojené se šoupátkem. Servomotor dokáže velmi jemně měnit zdvih šoupátka, tím se docílí velmi jemné regulace množství nasávané směsi.



Obr. 24 Servoregulace množství nasávané směsi

2.5.2.4. Palivová nádrž

Pro objektivní a spolehlivé měření spotřeby paliva jsem palivovou nádrž vytvořil z injekční stříkačky o objemu 160 ml, kterou jsem umístil do polohy vhodné k odečítání hodnot objemu na obr. [25]. Z nádržky vede palivové potrubí přes hlavní čistič paliva do karburátoru.



Obr. 25 Ocejchovaná palivová nádrž

2.5.2.5. Kotoučová brzda

Model jsem vybavil důležitým bezpečnostním prvkem, a to kotoučovou brzdou na obr.[26]. Slouží pro spolehlivé zastavení a zajištění modelu. Brzda je tvořena třmenem s plovoucím uložením a mechanickým ovládáním pomocí ocelového lanka. Ocelové lanko je opět napojeno na výkonný servomotor, který je dostatečně silný na to, aby účinně a včas zabrzdil.

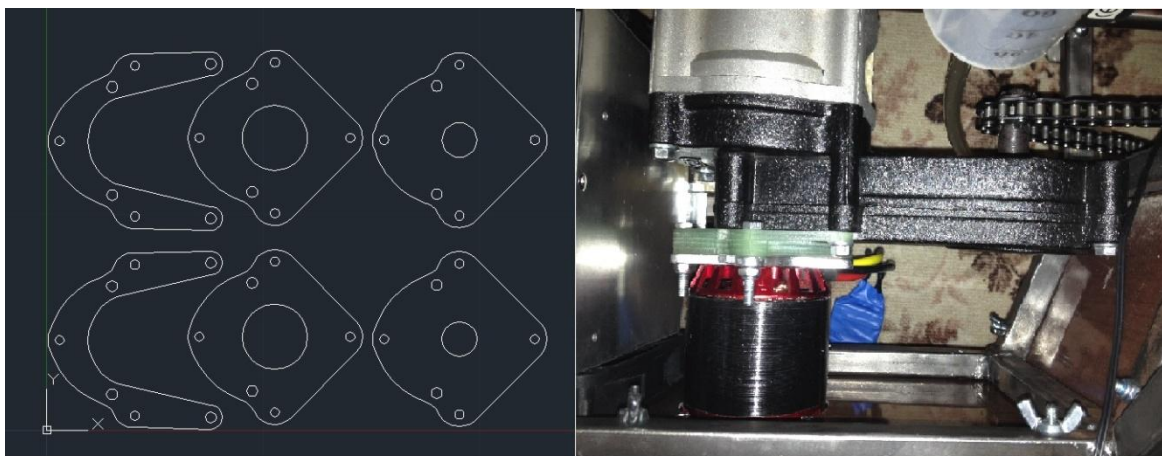


Obr. 26 Kotoučová brzda s brzdým třmenem

2.5.2.6. Převodovka s držákem pro elektromotor

Součástí motoru je demontovatelná převodovka s řetězovým převodem. Na převodovce je umístěn třecí buben, na který doléhají při zvýšených otáčkách třecí elementy odstředivé spojky. Točivý moment se dále přenáší na pastorek prvního stálého převodu a na elektromotor. První stálý převod se nachází v krytu převodovky a dále přenáší točivý moment přes další pastorek na rozetu pevně spojenou s hřídelí zadních kol. V tomto případě už vně převodovky. Při návrhu držáku elektromotoru jsem se snažil co nejvíce využít tvaru krytu, který mi usnadňoval správné navržení polohy elektromotoru vůči hřídeli. Pro uchycení držáku jsem využil stávající šrouby. Na obr. [27] je

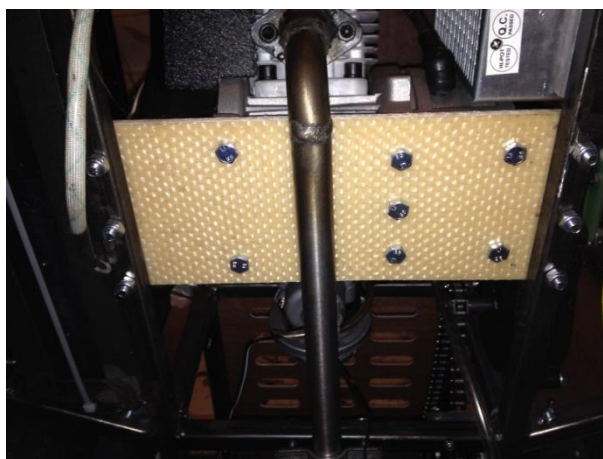
konečný CAD návrh s realizací. Hřídel elektromotoru a hřídel převodovky je spojena pomocí dutého na míru vysoustruženého válečku, který spojuje obě hřídele pomocí dvou červíků. Tento spoj je rozebíratelný a je důležité kontrolovat správné dotažení těchto spojů.



Obr. 27 CAD návrh držáku a následná finální montáž s elektromotorem na převodovku

2.5.2.7. Držák spalovacího motoru

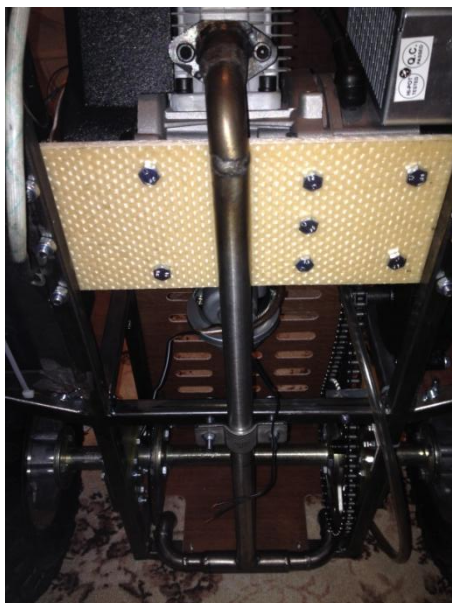
Nosnou část spalovacího motoru jsem se rozhodl také vytvořit ze sklotextitu, neboť tento materiál poskytuje široké možnosti použití. Díky tepelné odolnosti tohoto materiálu je možné ho vystavit teplotě až 155 °C bez změny jakékoliv z jeho vlastností. Proto není problém ho použít jako hlavní nosnou část spalovacího motoru. Návrh jsem opět vytvářel pomocí CAD technologie. Realizace je na obr. [28]



Obr. 28 Hlavní držák spalovacího motoru přišroubovaný k rámu

2.5.2.8. Výfukové potrubí

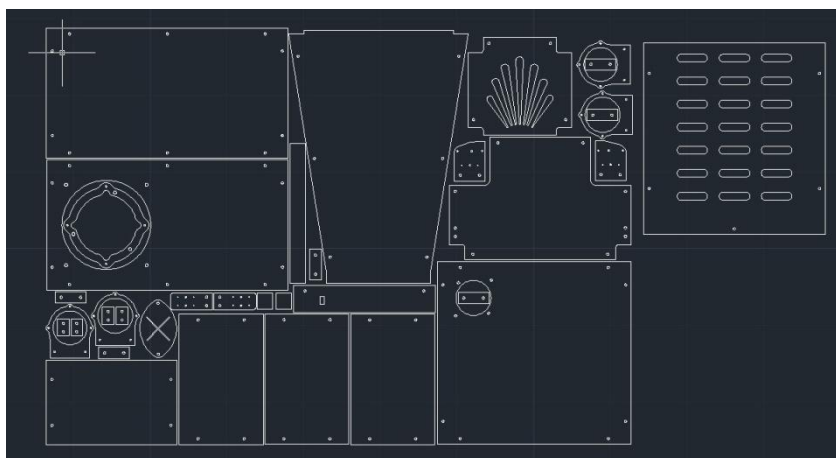
Důležitou součástí spalovacího motoru je výfukové potrubí, které odvádí spaliny do zadní části automobilu. Výfukové potrubí většinou tvoří i tlumiče, které zpomalují tok spalin a tím i snižují hlučnost. V mém případě výfukové potrubí neobsahuje žádný tlumič z důvodu možného snížení výkonu motoru. Výfukové potrubí na obr. [29] je vyrobeno z nerezové oceli a svařeno pomocí technologie WIG (Wolfram-inert-gas).



Obr. 29 Nerezové výfukové potrubí

2.5.2.9. Kapotáž

Ochranný prvek netvoří jen vlastní rám, ale i panely po povrchu rámu, které zabraňují poškození vnitřního vybavení. Některé panely slouží i pro uchycení některých komponent jako je např. chladící ventilátor, ochranné mřížky nebo palivová nádrž. Panely jsou vyrobené z odlehčeného sklotextitu, který nemá srovnatelnou pevnost jako výše zmíněné. Na obr. [30] je CAD návrh těchto panelů. Přední a zadní panel jsem se snažil oživit různými tvary, které podtrhují celý design modelu. Součástí panelů jsou také držáky osvětlení, jako jsou obrysová, dálková, směrová a brzdová světla.



Obr. 30 CAD návrh panelů a držáků osvětlení

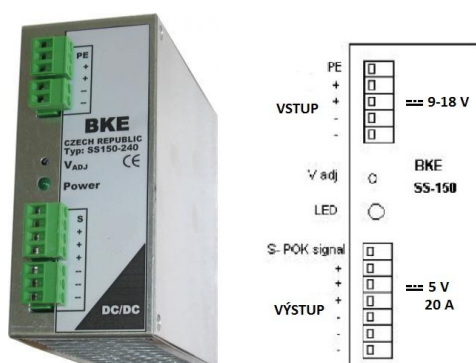
2.6. Elektroinstalace

Bez elektroinstalace by model nefungoval a nebylo by možné ho dálkově ovládat. Proto je důležité vytvořit spolehlivou a bezpečnou elektroinstalaci, která bude splňovat základní předpoklady ke správné funkci celého systému.

2.6.1. Elektrické komponenty

2.6.1.1. Měnič DC – DC (12 V – 5 V)

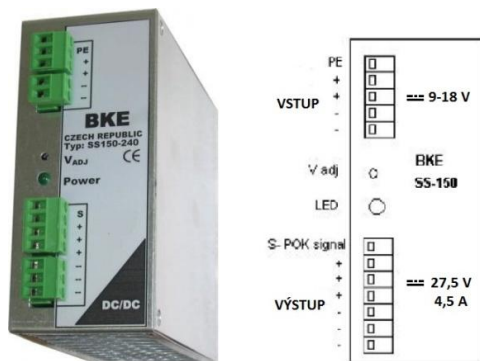
Tento měnič slouží k transformaci stejnosměrného napětí z akumulátoru (12 V) na napětí potřebné k napájení komponent (5 V), jako jsou servomotory, přijímač a mikročip. Měnič je uchyten na DIN liště, která je přišroubovaná k rámu. Měnič je aktivní po celou dobu od zapnutí hlavního spínače. Při výběru tohoto měniče bylo důležité počítat s velkým proudovým odběrem servomotorů, a proto dostatečně měnič naddimenzovat. Vzhledem k tomu, že na trhu nejsou volně k prodeji tyto výkonné měniče, musel jsem zadat poptávku firmě BKE a.s., která byla ochotna mně vyrobit měnič přesně na míru. Měnič je na obr. [31].



Obr. 31 Stejnosměrný měnič

2.6.1.2. Dobíječ DC – DC (12 V – 27,5 V)

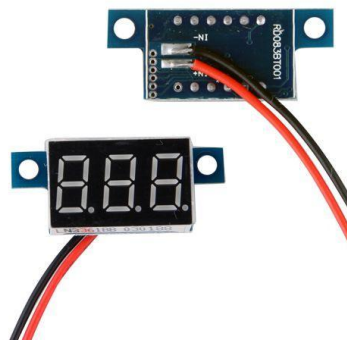
Následující dobíječ na obr. [32] funguje na stejném principu, jako předchozí měnič. Slouží k dobíjení 24 V akumulátorů, které dodávají elektrickou energii elektromotoru. Dobíječ je napájen z primárního 12 V akumulátoru, který slouží k napájení celé elektrické sítě. Dobíječ je aktivován pomocí dálkového ovládání při potřebě dobití akumulátorů. Je umístěn vedle měniče a s ním je nuceně chlazen elektrickým ventilátorem aktivovaném vždy při zapnutí zapalování, neboť při běžícím spalovacím motoru dochází k enormnímu nárůstu teploty. Stejně jako předchozí měnič je vyrobený přesně na míru. Vzhledem k tomu, že stavím Plug-in-Hybrid, jsou do tohoto dobíječe přivedeny zvláštní kabely, které umožňují externí dobíjení akumulátorů.



Obr. 32 Stejnosměrný dobíječ

2.6.1.3. Voltmetry 12 - 24V

Hlídání napětí jednotlivých akumulátorů je velmi důležité, protože při nadměrném vybití dochází ke ztrátě kapacity nebo k úplnému zničení akumulátoru. Pro kontrolu stavu nabití jsem model opatřil dvěma digitálními voltmetry na obr. [33], které monitorují aktuální stav napětí akumulátorů. Při zapnutí hlavního spínače se okamžitě aktivují. Voltmetry slouží, jak ke kontrole napětí na primárním, tak i na sekundárním akumulátoru. Pracovní napětí akumulátoru se pohybuje v rozmezí od 11,8-13,8 V. Naměřená hodnota mimo tento interval znázorňuje vybitý nebo plně nabitý akumulátor.



Obr. 33 Digitální voltmetr s měřícím rozsahem od 5-30 V

2.6.1.4. Měřící analyzátor

Nejdůležitějším článkem elektroinstalace je měřící přístroj, který bude umět měřit elektrické a fyzikální veličiny. Bez tohoto prvku by nebylo možné provádět následné testy efektivnosti provozu. Při výběru vhodného měřícího přístroje jsem strávil mnoho času tím, jakým způsobem budu jednotlivé veličiny měřit. První koncepty měření spočívaly v primitivním měření pomocí multimetru, ten se ale po čase ukázal jako nevhodný z důvodu nemožnosti zaznamenávání hodnot jdoucích za sebou. Proto jsem se musel zaměřit na měřící přístroje, které umožňují dlouhodobý záznam naměřených hodnot. Tato myšlenka mě zavedla až k moderním elektrokolům, které tyto měřící přístroje obsahují. Nejvíce mě zaujal měřící analyzátor Speedict Mars na obr. [34].



Obr. 34 Měřící analyzátor Speedict Mars

Speedict Mars je zařízení pro měření a záznam rychlosti, proudu, napětí, teploty a dalších jiných veličin měřených z externích čidel. S těmito naměřenými hodnotami umí dále pracovat. Tyto hodnoty zařízení ukládá do vestavěné paměti po dobu až 12 hodin. Data se dají jednoduše stáhnout a přenést do PC, nebo rovnou prohlížet na chytrém telefonu. Mimo to je možné sledovat data v reálném čase na displeji telefonu. Pro komunikaci se zařízením se používá Bluetooth technologie. Párování je velmi snadné a párovací PIN je 00000. Hlavní parametry jsou uvedeny v Tab. [5]. Analyzátor se zapojuje do série mezi akumulátor a regulátor elektromotoru.

Tab. 5 Parametry analyzátoru

Paměť	8 Mbit
Doba záznamu	12 hodin
Spotřeba	60 mA
Hmotnost	38 g
Dosah Bluetooth	až 80 metrů
Rozsah měření napětí	0-80 V
Rozsah měření proudu	0-100 A
Pracovní teplota	0-50 °C

2.6.1.5. Elektronický regulátor otáček elektromotoru

U řízení otáček BLDC motoru se používá třífázový elektronický regulátor na obr. [35], který snímá signál z dálkového přijímače a podle délky impulsu upravuje otáčky elektromotoru. Regulátor obsahuje dva přívodní kabely, které jsou připojeny na akumulátor, v našem případě na měřicí analyzátor, a tři výstupní kabely k elektromotoru. Při prohození jakéhokoliv výstupního kabelu měníme smysl otáčení elektromotoru. Pro daný pohon jsem počítal s velkými zatěžovými proudy, proto jsem vybral regulátor s větší proudovou zatížitelností, než jakou má samotný elektromotor. Touto rezervou si zabezpečuji spolehlivost a životnost. Technická data regulátoru jsou uvedena v Tab. [6]. Při jízdě čistě na spalovací motor bude nutné odpojovat regulátor od elektromotoru, neboť permanentní magnety v elektromotoru budou indukovat v cívkách proud, který by mohl zničit elektroniku regulátoru. Pro odpojování použiji dálkově řízený stykač.



Obr. 35 Střídavý elektronický regulátor

Tab. 6 Technické údaje regulátoru

Pracovní napětí	7-28 V
Pracovní proud	Do 120 A
Regulační frekvence PWM	8 nebo 16 kHz
Ochrana při ztrátě signálu	Vypne motor po 3 vteřinách
Hmotnost	92 g

2.6.2. Dálkové ovládání

Bez dálkového ovládání by bylo téměř nemožné provádět následující sérii testů. Proto jsem se rozhodl do modelu zabudovat profesionální dálkový ovládací systém, se kterým mám již dlouhodobé zkušenosti.

2.6.2.1. Vysílač

Pro ovládání používám desetikanálový vysílací systém Futaba Fasst T10CP na obr. [36], který vysílá na frekvenci 2,4 GHz. Díky této frekvenci je téměř nemožné tento systém zarušit jiným signálem, neboť neustále mění svůj kanál pro udržení čistého spojení. Díky této funkci získává vysokou spolehlivost. Ovladač se skládá ze dvou pák, kterými jde současně pohybovat po obou osách x a y. Součástí ovladače jsou také přepínače umožňující dálkové spínání.



Obr. 36 Vysílač Futaba Fasst T10CP

2.6.2.2. Přijímač

Přijímač musí být plně kompatibilní s vysílačem, proto používám přijímač od stejného výrobce na obr. [37], který zaručuje plnou funkčnost. Přijímač přijímá pokyny od vysílače a realizuje je pomocí vysílaného signálu, který posílá vodičem přímo do daného akčního členu, a ten se podle toho přizpůsobuje (servomotor se natáčí). Přijímač používající technologii 2,4 GHz, musí být umístěn v prostoru, který umožní jeho dostatečné chlazení. Do přijímače je přivedeno konstantní napětí 5 V z měniče a následně rozděleno do všech spotřebičů, které jsou do přijímače zapojeny.



Obr. 37 Přijímač Futaba Fasst R6014FS

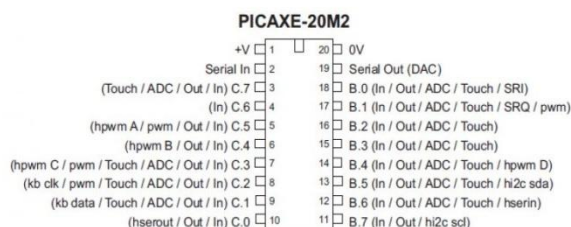
2.6.2.3. Ovládání ostatních komponentů modelu

Mezi další komponenty, které bude nutné ovládat dálkově, kromě servomotorů a regulátoru otáček elektromotoru, patří zapalování spalovacího motoru, elektrický startér, dobíjení akumulátorů, odpojování elektromotoru, obrysová světla, dálková světla, brzdová světla, směrová světla a výstražně světla.

Pro ovládání servomotorů a regulátoru otáček elektromotoru má v sobě už vysílač zabudovaný systém, pro ovládání externího spínání ale ne. Proto jsem musel vyrobit mezičlánek, který by to umožňoval. Princip je jednoduchý, budu nadále využívat signál, který mi vysílač poskytuje a budu si jej zpracovávat podle toho, jak mi bude vyhovovat. Jako mezičlánek nebo řekněme převodník použiji programem řízení mikročip.

2.6.2.3.1. Mikročip

Jako nejjednodušší možnou variantou je použití mikročipu PICAXE 20M2 na obr. [38], který se programuje pomocí programovacího jazyka s názvem Basic. Vzhledem k tomu, že již nějaké zkušenosti s tímto čipem mám, tak by neměl nastat žádný problém. Princip převodu bude spočívat v tom, že na vstupu mikročipu budu měřit délku signálu vysílaného z přijímače, a ten bude následně vyhodnocován programem, který určí co má daný komponent provést.



Obr. 38 PICAXE 20M2 s popisem jednotlivých pinů

2.6.2.3.2. Program s popisem

Tato část před slovem „Start:“ slouží k naběhnutí programu a je doprovázena světelnou signalizací výstražných světel. Tato fáze probíhá jen při zapnutí modelu.

```
pause 500
switch on B.5
switch on B.6
pause 200
switch off B.5
switch off B.6
pause 200
```

```

switch on B.5
switch on B.6
pause 200
switch off B.5
Switch off B.6

```

Dostáváme se k hlavní části programu, celý tento program se neustále opakuje ve smyčce, pořád snímá piny a měří délku signálu. V případě, že nějaká délka signálu odpovídá jedné z následujících podmínek, pošle program do druhé fáze, kde buď otevře, nebo uzavře výstup.

Start:

```

pulsin C.3,1,w6
if w6<140 then gosub Sesty                ;Startér + Zapalování
if w6<155 then gosub Sesty2              ;Startér + Zapalování
if w6>140 then gosub Sesty3              ;Startér + Zapalování
if w6>155 then gosub Sesty4              ;Startér + Zapalování

pulsin C.6,1,w6
if w6<150 then gosub Devaty              ;Elektromotor
if w6>150 then gosub Devaty2             ;Elektromotor

pulsin C.5,1,w6
if w6<115 then gosub Osmy                ;Směrová a Výstražná světla
if w6>135 and w6<155 then gosub Osmy2   ;Směrová a Výstražná světla
if w6>155 then gosub Osmy3              ;Směrová a Výstražná světla

pulsin C.7,1,w6
if w6>150 then gosub Desaty              ;Dobíjení
if w6<150 then gosub Desaty2            ;Dobíjení

pulsin C.4,1,w6
if w6>160 then gosub Sedmy               ;Obrysová a Dálková světla
if w6>145 then gosub Sedmy2             ;Obrysová a Dálková světla
if w6<160 then gosub Sedmy3             ;Obrysová a Dálková světla
if w6<145 then gosub Sedmy4             ;Obrysová a Dálková světla

pulsin C.2,1,w6
if w6>155 then gosub Druhy               ;Brzdová světla
if w6<155 then gosub Druhy2            ;Brzdová světla

goto Start

```

Druhy:

```

switch on B.0
return

```

Druhy2:

```

switch off B.0
return

```

Sesty:
switch on B.2
return

Sesty2:
switch on B.1
return

Sesty3:
switch off B.2
return

Sesty4:
switch off B.1
return

Sedmy:
switch on B.4
return

Sedmy2:
switch on B.3
return

Sedmy3:
switch off B.4
return

Sedmy4:
switch off B.3
return

Osmy:
switch on B.5
pause 500
switch off B.5
pause 500
return

Osmy2:
switch on B.6
pause 500
switch off B.6
pause 500
return

Osmy3:
switch on B.5
switch on B.6
pause 500


```
switch off B.5  
switch off B.6  
pause 500  
return
```

```
Devaty:  
switch on B.7  
return
```

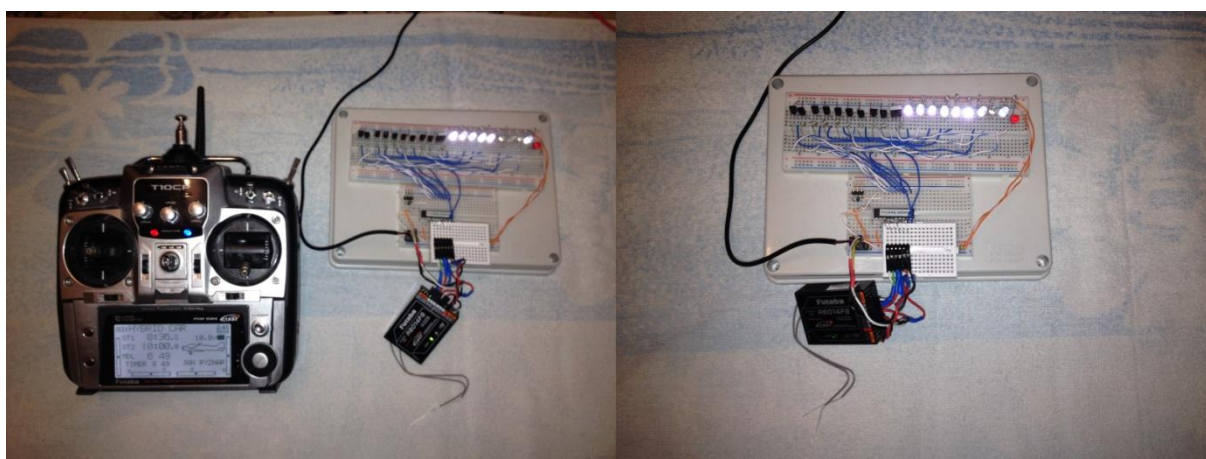
```
Devaty2:  
switch off B.7  
return
```

```
Desaty:  
switch on C.0  
return
```

```
Desaty2:  
switch off C.0  
return
```

2.6.2.3.3. Realizace a oživení obvodu na zkušebním poli

Než jsem tento převodník zabudoval do modelu, ověřil jsem si jeho funkčnost na nepájivém poli obr. [39]. Jako simulaci spínání komponentů jsem použil LED diody. Při zabudování do modelu bude tento převodník už napájený na plnohodnotném tištěném spoji. Místo spínání LED diod bude spínat výkonné tranzistory a relátka, neboť samotný mikročip má svoje proudové omezení na výstupu. Z důvodu bezpečnosti bylo nutné na přijímači naprogramovat, že při výpadku spojení s vysílačem dojde k vypnutí elektromotoru a zapalování.



Obr. 39 Zkouška funkčnosti převodníku

2.7. Závěrečná ukázka kompletně smontovaného modelu

Na závěr ukázka kompletně sestaveného modelu se všemi komponenty. Obr. [40 a 41].



Obr. 40 Přední část modelu



Obr. 41 Zadní část modelu

3. Výpočty efektivnosti provozu Plug-in-Hybridu

Tento systém má za úkol snižovat spotřebu paliva tím, že bude nahrazovat neefektivní chod spalovacího motoru při nízkých rychlostech elektromotorem nebo úplně spalovací motor vyřadí z činnosti. Naopak elektromotor je zase neefektivní ve vysokých rychlostech, proto je lepší při této jízdě využívat spalovací motor.

Testy a měření jsem realizoval nejprve s pohonem elektromotoru a následně s pohonem spalovacího motoru, měření s kombinováním těchto pohonů jsem bohužel neudělal, neboť model není vybaven nutnou synchronizací těchto rozdílných otáček. Kombinovat tyto pohony lze jen při akceleraci, kdy oba motory produkují maximální výkon a snaží se dosáhnout maximálních otáček. Elektromotor však dosahuje menších maximálních otáček, proto je nutné při dosažení těchto otáček snížit otáčky i spalovacího motoru. Při stálém zvyšování otáček by mohlo dojít k přetočení elektromotoru, čímž se v něm začne indukovat proud, který by mohl poškodit regulátor. Aby bylo možné spalovací motor využívat v maximálních otáčkách je nutné elektromotor odpojit od regulátoru, tato funkce je již obsažena v dálkovém ovládní. Model tedy bude kombinovat tyto pohony vždy zvlášť. Nikoliv současně.

3.1. Elektropohon

Při měření s použitím jen elektromotoru byly nejprve dobity akumulátory na maximální možnou hodnotu. Poté test probíhal venku na rovné silnici, kde jsem s modelem brzdil a zrychloval, abych simuloval jízdu ve městě. Pro simulaci jízdy mimo město jsem se s modelem snažil jezdit konstantní rychlostí.

3.1.1. Naměřená data

Potřebná data jsem získal z analyzátoru, která jsem si zobrazil v mobilním telefonu. V Tab. [7] jsou uvedena naměřená data pro jízdu mimo město.

Tab. 7 Naměřená data při jízdě mimo město

Maximální napětí	26,16 V	Maximální výkon	447,41 W
Minimální napětí	23,16 V	Spotřeba el. energie	12,22 Wh/km
Průměrné napětí	25,01 V	Maximální rychlost	17 km/h
Maximální proud	18,45 A	Průměrná rychlost	9,93 km/h
Minimální proud	0 A	Ujetá vzdálenost	0,68 km
Průměrný proud	2,6 A	Teplota měření	14,3 °C
Celkový spotř. el. náboj	0,27 Ah	Doba měření	6:31 [min/sec]

V Tab. [8] jsou uvedena naměřená data při jízdě ve městě.

Tab. 8 Naměřená data při jízdě ve městě

Maximální napětí	25,79 V	Maximální výkon	498,55 W
Minimální napětí	23,13 V	Spotřeba el. energie	15,75 Wh/km
Průměrné napětí	25,01 V	Maximální rychlost	17,1 km/h
Maximální proud	20,03 A	Průměrná rychlost	8,52 km/h
Minimální proud	0 A	Ujetá vzdálenost	0,55 km
Průměrný proud	3,92 A	Teplota měření	17,5 °C
Celkový spotř. El. náboj	0,33Ah	Doba měření	6:31 [min/sec]

3.1.2. Maximální rychlost

Z naměřených hodnot lze zjistit, jaké maximální rychlosti model dosahuje a tou je rychlost **17,1 km/h**.

3.1.3. Spotřeba elektrické energie na vzdálenost 100 km

Při jízdě ve městě dosahuje model spotřeby 15,75 Wh/km, to znamená, že na vzdálenost 100 km spotřebuje 1575 Wh.

Při jízdě mimo město dosahuje model spotřeby 12,22 Wh/km, z toho vyplývá, že na vzdálenost 100 km spotřebuje 1222 Wh

Při kombinování jízdy ve městě a mimo město dosáhneme spotřeby, která se vypočítá jako průměr z předešlých spotřeb, 13,98 Wh/km. Spotřebovaná energie na 100 km bude tedy 1398 Wh.

3.1.4. Výpočet nákladů na ujetí jednoho kilometru

Pro výpočet průměrných nákladů na ujetí jednoho kilometru jsem počítal s kombinovaným způsobem jízdy (město i mimo město). Při současné průměrné ceně elektrické energie, která odpovídá hodnotě 4,50 Kč/kWh jsem vypočítal průměrný náklad na jeden ujetý kilometr.

Výpočet nákladů na kilometr jízdy (1398 Wh . 4,5 Kč)/100000 = **0,063 Kč/km**

3.1.5. Akční rádius

Při testech jsem odebral průměrný elektrický náboj 0,3 Ah na průměrnou vzdálenost 0,615 km. Teoreticky je tedy možné na jedno nabití urazit vzdálenost při plně nabitých akumulátorech o kapacitě 9 Ah, až **18,45 km**.

3.2. Spalovací pohon

Při měření se spalovacím motorem jsem palivovou nádrž doplnil do maximálního možného objemu (160 ml) a spotřebu paliva jsem zaznamenával po ujetí dané vzdálenosti. Analyzátor zaznamenával rychlost a ujetou vzdálenost. Do každého měření zaznamenává i dobu měření. Způsob měření bude obdobný jako u elektrického pohonu. Při simulované jízdě městem budu neustále brzdit a zrychlovat a při jízdě mimo město se budu snažit udržovat konstantní rychlost.

3.2.1. Naměřená data

Jako v případě elektropohonu jsem z analyzátoru načel data, která obsahovala rychlost a ujetou vzdálenost. Z těchto dat jsem opět vytvořil Tab. [9].

Tab. 9 Naměřená data při jízdě mimo město

Maximální rychlost	28,4 km/h	Teplota měření	15,3 °C
Průměrná rychlost	12,2 km/h	Doba měření	8:21 (min/sec)
Ujetá vzdálenost	0,74 km	Spotřebované palivo	12,5 ml

V Tab. [10] jsou uvedena naměřená data při jízdě ve městě.

Tab. 10 Naměřená data při jízdě ve městě

Maximální rychlost	22,3 km/h	Teplota měření	14,6 °C
Průměrná rychlost	8,9 km/h	Doba měření	9:34 (min/sec)
Ujetá vzdálenost	0,51 km	Spotřebované palivo	18,5 ml

3.2.2. Maximální rychlost

Spalovací motor dosahuje mnohem vyšší rychlosti než elektromotor, jeho nejvyšší naměřená rychlost byla **28,4 km/h**.

3.2.3. Spotřeba paliva na vzdálenost 100 km

Při jízdě ve městě dosahuje model spotřeby 18,5 ml na vzdálenost 0,51 km, to znamená, že na vzdálenost 100 km spotřebuje $3627 \text{ ml} \Rightarrow \mathbf{3,6 \text{ l/100 km}}$.

Při jízdě mimo město dosahuje model spotřeby 12,5 ml na vzdálenost 0,74 km, z toho vyplývá, že na vzdálenost 100 km spotřebuje $1689 \text{ ml} \Rightarrow \mathbf{1,6 \text{ l/100 km}}$.

Při kombinování jízdy ve městě a mimo město dosáhneme spotřeby, která se vypočítá jako průměr z předešlých spotřeb, **2,6 l/100 km**.

3.2.4. Výpočet nákladů na ujetí jednoho kilometru

Pro výpočet průměrných nákladů na ujetí jednoho kilometru jsem počítal s kombinovaným způsobem jízdy (město i mimo město). Při současné průměrné ceně Naturalu 95, která odpovídá hodnotě 35 Kč/l jsem vypočítal průměrnou cenu na jeden ujetý kilometr.

Výpočet nákladů na kilometr jízdy $(2,6 \text{ l} \cdot 35 \text{ Kč})/100 = \mathbf{0,91 \text{ Kč/km}}$

3.2.5. Akční rádius

Při testech jsem spotřeboval průměrně $2,6 \text{ l/100 km}$. Vzhledem k objemu nádrže 160 ml je teoreticky možné ujet na jedno natankování vzdálenost $6,2 \text{ km}$.

Závěr

Ze zjištěných dat mohu jednoznačně usoudit, že používání hybridního pohonu je velmi výhodné, neboť umožňuje prodloužený dojezd a příznivou spotřebu jak v městském tak v mimoměstském provozu. Při správném využívání jednotlivých pohonů, se musí tento systém pozitivně projevit v celkové spotřebě paliva. Jeho současnou nevýhodou je náročná výroba a nákladnost použitých komponentů. Jako nejnávýspělejší považuji právě systém Plug-in-Hybrid, který můžete využívat například jako čistý elektromobil při dojíždění do práce, nebo naopak jako plnohodnotné rodinné auto, se kterým můžete jezdit na dlouhé vzdálenosti.

Použité informační zdroje

1. I-Eloop (2014). Získáno 11. 3 2014, z Autorevue: http://www.automobilrevue.cz/rubriky/automobily/novinky/mazda-i-elloop-rekuperace-s-kondenzatory_40581.html
2. Regulátor (2014). Získáno 14. 3 2014, z Bel-shop: <http://www.bel-shop.eu/cz-detail-958-stridavy-regulator-htl120a.html>
3. Mikrokontrolér (2014). Získáno 16. 3 2014, z GME: <http://www.gme.cz/mikrokontroler-picaxe-20m2-p772-032>
4. Akumulátor. (2014). Získáno 12. 3 2014, z Micronix: <http://eshop.micronix.cz/akumulatory-a-baterie/zalozni-akumulatory/csb-battery/hr1234wf2.html>
5. Hybridní technologie Toyota. Získáno 15. 3 2014, z Hybrid: <http://www.hybrid.cz/autosalon-frankfurt-2013-hybridni-technologie-toyota>
6. Rekuperace. Získáno 13. 3 2014, z Škoda Auto: <http://new.skoda-auto.com/cs/models/HotspotDetail?HotspotName=l1%20-%20Start-Stop%20%C5%A0KODA%20Octavia%20GreenLine&WebID=19ca84f3-7790-4062-a665-29162d631de9&Page=interior>
7. Sajdl, J. (2013). Full-Hybrid. Získáno 13. 3 2014, z Autolexicon: <http://cs.autolexicon.net/articles/full-hybrid/>
8. Sajdl, J. (2013). Hybridní pohon. Získáno 11. 3 2014, z Autolexicon: <http://cs.autolexicon.net/articles/hybridni-pohon/>
9. Sajdl, J. (2013). Plug-in-Hybrid. Získáno 12. 3 2014, z Autolexicon: <http://cs.autolexicon.net/articles/plug-in-hybrid/>
10. Speedict Mars. (2013). Získáno 16. 3 2014, z i4wifi: <http://www.i4wifi.cz/Elektricka-kola/Prislusenstvi/PRISLUSENSTVI-Analyticka-sonda-Speedict-MARS-Android.html>
11. Stejnoseměrné měniče. Získáno 11. 3 2014, z BKE: <http://www.bke.cz/cs/produkty/ss-150-xxx-din>
12. Vrstvené izolanty. Získáno 11. 3 2014, z Labara: <http://www.labara.cz/cs/vrstvene-izolanty/izolacni-desky/154-sklotextit-g11-155dc>
13. Wikipedia. (2014). Získáno 16. 3 2014, z http://cs.wikipedia.org/wiki/Dvoudob%C3%BD_spalovac%C3%AD_motor
14. *Hybridní automobily 2.* (5. 8 2008). Získáno 16. 3 2014, z baracudaj.blog.auto.cz/2008-08/hybridni-automobil-2/

Seznam obrázků

1	Označení hybridního automobilu (Toyota)	7
2	Sériový hybrid.....	8
3	Sériový hybrid s elektromotory v nábojích kol.....	9
4	Paralelní hybrid	9
5	Paralelní hybrid s pohonem obou náprav	10
6	Kombinovaný hybrid s děličem výkonu.....	10
7	Mild-Hybrid	11
8	Full-Hybrid	12
9	Plug-in-Hybrid.....	12
20	Tlačítko deaktivace systému Start & Stop.....	13
11	Systém KERS u vozů Volvo.....	14
12	Rekuperativní systém i-ELOOP	15
13	Dvoudobý spalovací motor	16
14	BLDC motor řízený třífázovým regulátorem	17
15	Olověný gelový bezúdržbový akumulátor 12 V o kapacitě 9 Ah	17
16	Základní obrys konstrukce.....	18
17	Hlavní nosná část.....	19
18	Ochranná vrchní klec.....	19
19	CAD návrh, následná realizace a montáž na hřídel.....	20
20	Servomotor Hitec HS-805MG.....	21
21	Nevyhovující koncept nezávislého řízení	21
22	Nástavec pro lichoběžník řízení.....	22
23	Sloučené servomotory	22
24	Servoregulace množství nasávané směsi	22
25	Ocejchovaná palivová nádrž.....	23
26	Kotoučová brzda s brzdícím třmenem	23
27	CAD návrh držáku a následná finální montáž s elektromotorem na převodovku	24
28	Hlavní držák spalovacího motoru přišroubovaný k rámu	24
29	Nerezové výfukové potrubí.....	25
30	CAD návrh panelů a držáků osvětlení	25
31	Stejnoseměrný měnič.....	26
32	Stejnoseměrný dobíječ.....	26
33	Digitální voltmetr s měřícím rozsahem od 5-30 V.....	27

34	Měřicí analyzátor Speedict Mars.....	27
35	Střídavý elektronický regulátor	28
36	Vysílač Futaba Fasst T10CP	29
37	Přijímač Futaba Fasst R6014FS.....	29
	PICAXE 20M2 s popisem jednotlivých pinů.....	30
39	Zkouška funkčnosti převodníku	33
40	Přední část modelu.....	34
41	Zadní část modelu	34