



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

Nové směry v pohonech automobilů

Název projektu:

Věda pro život, život pro vědu

Registrační číslo: CZ.1.07/2.3.00/45.0029



V Ústí n. L., duben 2014

Ing. František KLIMENDA

Vliv dopravy na životní prostředí

Doprava produkuje řadu *znečišťujících látek* a *zatěžuje obyvatele hlukem*

Je významným zdrojem

- emisí
- skleníkových plynů
- oxidů uhlíku – CO_2 , CO
- dusíků - NO_x
- dalších škodlivin

zhoršení zdraví obyvatelstva
zhoršení stavu životního prostředí



Poškozování životního prostředí způsobuje nejen doprava, ale i výstavba *dopravních infrastruktur* !

- silnice
- dálnice
- letiště
- železniční koridory ...

zábory půdy
narušování ekosystému



Doprava zásadně ovlivňuje i *krajinu* a její funkce:

- schopnost zadržovat **vodu**
- příznivé podmínky a biotopy pro **rostlinné** a **živočišné** druhy

Dále je výrazným producentem odpadů:

- oleje
- pneumatiky
- autobaterie
- vozidla – zvláště jejich nerecyklovatelné části ...



Alternativní pohony motorových vozidel

V automobilovém průmyslu se využívá několik druhů alternativních pohonů. Mezi nejzákladnější patří pohony:

- plynové



- vodíkové



- elektrické



- hybridní



1. Pohon plynem

a) Pohon ropným plynem LPG

LPG jako pohonné médium k provozu spalovacích motorů je směsí *propanu* a *butanu*.

Při teplotách a tlakových podmínkách běžného klimatu je tato směs plynná, lze ji ale pomocí poměrně malého tlaku zkapalnit.

LPG sice není *jedovaté*, ale je *nedýchatelné*.

K pohonu motorových vozidel se začalo LPG používat od *druhé poloviny 80. let*.

LPG poskytuje:

- dobré předpoklady k dosažení nižších emisí výfukových škodlivin
- menší hmotnostní podíl uhlíku v 1 kg paliva

LPG – 0,825 kg C

benzín/nafta – 0,86 až 0,87 kg C



Příslušenství motoru na LPG obsahuje výparník LPG, regulátor tlaku plynného paliva a směšovač. Další skupinou příslušenství potom jsou různé seřizovací prvky (např. pro základní nastavení bohatosti směsi), bezpečnostní a regulační ventily (u moderních systémů připojené k elektronickému řízení).

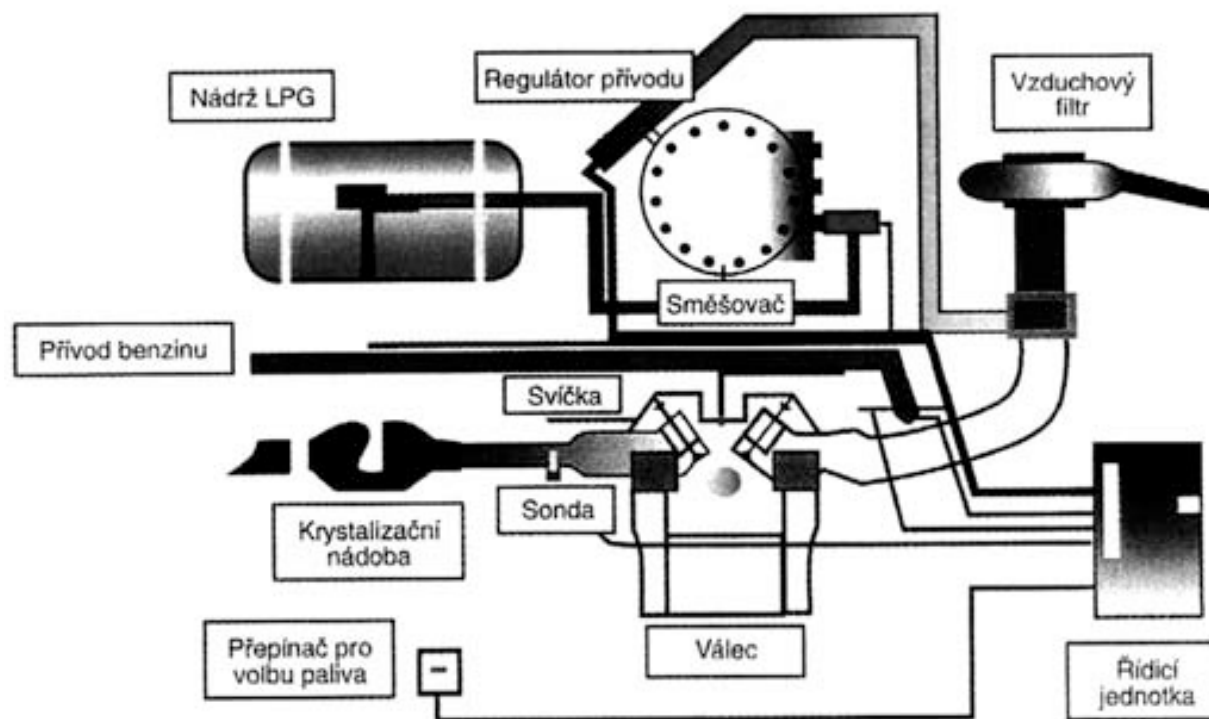


Schéma pohonné jednotky vozu s kombinovaným dvoupalivovým řešením

Další variantou je *vstřikování plynu LPG*. Plynné palivo tedy již není nasáváno směšovačem, nýbrž je vstřikováno v přesně dávkovaném množství a v přesném čase, které určuje prostřednictvím výpočtu elektronická řídicí jednotka.

Francouzská automobilka **Renault** obohatila koncem roku 2003 modelovou řadu u nás nabízených vozidel i o první automobily s **plynovým pohonem montované na výrobních linkách přímo** v závodě. Jedná se o modely **Kangoo RN 1,2 LPG** a **Kongoo Express RL 1,2 LPG**. Stejně jako jiné modely na plynový pohon mají i tyto dva dvojí palivový systém, takže mohou fungovat jak na benzin, tak na plyn. Přejít z benzínu na plyn nebo naopak se provádí pouhým stisknutím ovladače integrovaného v palubní desce.



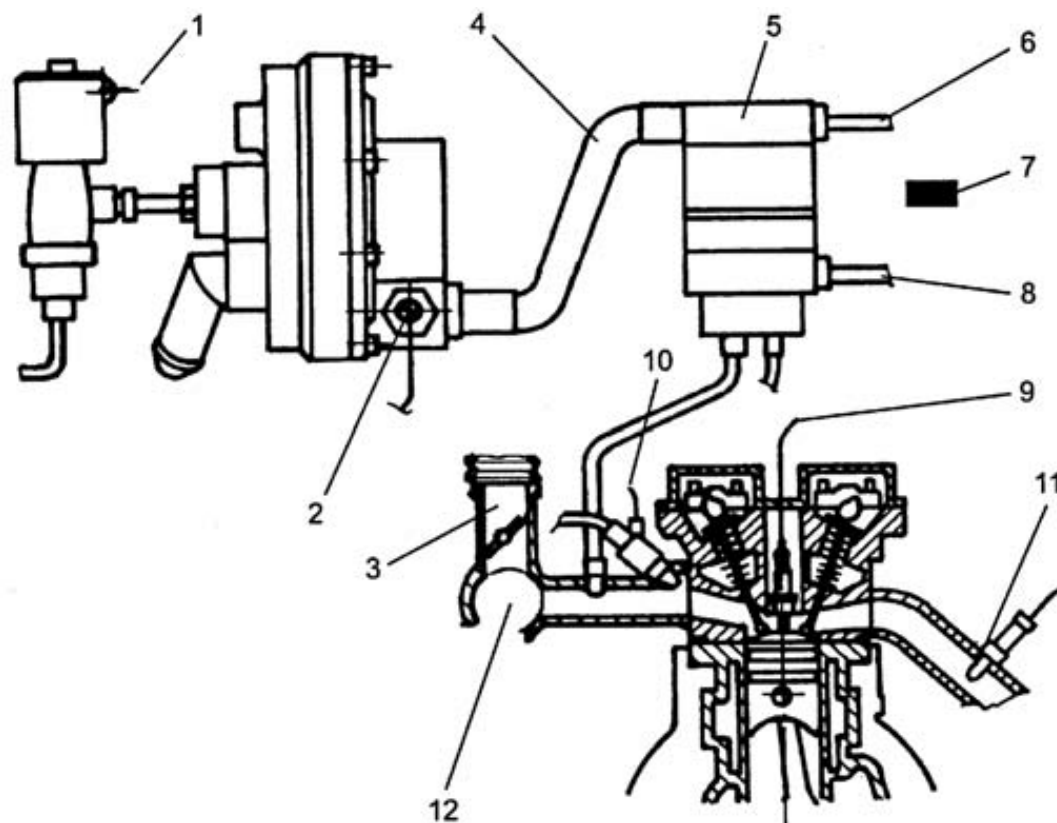


Schéma systému vstřikování plynu LPG

Legenda: 1 – provozní elektroventil LPG, 2 – reduktor (snímač teploty LPG),
3 – těleso škrťací klapky, 4 – potrubí, 5 – dávkovač, 6, 7, 8 – snímač tlaku, 9 –
snímač otáček, 10 – vstřikovací tryska, 11 – lambda sonda, 12 – sací potrubí

Soustava se vstřikováním plynu LPG má tyto výhody

- zvyšuje výkon při provozu na LPG díky zvýšení plnění válců
- nemá žádné znevýhodnění při provozu na benzín
- nedochází ke zvětšenému přeplňování v sacím potrubí
- odpadá potřeba mít různé směšovače pro různé typy automobilů
- nevyvolává žádná zhoršení v původním provedení vozu
- přívod vzduchu se neupravuje, nepřemísťuje, nemění se trubice určené k odsávání olejových par či z benzínu,
- případně montované elektrické měřiče spotřeby fungují beze změny,
- nemění se funkce variabilního uspořádání sacího potrubí (pokud je použito), případně montované rezonátory zůstávají beze změny,
- velmi důležitou změnou oproti použití směšovače (u vstřikovacích motorů) je to, že v sacím potrubí není plyn. Ten je vstřikován až těsně před sací ventily a je tím velmi sníženo riziko vznícení směsi plynu a vzduchu v sacím potrubí.

Firma **Ford** roku 2003 zavedla nový systém LPG, který se zásadně liší od doposud používaných systémů. Jedná se o systém, kde se do sacího potrubí nevstříkuje zkapalněný plyn, ale *plynný plyn*.

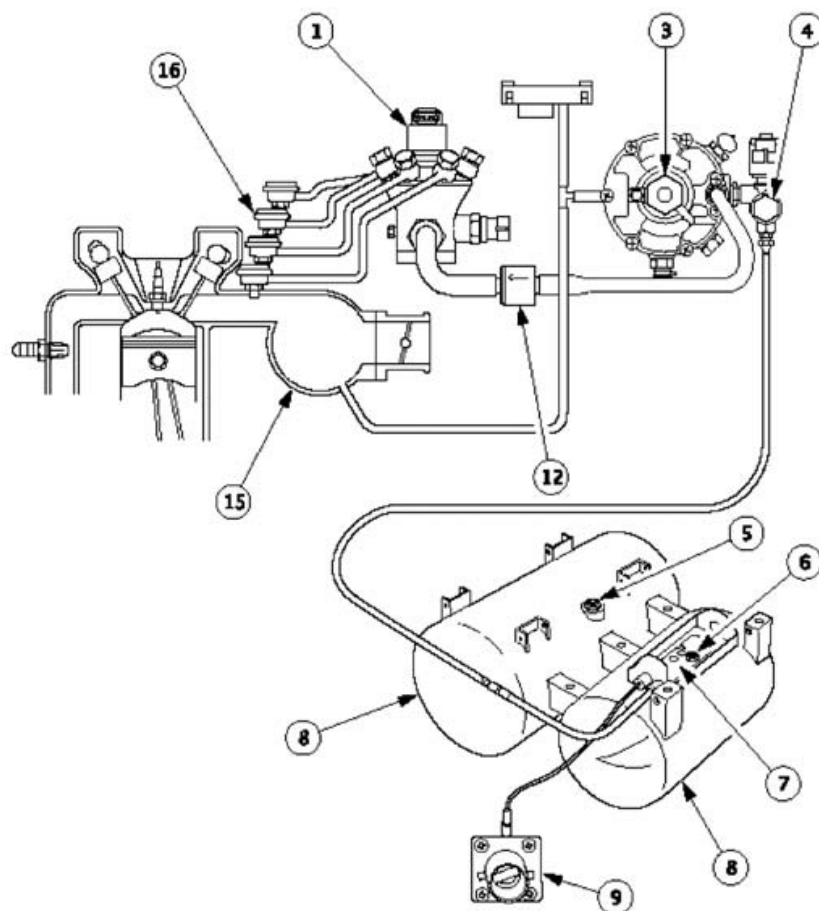
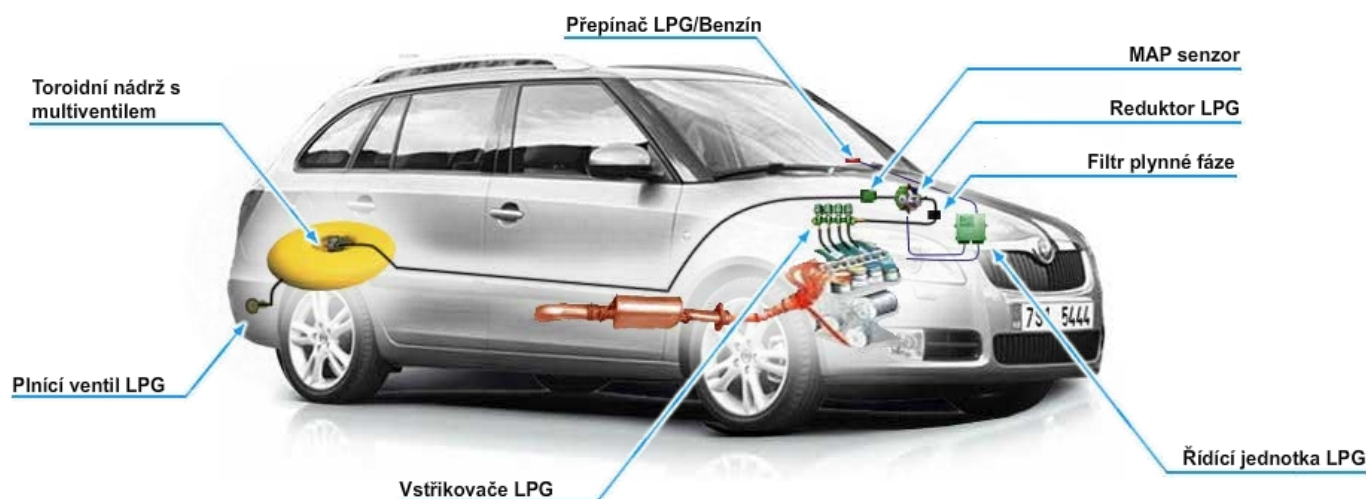


Schéma zařízení systému

Legenda: 1 – jednotka rozdělovač/ dávkovač, 2 – snímač tlaku v sacím potrubí, 3 – jednotka výparník/regulátor tlaku, 4 – magnetický ventil s filtrační vložkou, 5 – přetlakový ventil, 6 – zaslepovací zátku, 7 – ventilová skříň se snímačem stavu naplnění a uzavírací ventil tankování, 8 – dvě navzájem spojené válcové plynové nádrže, 9 – plnicí hrdlo ze zpětným ventilem, 10 – snímač teploty chladící kapaliny, 11 – snímač polohy klikového hřídele, 12 – filtr, 13 – pojistky systému, 14 – relé systému, 15 – sací potrubí, 16 – vstřikovací trysky.

U této soustavy je plyn z plynové nádrže dodáván do výparníku v tekutém stavu, kde dojde ke změně jeho skupenství (z kapaliny na plyn). Výparník je spojen pomocí hadice se sacím potrubím. Přes toto hadicové vedení se dostává plyn do rozdělovače, kde je dávkován pro jednotlivé válce.

Každý válec má svou vlastní vstřikovací trysku, které jsou umístěny v těsné blízkosti sacích ventilů. Řízení systému zajišťuje elektronická řídicí jednotka. Volba mezi provozem na benzín a na plyn se provádí spínačem na přístrojové desce. To je možno provádět i během jízdy. Pokud dochází zásoba plynu, řídicí jednotka plynového provozu automaticky přepne na benzínový pohon. Zapalování je také u plynového provozu řízeno řídicí jednotkou pohonu.



Škoda Fabia LPG

b) Pohon zemním plynem CNG a LNG

CNG - *stlačený zemní plyn*. V zásobníku vozidla bývá stlačen až na tlak 200 bar.

LNG - *zkapalněný zemní plyn*. K dosažení kapalného stavu je ovšem potřeba teplota -162°C . Zkapalněním se původní, výchozí objem zemního plynu zmenší zhruba šestsetkrát.

Stlačený (zkapalněný) zemní plyn – CNG (LNG) má následující výhody a nevýhody.

Výhody:

- **Ekologické výhody** - vyplývají především z chemického složení zemního plynu, který je složen z nejjednoduššího uhlovodíku - metanu. Vozidla na zemní plyn tudíž produkují výrazně méně škodlivin než vozidla s klasickým palivem. Rovněž vliv na skleníkový efekt je u plynových motorů menší v porovnání s benzínem či naftou.
- **Ekonomická výhodnost** – náklady na pohonné hmoty jsou nižší (1,5 až 3×).

- **Provozní výhody** – lepší směřování zemního plynu se vzduchem - rovnoměrnost palivové směsi a možnost pracovat s vysokým součinitelem přebytku vzduchu. Vnitřní části motoru nejsou zaneseny karbonovými úsadami, z toho plyne vyšší životnost motoru a oleje.
- **Bezpečnost** – zemní plyn oproti benzínu, naftě, LPG je lehčí než vzduch. Zápalná teplota je oproti benzínu dvojnásobná. Tlakové nádrže jsou vyrobené z oceli, hliníku nebo kompozitu jsou bezpečnější než benzínové nádrže.
- **Jednoduchost distribuce plynu k uživateli** - zemní plyn je přepravován již vybudovanými plynovody, jeho používáním se snižuje počet nákladních cisteren s kapalnými palivy. Zemní plyn má větší perspektivu oproti produktům z ropy (benzínu, naftě, propan-butanu) vzhledem k jeho větším zásobám než jsou zásoby ropy.

Nevýhody:

- **Nedostatečná infrastruktura** – malý počet plnicích stanic.
- **Vyšší pořizovací náklady** – náklady na přestavbu vozidla, na výstavbu plnicích stanic.
- **Zhoršení stávajícího komfortu** – v důsledku zmenšení zavazadlového prostoru v případě umístění tlakové nádoby do tohoto prostoru. U přestavovaných vozidel na zemní plyn se také snižuje výkon motoru. U vozidel se zkapalněným LNG stoupají zároveň nároky na izolaci nádrže.
- **Zpřísněná bezpečnostní opatření** - při garážování a opravách plynových vozidel.

Problém stále představuje poměrně malá dojezdová vzdálenost vozidel, jejichž motory využívají jako pohonnou hmotu právě zemní plyn. Na náplň plynu o objemu **80 litrů** (obvyklá náplň) je dojezdová vzdálenost automobilu jen okolo **200 až 300 km**. Množstvím energie to odpovídá cca **20ti litrům** benzínového paliva.



Jedním ze sériově vyráběných vozů s alternativním pohonem na zemní plyn bylo **BMW 316g compact** a **BMW 518g touring**.

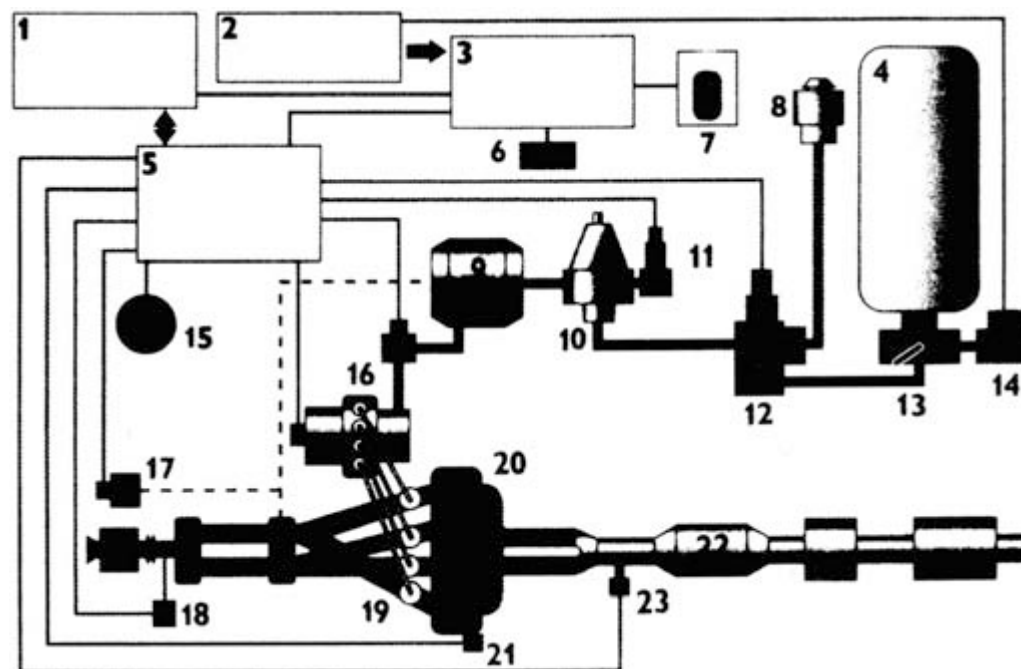


Schéma palivové a řídicí soustavy motoru na stlačený zemní plyn

Legenda: 1 – elektronická řídicí jednotka; 2 – přístroje; 3 – přepínací modul provozu na benzín nebo zemní plyn; 4 – nádrž na stlačený plyn; 5 – řídicí jednotka soustavy na zemní plyn; 6 – nárazové čidlo; 7 – přepínač volby paliva na přístrojové desce; 8 – plnicí přípojka; 9 – regulátor tlaku; 10 – vysokotlaký reduktor; 11 – tlakový spínač; 12 – vysokotlakový ventil; 13 – uzávěr nádoby na zemní plyn; 14 – tlakové čidlo; 15 – volič kvality zemního plynu; 16 – nízkotlaký ventil; 17 – tlakové čidlo v sacím potrubí; 18 – čidlo polohy škrtkové klapky; 19 – vstřikovací ventily zemního plynu v sacím potrubí; 20 – dávkovač zemního plynu; 21 – čidlo teploty motoru; 22 – třicestný katalyzátor výfukových plynů; 23 – lambda sonda.

Švédský výrobce Volvo v roce 2004 sériově vyráběl **combi Volvo V70** a **limuzínu Volvo S80**. Jednalo se o první vozy, které měly *Bi-Fuel*. To znamenalo, že automobil měl automatizované přepínání z jednoho druhu paliva na druhý. Nádrž byla navíc umístěna pod vozidla, tudíž nebylo žádné omezení vnitřního prostoru.



2. Vodíkový pohon

Energie obsažená ve vodíku může být uvolněna ve dvou formách

- přímo ve spalovacím motoru
- ve „studené“ formě v palivovém článku přímou přeměnou v elektrický proud.

Palivový systém motoru je přizpůsoben pomocí elektronického směšovacího systému, který určuje směšovací poměr *vodíku a vzduchu*. Spalování probíhá s přebytkem vzduchu. Přídavný vzduch ve spalovacím prostoru odnímá teplo a tím klesá teplota plamene pod kritickou mez, nad níž by se směs mohla sama vznítit. Nízká teplota spalování současně brání vzniku oxidů dusíku (NO_x), které jsou v redukčním katalyzátoru zážehových motorů neutralizovány. Vodíkové motory pracují prakticky bez emisí.

Druhý systém využívá akumulátor pro zásobování palubní sítě elektrickou energií. *Palivový článek* přebírá funkci konvenčního akumulátoru, který je neustále v provozu.



Palivové články jsou zařízení, v nichž na základě elektrochemických procesů dochází k přímé přeměně vnitřní energie paliva na energii elektrickou.

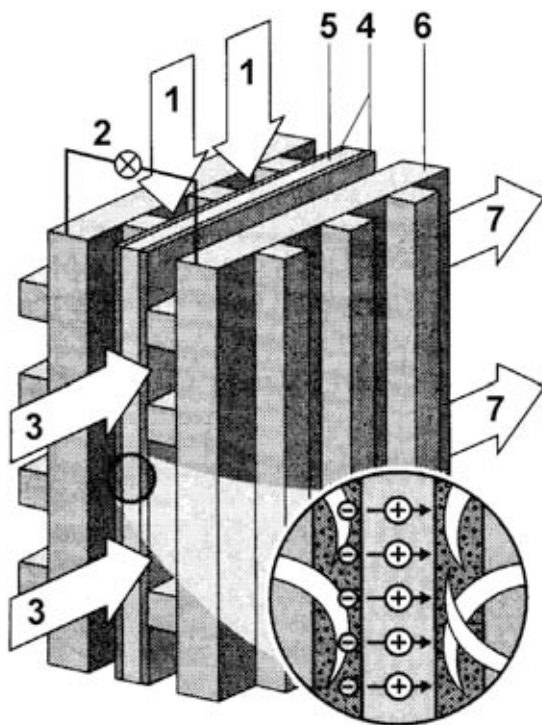


Schéma palivového článku voda-kyslík

Legenda: 1 - vodík; 2 – vnější obvod se zátěží; 3 – kyslík nebo vzduch; 4 – katalyzátor; 5 – elektrolyt; 6 – elektroda; 7 – voda a nadbytečný vzduch

Podle elektrolytu dělíme palivové články na

- **alkalické články** – elektrolytem je zředěný hydroxid draselný KOH
- **články s tuhými polymery** - elektrolytem je tuhý organický polymer
- **články s kyselinou fosforečnou** – jejichž elektrolytem je kyselina fosforečná
- **články s roztavenými uhličitany** - elektrolyt je tvořen směsí roztavených uhličitánů,
- **články s tuhými oxidy** - kde elektrolytem jsou oxidy vybraných kovů.

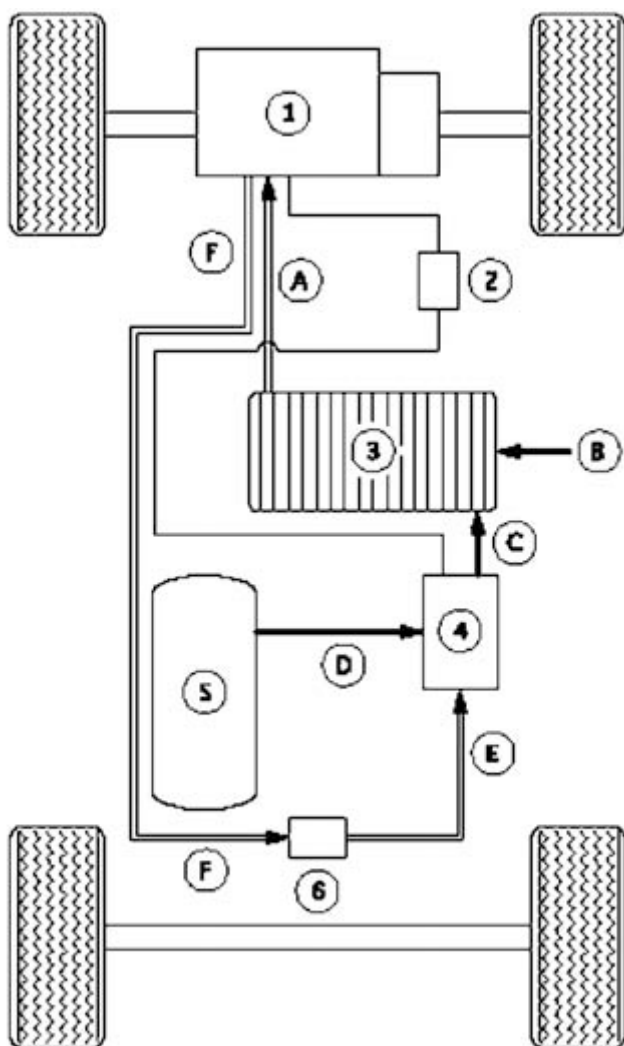


Schéma pohonu na palivové články

Legenda: 1 – elektromotor, 2 – řídicí jednotka, 3 – palivové články, 4 – pomocné agregáty k výrobě vodíku, 5 – nádrž s metanolem, 6 – akumulátor, A – elektrický proud (k pohonu elektromotoru), B – kyslík z okolí, C – vodík, D – methanol, E – přívod energie (elektrický proud), F – nabíjecí proud (elektromotor v generátorovém režimu).



HydroGen Opel

Daimler-Chrysler vyrobil v roce 2000 vůz s pohonem na palivové články **NECAR 5** (New Electric Car). Jednalo se o vůz značky Mercedes Benz A-třídy (viz obr.), kde veškerá technologie potřebná pro provoz palivovým článkem, byla zabudována do sendvičové podlahy vozidla.

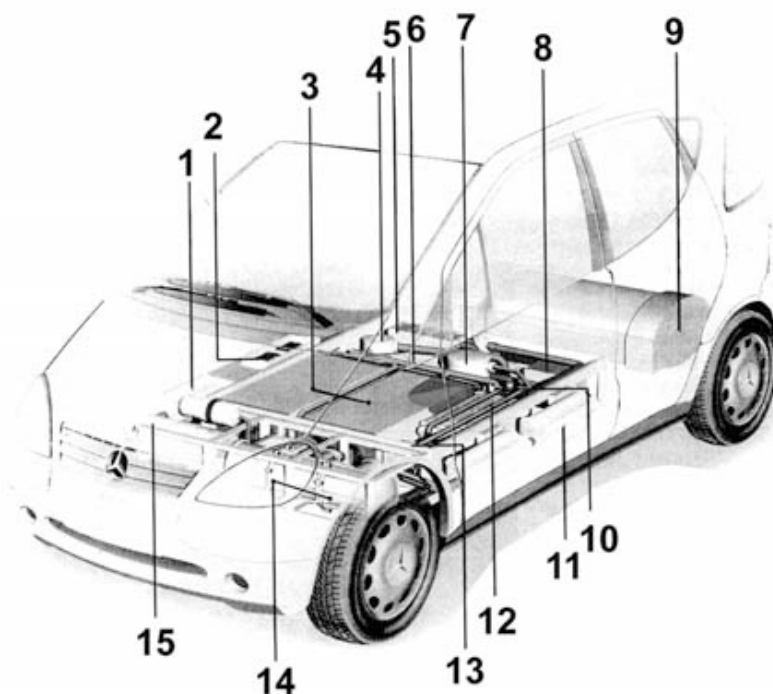
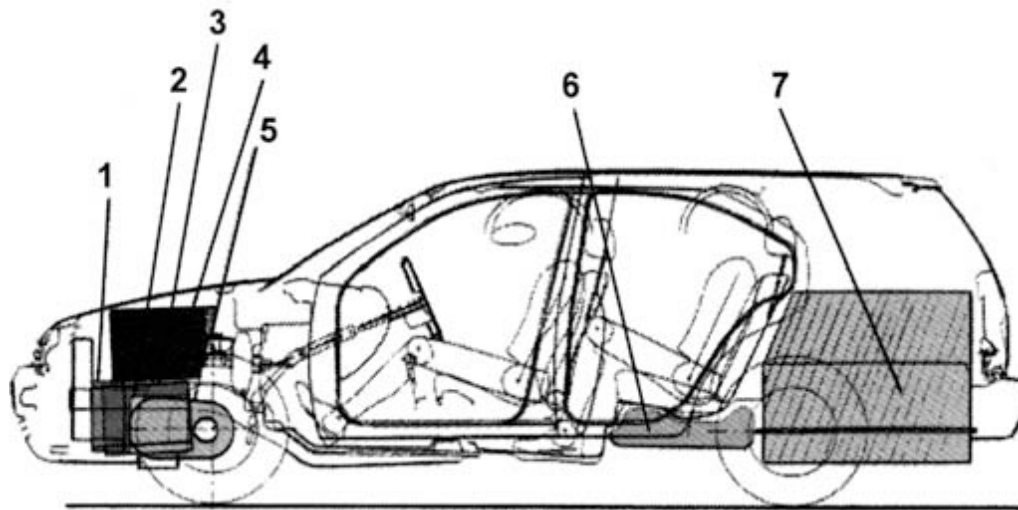


Schéma automobilu NECAR 5 poháněného vodíkem

Legenda: 1 – tlumič zvuku, 2 – elektronická řídicí jednotka, 3 – palivový článek, 4 – vodní filtr, 5 – tepelný výměník, 6 – kondenzátor, 7 – obvod kondenzátoru, 8 – vodní čerpadlo, 9 – vodíková nádrž, 10 – proudové čerpadlo, 11 – tlumič hluku, 12 – vodík/vzduch/přívody do palivových článků, 13 – chladič vzduchu, 14 – kompresor, 15 – vzduchový filtr

Volkswagen zvolil jako základ pro koncepci vozidla poháněnou palivovým článkem vůz **VW Golf**. Elektrický pohon zajišťuje asynchronní motor o výkonu 50 kW s jednostupňovým převodem a pohonem na přední kola. Použitý akumulátor Ni-MH je uložen pod kapotou nad pohonem v klimatizovaném prostoru a umožňuje na čistě elektrický pohon dojezd asi 32 km, s palivovým článkem umožňuje dojezd okolo 400 km se 40litrovou nádrží metanolu. Nabízí 5 míst k sezení, ale zavazadlový prostor je zcela zaplněn systémem palivového článku.



Volkswagen Golf variant s palivovými články

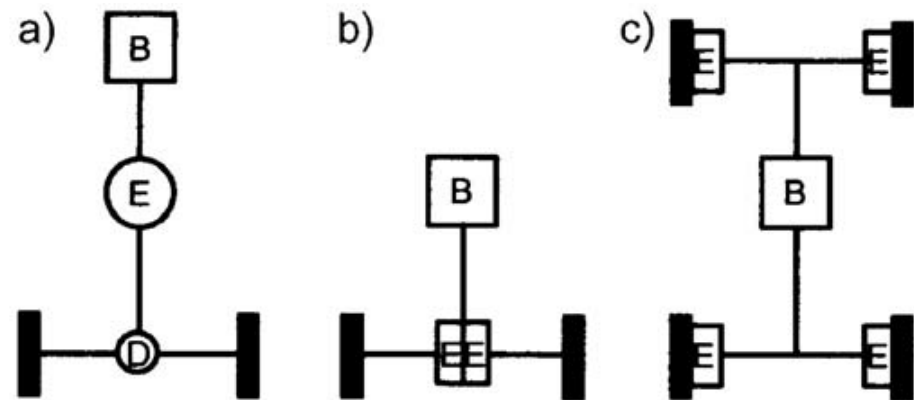
Legenda: 1 – elektronika motoru, 2 – asynchronní elektromotor 50 kW, 3 – nabíječka, 4 – baterie, 5 – převod, 6 – palivová nádrž, 7 – palivové články

3. Elektromobily

Elektromobil je automobil poháněný elektromotorem. Jako zdroj energie pro pohon elektromotoru využívá akumulátory. Mezi hlavní výhody elektromotoru patří jeho snadné spouštění, tichý chod, jednoduchá konstrukce a fakt, že téměř neznečišťuje ovzduší. Což je zejména ve městech kde jezdí mnoho automobilů se spalovacími motory prospěšné.

Hnací ústrojí elektromobilu je tvořeno, podobně jako u vozidla se spalovacím motorem z

- motoru
- převodovky
- hnacích hřídelů
- a diferenciálu s rozvodovkou.



Nejčastěji se používá přední nebo zadní pohon s *centrálním elektromotorem*. Alternativami jsou tandemové hnací systémy se *dvěma elektromotory* a pohony kol *elektromotory* umístěnými přímo *v kolech*.

Hnacím ústrojím jsou různé druhy *elektromotorů*

- stejnosměrný motor nebo paralelní, případně s cizím buzením,
- asynchronní motor s tranzistorovou regulací
- synchronní motor s permanentními magnety ...

Vzhledem k tomu, že u elektromobilů neexistuje zatím žádná velko-sériová výroba a hmotnost, náklady jsou u jednotlivých alternativ různé, nevyjasnila se dodnes ještě žádná jednotná konstrukční linie. Ačkoliv technika elektrického pohonu nevyžaduje žádný speciální vývoj v oblasti pohonu vozidla, musí být přirozeně parametry celého systému přizpůsobeny (omezeným) jízdním výkonům vozidla, (zrychlení, stoupavost, nejvyšší rychlost), ale především vlastnostem akumulátorů (napětí, výkonová hustota, zatížitelnost atd.).



Škoda Octavia E-Line



4. Hybridní pohon

Princip hybridního pohonu je založen především na využití výhod jednotlivých pohonů při různých pracovních stavech vozidla. Nejvhodnější kombinací se v současné době jeví být spalovací motor a elektromotor. V městském provozu se používá elektromotor, který nám umožňuje provoz bez emisí. Mimo město se používá spalovací motor. Ten umožňuje dobré jízdní výkony a velké dojezdy. U dnešních hybridních automobilů jsou výkony elektromotorů zbytečně velké a akumulátory příliš malé kapacity. Tím jsou dojezdy na baterie příliš krátké, někdy i jen pár kilometrů

Hybridní pohony automobilů, lze v současné době rozdělit do několika skupin podle

- toku výkonu
- pohonné koncepce
- stupně hybridizace

Rozdělení hybridních pohonů podle toku výkonu

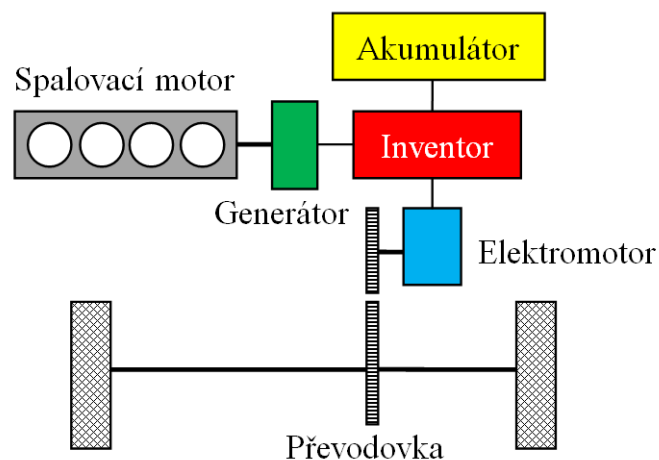
Podle toku výkonu, lze rozdělit hybridní pohony do tří základních skupin uspořádání

- sériové
- paralelní
- smíšené.



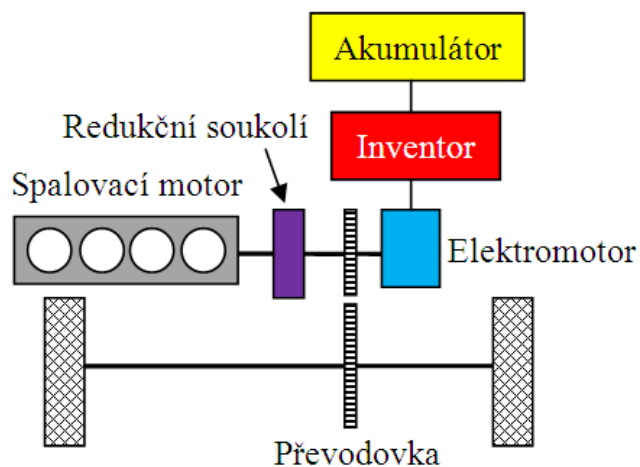
Chevrolet Volt

a) Sériový hybridní pohon



Jednotlivé poháněcí komponenty jsou vzájemně uspořádány za sebou. Při provozu je automobil poháněn pouze elektromotorem do okamžiku, kdy akumulátory již nebudou schopny pokrýt momentální spotřebu energie. Tehdy je spalovací motor automaticky nastartován, čímž se dobijí akumulátory. Nevýhodou je, že dochází k vícenásobné přeměně energie.

b) Paralelní hybridní pohon

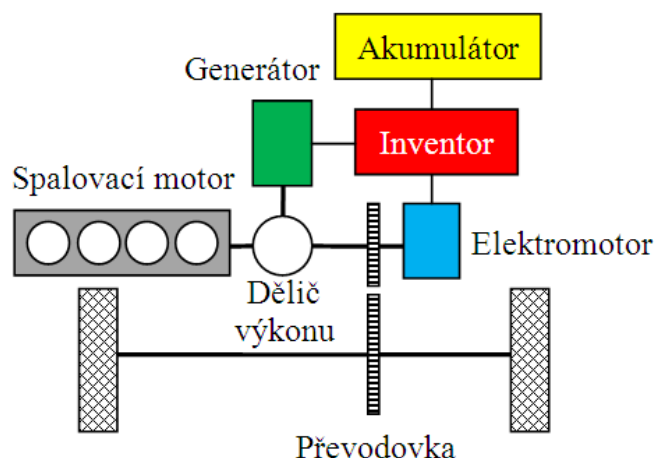


Honda CR-Z

kém zrychlení, například při předjíždění, se připojí elektromotor, čímž se zvýší krátkodobě požadovaný špičkový výkon.

U hybridního pohonu paralelně uspořádaného, jsou oba motory propojeny s hnacími koly. Podle jejich konkrétního zapojení se buď společně, nebo samostatně starají o pohon vozu. Výhodou tohoto řešení je, že při provozu vozidla spalovacím motorem nedochází ke ztrátám energie vlivem její vícenásobné přeměny. U této koncepce je nutné mít pro pohon spalovacím motorem mechanický při-pojovací prostředek (redukční soukolí) a převodovku. Současným zapnutím obou zdrojů energie je možno již při nízkých otáčkách obou motorů zvýšit tažnou sílu. V kombinovaném provozu zůstává spalovací motor trvale zapnut, teprve při vel-

c) Smíšený hybridní pohon



Toyota Prius

Smíšené uspořádání tedy kombinuje výhody předešlých dvou uspořádání a jejich nevýhody minimalizuje. Vybavení spalovacím motorem, elektromotory, komponentami převodů, spojky či volnoběžkami je u tohoto uspořádání různé. Může to být například sériový hybrid s propojovací spojkou spalovacího motoru přímo na hnaná kola. Pokud vede tok výkonu spalovacího motoru paralelně po různých cestách ke kolu, hovoří se o tzv. principu větvení výkonu. Tím se tak část výkonu spalovacího motoru stará o pohon vozidla a přebytek výkonu slouží k dobíjení akumulátorů. V náhonu elektromotorů bývá obvykle zařazena planetová

převodovka. Další převodovka pro spalovací motor již není nutná, jelikož motor pracuje v rozsahu obvyklých otáček nezávisle na elektrickém pohonu.

Rozdělení hybridních pohonů podle koncepce pohonu

Hybridní pohony lze rozdělit podle koncepce pohonu na

- spalovací motor + akumulátor + elektromotor
- plynová turbína + generátor + akumulátor + elektromotor
- spalovací motor + setrvačnick.

a) Spalovací motor + akumulátor + elektromotor

Tato kombinace se v současné době vzhledem k výrobním nákladům a získaným výkonům jeví jako nejvhodnější. Elektromotor neemituje žádné škodliviny a má tichý chod, což je příznivý stav pro životní prostředí. Další jeho velkou výhodou je to, že při sériovém zapojení disponuje největším krouticím momentem při nulových otáčkách, čímž se skvěle doplňuje se spalovacím motorem. Elektromotor může v generátorovém provozu transformovat kinetickou energii měřenou při brzdění a tím dobíjet akumulátor. Také spalovací motor může pracovat s velkou účinností, ovšem jen v omezeném, úzkém rozsahu výkonu a otáček. Elektromotor umožňuje efektivnější městský provoz bez emisí, spalovací motor dobré jízdní výkony a velké dojezdy mimo město

b) Plynová turbína + generátor + akumulátor + elektromotor

S turbínovým druhem hybridního pohonu experimentují výrobci automobilů již od padesátých let. Do sériové výroby se ale nedostaly. Největší úsilí do vývoje tohoto pohonu vložila automobilka Chrysler. Ta vyrobila 55 kusů turbínových vozů, které byly osazeny turbínou, která při vysokých otáčkách dávala výkon okolo 130 k a krouticí moment 580 Nm.

Turbína je pro přímý pohon nevhodná, jelikož pracuje efektivně jen ve velmi úzkém rozsahu otáček. Jen nepatrná změna otáček nebo zatížení se projeví dramatickým poklesem účinnosti a nárůstem emisí, což je nevhodné pro životní prostředí.

Turbína, pohánějící alternátor v hybridním vozu, by po dalším vývoji mohla vážit odhadem padesát kilogramů.

Vývojem použití plynové turbíny v hybridním pohonu se zabývá například automobilka Volvo

c) Spalovací motor + setrvačnick

Hybridní pohon, který se skládá pouze ze spalovacího motoru a setrvačnicku, vyvinula Technická univerzita v Eindhoven. Setrvačnick, jehož hmotnost je 19 kg, je uložen ve vakuovaném prostoru. Přenos energie na hnací kola je zajištěn pomocí převodovky i2-CVT.

Název převodovky je odvozen od převodového stupně, který probíhá v pracovním rozsahu dvakrát. Devět převodových stupňů je řazeno pomocí pěti volně stavitelných třecích spojek. Pro dynamiku jízdy (brzdění a zrychlení) je využito pouze setrvačnicku.



Hybridní motor – Honda Civic

Rozdělení hybridních pohonů podle stupně hybridizace

Stupněm hybridizace máme na mysli , v jaké míře je v automobilu použito hybridního pohonu.

Podle stupně hybridizace dělíme hybridy na

- micro-hybrid
- mild-hybrid
- full-hybrid

a) Micro-hybrid

Nejjednodušší forma hybridního pohonu, doplněná o řídicí jednotku startér/generátor. Tato jednotka nám umožňuje funkci Stop and Go. Ta nám zajistí, že při zastavení vozidla je vypnut chod motoru. Při rozjezdu jej spustí. Některé vozy značky Citroën, Ford nebo BMW řeší tento problém pomocí řemenem poháněné řídicí jednotky startér/generátor

b) Mild-hybrid

Využívá pro podporu spalovacího motoru krátký elektromotor, který je umístěn v hnací větvi mezi motorem a převodovkou. Tento elektromotor pracuje buď jako spouštěč motoru nebo jako generátor k dobíjení akumulátorů energií, která vzniká při brzdění vozu. Vzhledem k jeho malému výkonu však není tento elektromotor vhodný k použití pro čistě elektrický pohon.

c) Full-hybrid

U této koncepce je spalovací motor podporován relativně silným elektromotorem. Tento elektromotor mění kinetickou energii vzniklou při brzdění, na energii elektrickou, která dobíjí akumulátory. Elektromotor zvládne i samostatný pohon automobilu. Díky podpoře elektromotoru může pak být v automobilu použit motor s menším objemem, tudíž s nižšími mechanickými ztrátami. To se v celkové energetické bilanci výrazně projevuje na úspoře paliva

Komponenty hybridních pohonů

Mezi hlavní komponenty, které se používají u hybridních pohonů patří

- pohonné jednotky
- energetické zásobníky a zdroje
- řídicí jednotka
- převodová ústrojí

1) Pohonné jednotky

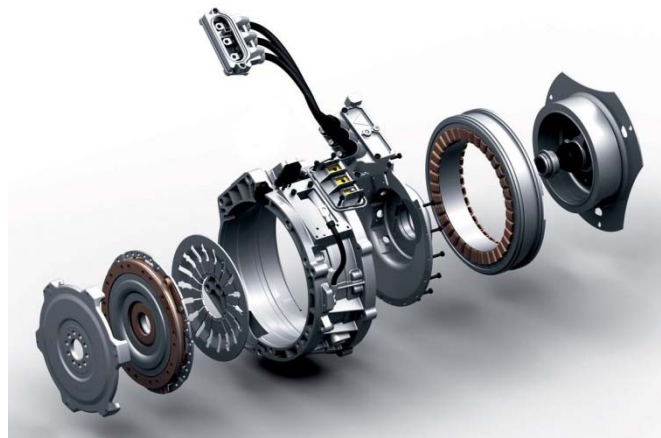
U hybridních pohonů používáme tyto pohonné jednotky

- *spalovací motory* – v hybridních vozech se používají převážně *zážehové motory*, nebo velmi úsporné *vznětové motory*. Zážehové motory sice spotřebují více paliva, avšak v hybridním pohonu pracují mimo nevýhodné částečné zatížení, takže tato nevýhoda není tak významná. Většina vznětových motorů má oproti zážehovým motorům vyšší hmotnost, hlučnější chod, vyšší emise NO_x a větší rozměry. Výkon spalovacího motoru závisí u sériového uspořádání na velikosti baterie.

- *elektromotory* – v hybridních vozidlech se používají především třífázové asynchronní elektromotory a díky svým malým rozměrům i elektromotory s permanentním magnetem

- *třífázové asynchronní motory* – výhodou třífázového asynchronního motoru s kotvou nakrátko je to, že odpadá vinutí kotvy. Oproti stejnosměrnému motoru je při stejném výkonu podstatně menší a lehčí. Asynchronní motor je jednodušší a robustní konstrukce, téměř bezúdržbový a silně přetížitelný. Jistou nevýhodou jsou náklady na elektronickou regulaci. Stejnosměrný proud akumulátoru je nutno přeměnit na střídavý. Obvykle se toho dosahuje díky cyklickému zapínání tyristoru, přičemž se pravoúhlý průběh mění přibližně na sinusový. K regulaci tahové síly a otáček motoru musí být regulovatelná frekvence a napětí. Zpětné získání energie při brzdění je možno realizovat s vysokou účinností .

- *synchronní elektromotory s permanentním buzením* – výhodou tohoto elektromotoru je, že zabírá v automobilu velmi malý prostor. Magnetické pole vybuzevané permanentními magnety je bezdrátové, což vede k vysoké účinnosti. U tohoto motoru není ovšem regulace zeslabením pole možná, proto musí být použito vícenásobného regulátoru výkonu akumulátoru, nebo vícestupňové převodovky. Nevýhodou tohoto typu elektromotoru je jeho vyšší pořizovací cena



Elektromotor Porsche

2) Energetické zásobníky a zdroje

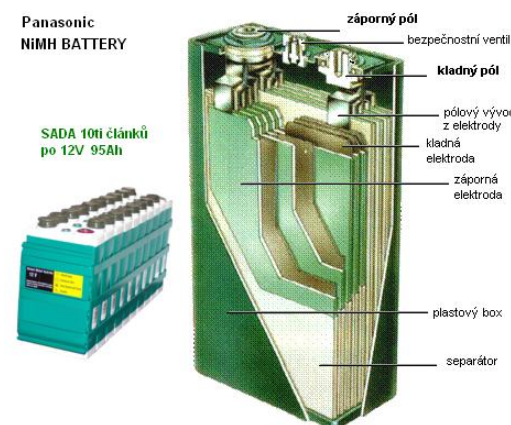
Akumulátorová baterie, krátce akumulátor, je zásobník energie, který přivedenou energii mění v chemickou a je schopen z akumulované chemické energie vydávat zpět elektrickou. Slouží tedy k napájení elektrické sítě vozidla v době, kdy neběží spalovací motor.

Nejčastěji používané energetické zásobníky a zdroje jsou

- elektrochemické akumulátory
- mechanické akumulátory
- vysokoenergetické akumulátory
- palivové články



Olověný akumulátor



Akumulátor nikl-metalhydrid

3) Řídící jednotka hybridního pohonu

Hlavním úkolem řídící jednotky je rozdělení výkonu od zdroje elektrické energie (akumulátor, generátor) k jednotlivým odběrným spotřebičům (poháněcí motory, nabíjení akumulátoru...) a to za všech jízdních situací.. Řídící jednotka přebírá ve vozidle funkci kontroly, s ohledem na aktuální informace o jízdě a na zvláštních bezpečnostních funkcích při kritických stavech. Systém řízení řídící jednotky musí zohledňovat i další přídavné funkce ve voze. Přídavnou funkcí může být regulace jízdní stability, ABS, ASR a celá řada dalších funkcí. Řídící jednotky je nutné chladit, abychom odvedli vzniklé ztrátové teplo, které se dá využít např. k topení či klimatizaci.

4) Převodová ústrojí

Dříve se u hybridních vozidel používaly poloautomatické převodovky. Ty využívaly k přepínání mezi elektromotorem a spalovacím motorem spojky nebo automatické elektrické přepínače. Později se začaly zavádět planetové převodovky.

Planetová převodovka se skládá z

- korunového kola planetové převodovky s vnitřním ozubením
- několika (většinou tří a více) ozubených kol s vnějším ozubením- satelitů
- planetového (centrálního) ozubeného kola
- unášče satelitů, na kterém jsou satelity uloženy s možností otáčení.

Aby v planetové převodovce docházelo k silovému toku (přenosu točivého momentu), musí být na některou část planetové převodovky (unášec satelitů, planetové nebo korunové kolo) přiváděn točivý moment a některá ze součástí (unášec satelitů, planetové nebo korunové kolo) musí být blokována (zastavena). Musí být splněna podmínka jednoho stupně volnosti; při více stupních volnosti by se mechanismus nechoval jako převodovka, ale jako diferenciál. Planetové převodovky se vyznačují vysokou účinností, minimální vůlí a tichým chodem. Dosahují vysokých výstupních momentů



Planetová převodovka

Dynamika vozidel

Při pohybu vozidel po vozovce vznikají vzájemné silové účinky mezi vozidlem a vozovkou. Právě tyto silové účinky nám stanovují schopnost vozidla vykonávat daný pohyb a mají též rozhodující vliv na bezpečnost jízdy vozidel.

Poloměry kola

Poloměry kola uvádíme vždy včetně pneumatiky. Rozeznáváme následující poloměry kola

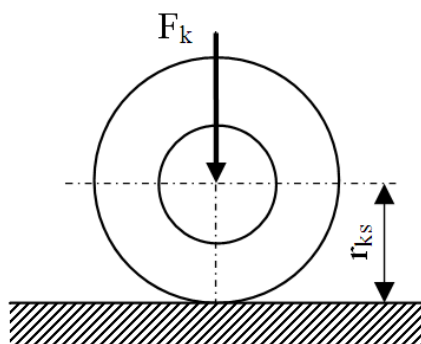
- *jmenovitý poloměr kola r_{kj}* – je dán normou a uvádí jej katalogový list
- *volný poloměr kola r_{kvol}* – je skutečný poloměr nezatíženého kola
- *statický poloměr kola r_{ks}* – je vzdálenost středu kola a roviny vozovky u zatíženého nerotujícího kola
- *dynamický poloměr kola r_{kd}* – je to kolmá vzdálenost středu rotujícího kola zatíženého kolovou radiální silou od místa dotyku kola s krytem vozovky
- *poloměr valení kola r_{kv}* – je to vypočítaný teoretický poloměr otáčejícího se kola, který zahrnuje i prokluz hnacích kol (je to takový poloměr kola, který by mělo vozidlo, pokud by danou dráhu projelo bez prokluzu)

Poloměr valení r_{kv} je

$$r_{kv} = \frac{s_v}{2\pi n_k} \quad [\text{m}]$$

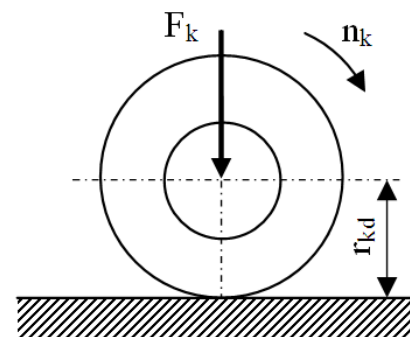
kde s_v – dráha ujetá vozidlem [m], n_k – otáčky hnacího kola potřebné k projetí dráhy s_v [min^{-1}].

Dynamický poloměr kola závisí především na radiálním zatížení (kolové síle) F_k , tlaku nahuštění pneumatiky a otáčkách hnacího kola n_k .



Statický poloměr kola

Legenda: F_k – kolová síla, r_{ks} – statický poloměr kola.



Dynamický poloměr kola

Legenda: F_k – kolová síla, r_{kd} – dynamický poloměr kola, n_k – otáčky kola.

Adhezní síla

Adheze je jev vyjadřující *přilnavost pneumatiky silničního vozidla ke krytu vozovky*, nutný k rozjezdu a jízdě vozidla, brzdění vozidla, průjezdu vozidla směrovým obloukem a veškerých dalších veličin spojených s jízdou, např. stoupání. Adheze zahrnuje makronerovnosti i mikronerovnosti krytu vozovky, výstupky i prohlubně na dezénu běhounu pneumatiky, přisávání dezénu ke krytu vozovky, druh a stav krytu vozovky a také rychlost silničního vozidla.

Adhezní síla

$$F_{ad} = F_k \mu \cos \alpha \quad [\text{N}]$$

kde F_k – kolová síla [N], μ – součinitel adheze [-], α – úhel stoupání vozovky [°].

Součinitel adheze μ je závislý na stavu krytu vozovky

Příklady součinitele adheze pro různé povrchy a stavy vozovky:

Druh krytu vozovky	Stav vozovky		
	Suchá	Mokrá	Zablácená
Beton	0,8 – 1,0	0,5 – 0,8	0,3 – 0,4
Asfalt	0,6 – 0,9	0,3 – 0,8	0,2 – 0,3
Dlažba	0,6 – 0,8	0,3 – 0,5	0,2 – 0,3
Náledí	0,2 – 0,3	0,1	
Makadam	0,6 – 0,8	0,3 – 0,5	
Polní cesta	0,4 – 0,6	0,3 – 0,4	
Tráva	0,4 – 0,6	0,2 – 0,5	

Jízdní odpory

Jízdní odpory jsou síly, které působí proti pohybu vozidla.

a) Valivý odpor

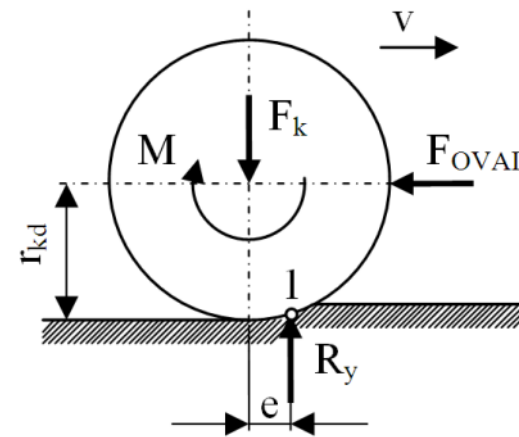
Valivý odpor vzniká deformací pneumatiky a krytu vozovky. Je-li kryt vozovky dostatečně tuhý, uvažujeme pouze deformaci pneumatiky. V důsledku deformace pneumatiky a eventuálně i krytu vozovky je radiální složka reakce krytu vozovky na kolo R_y posunuta dopředu před svislou osu kola o hodnotu e - rameno valivého odporu.

Součinitel valivého odporu f_{VAL} je závislý především na druhu, kvalitě a povaze krytu vozovky. Dále závisí na deformaci pláště pneumatiky a rychlosti kola.

Předpokládáme-li, že součet všech radiálních složek reakcí R_y jednotlivých kol je roven tíze vozidla, pak pro jízdu po rovině platí

$$F_{OVAL} = G f_{VAL} \quad [N]$$

kde G – celková tíha vozidla [N],
 f_{VAL} – součinitel valivého odporu [-].



Obr. 4.3 Valivý odpor [7]

Legenda: F_k – kolová síla, r_{kd} – dynamický poloměr kola, F_{OVAL} – valivý odpor, M – moment valivého odporu, e – rameno valivého odporu, v – rychlost vozidla, R_y – radiální reakce krytu vozovky na kolo.

Příklady součinitele valivého odporu pro různé kryty vozovky:

Kryt vozovky	f_{VAL}	Kryt vozovky	f_{VAL}
Beton	0,015 – 0,025	Tráva	0,08 – 0,15
Asfalt	0,01 – 0,02	Písek (hlubší)	0,15 – 0,30
Dlažba	0,02 – 0,03	Bahnitá půda	0,20 – 0,40
Makadam	0,03 – 0,04	Sníh	0,20 – 0,30
Polní cesta mokrá	0,08 – 0,20	Náledí	0,01 – 0,025
Polní cesta suchá	0,04 – 0,15		

b) Vzdušný odpor

Při jízdě vozidla proudí část vzduchu kolem horní části karosérie vozidla a část vzduchu se musí protlačit prostorem mezi spodní částí vozidla a povrchem vozovky. Proudnice se za vozidlem neuzavírají, ale nastává víření. Tím vzniká vzdušný odpor F_{OVZD} . Velikost tohoto vzdušného odporu je dána výslednicí normálových tlaků vzduchu na povrch karosérie a třecích sil, které působí v tečném směru proudění vzduchu kolem karosérie.

Vzdušný odpor se skládá ze tří složek

- tvarový odpor 80 - 90 %
- vírový odpor 10 - 15 %
- třecí odpor 4 - 10 %.

Velikost vzdušného odporu vzduchu F_{OVZD} stanovíme ze vztahu

$$F_{OVZD} = \frac{1}{2} \rho v^2 c_x S_x \quad [\text{N}]$$

kde ρ – hustota vzduchu [kg/m^3], v – rychlost vozidla [km/hod], c_x – součinitel odporu vzduchu [-], S_x – čelní náporová plocha vozidla [m^2].

c) Odpor zrychlení

Tento odpor vyjadřuje vliv setrvačných sil, které působí proti směru zrychlení vozidla. Silniční vozidlo koná posuvný pohyb se zrychlením a . Dále se ve vozidlech nacházejí hmoty (části), které konají rotační pohyb – např. kola, klikový a vačkový hřídel, rotory elektromotorů, ozubená kola a hřídele převodovek, kloubové a spojovací hřídele, hnací hřídele kol apod. Aby se mohl vyjádřit vliv těchto rotujících pohybů na zrychlení vozidla, zavádí se součinitel rotujících hmot $\delta_a = 1,04 - 1,40$. Odpor zrychlení vozidla je pak určen vztahem

$$F_{OZR} = m \delta_a a$$

kde m – hmotnost vozidla [kg], a – zrychlení ve směru pohybu vozidla [m/s^2], δ_a – součinitel rotujících hmot [-].

d) Odpor stoupání

Odpor stoupání silničního vozidla působí v těžišti vozidla T a je určen složkou tíhy vozidla rovnoběžnou s povrchem vozovky

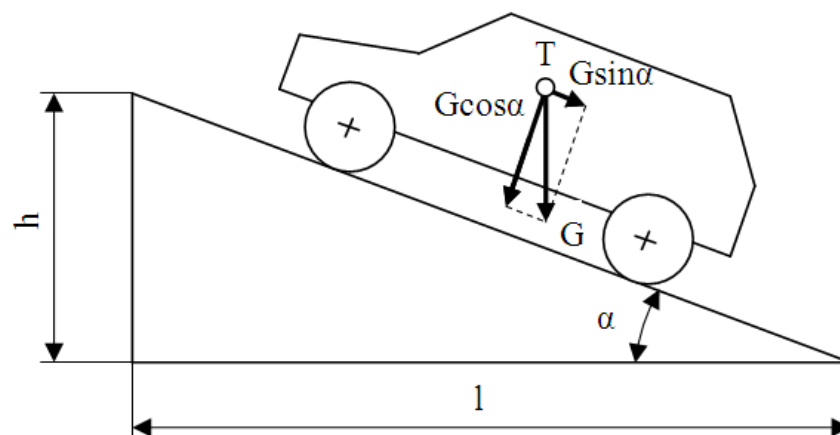
$$F_{os} = \pm G \sin \alpha \quad [\text{N}]$$

kde G – celková tíha vozidla [N], α – úhel stoupání vozovky [°].

Na pozemních komunikacích bývá místo úhlu stoupání vozovky α uváděn sklon svahu s . Pro sklon svahu s platí vztah

$$s = \operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{l} \quad [\%]$$

kde h – převýšení vozovky [m], l – délka sklonového úseku [m], α – úhel stoupání vozovky [°].



e) Celkové jízdní odpory

Celkový jízdní odpor určíme sečtením jednotlivých odporů

$$F_{OC} = F_{OVAL} + F_{OVZD} + F_{OZR} + F_{OS} \quad [\text{N}]$$

kde F_{OVAL} – valivý odpor [N], F_{OVZD} – vzdušný odpor [N], F_{OZR} – odpor zrychlení [N], F_{OS} – odpor stoupání [N].

Hnací ústrojí

Hnací ústrojí (motor) nám slouží k překonání již popsanych jízdních odporů (valivého, vzdušného, zrychlení, stoupání a přívěsu). Hlavním parametrem motoru vozidla je jeho efektivní výkon P_e , který je potřebný pro pohon vozidla. Je dán vztahem

$$P_e = M_{km} \omega_m \quad [\text{W}]$$

kde M_{km} – kroutící (točivý) moment motoru [Nm], ω_m – úhlová rychlost motoru [min^{-1}].

Úhlová rychlost motoru je závislá na otáčkách motoru a je dána vztahem

$$\omega_m = 2\pi n_m \quad [\text{min}^{-1}]$$

kde n_m – otáčky motoru [min^{-1}].

Z efektivního výkonu motoru lze vypočítat hnací (tažnou) sílu na obvodu hnacích kol

$$F_H = \frac{P_e}{v} \eta_c = \frac{M_{kH}}{r_{kd}} \quad [\text{N}]$$

kde P_e – efektivní výkon motoru [W], v – rychlost vozidla [km/hod], η_c – celková účinnost přenosu výkonu na hnací kola [-], M_{kH} – hnací moment motoru [Nm], r_{kd} – dynamický poloměr kola [m].

Hnací moment motoru je dán vztahem

$$M_{kH} = M_{km} i_{př} i_s \eta_c \quad [\text{N.m}]$$

kde M_{km} – kroutící moment motoru [N.m], i_s – stálé převodové číslo v rozvodovce s diferenciálem [-], $i_{př}$ – převodové číslo v převodovce při daném zařazeném převodovém stupni [-], η_c – celková účinnost přenosu výkonu na hnací kola [-].

Z otáček motoru n_m a převodových čísel $i_{př}$ a i_s , vypočítáme rychlost vozidla

$$v = \frac{2\pi n_m r_{kd}}{i_{př} i_s} = 0,377 \frac{n_m r_{kd}}{i_{př} i_s} \quad [\text{km/h}]$$

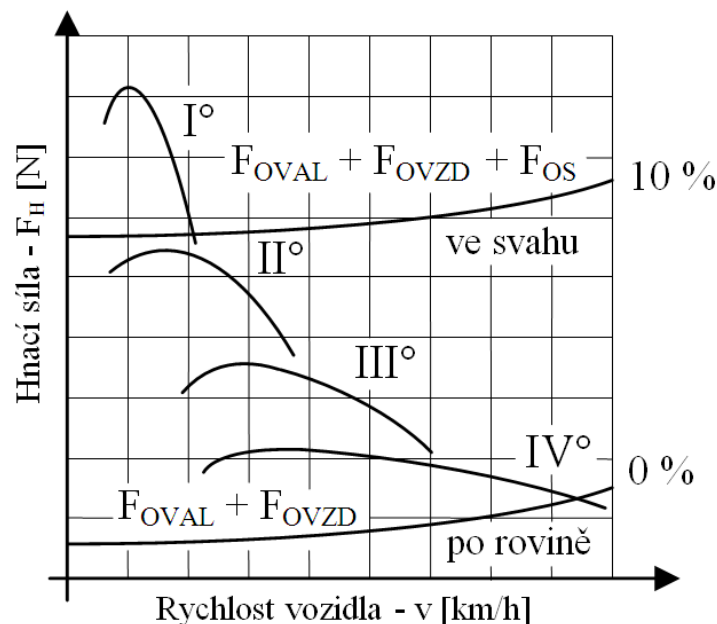
kde n_m – otáčky motoru [min^{-1}].

Hnací sílu lze také vyjádřit pomocí celkového jízdního odporu

$$\begin{aligned} F_H &= F_{OC} \\ F_H &= F_{OVAL} + F_{OVZD} + F_{OZR} + F_{OS} \end{aligned} \quad [\text{N}]$$

kde F_{OVAL} – valivý odpor [N], F_{OVZD} – vzdušný odpor, [N] F_{OZR} – odpor zrychlení [N], F_{OS} – odpor stoupání [N].

K znázornění průběhu hnací síly, jízdních odporů a výkonů nám slouží *rychlostní charakteristiky vozidel*. Na obr. je hnací silová rychlostní charakteristika vozidla se čtyřstupňovou převodovkou.

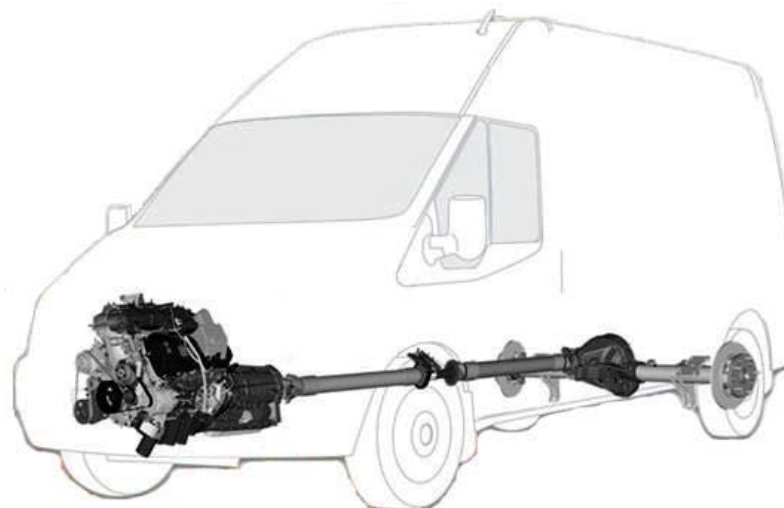


Návrh koncepce hybridního pohonu pro dodávkový automobil

Koncepční návrh hybridního automobilu vychází z užitkového dodávkového automobilu *Ford Transit 350L Van*. Tento automobil má klasickou koncepci s motorem uloženým podélně vpředu a pohonem zadních kol.



Ford Transit 350L Van



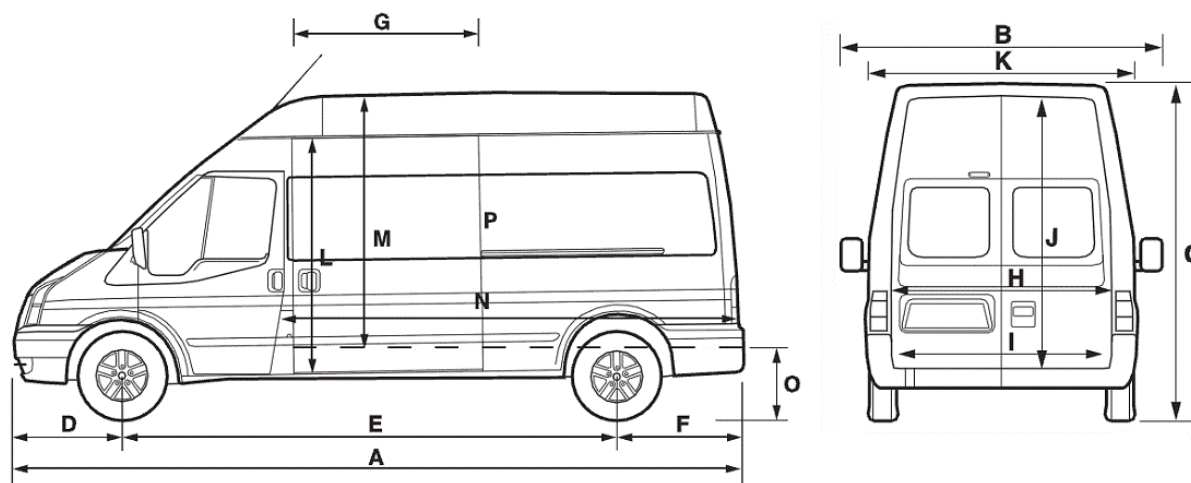
Koncepce vozu Ford Transit 350L Van

Základní parametry vozidla

Parametr	Jednotka	Hodnota
Typ motoru	-	2.4 TDCi
Zdvihový objem motoru	cm ³	2402
Max. výkon motoru	kW/k	74/100
Max. točivý moment	Nm/ot.min ⁻¹	258/1 600
Druh rozvodů	-	DOHC
Počet válců	-	4
Vrtání	mm	87,5
Zdvih	mm	100
Palivo	-	nafta
Systém vstřikování paliva	-	Vícebodové vstřikování
Kompresní poměr	-	19,6
Převodovka	-	MT5*
Stálý převod	-	4,63
Hnací náprava	-	zadní
Zrychlení 0 – 100 km/hod	s	11,5
Pohotovostní hmotnost vozidla	kg	1 655
Maximální hmotnost vozidla	kg	3 500
Užitečná hmotnost vozidla	kg	1 845
Spotřeba paliva na 100 km	l	8,7 – 12,2
Rozměry kol	-	185/75 R16C

* ručně řazená

Základní rozměry vozidla



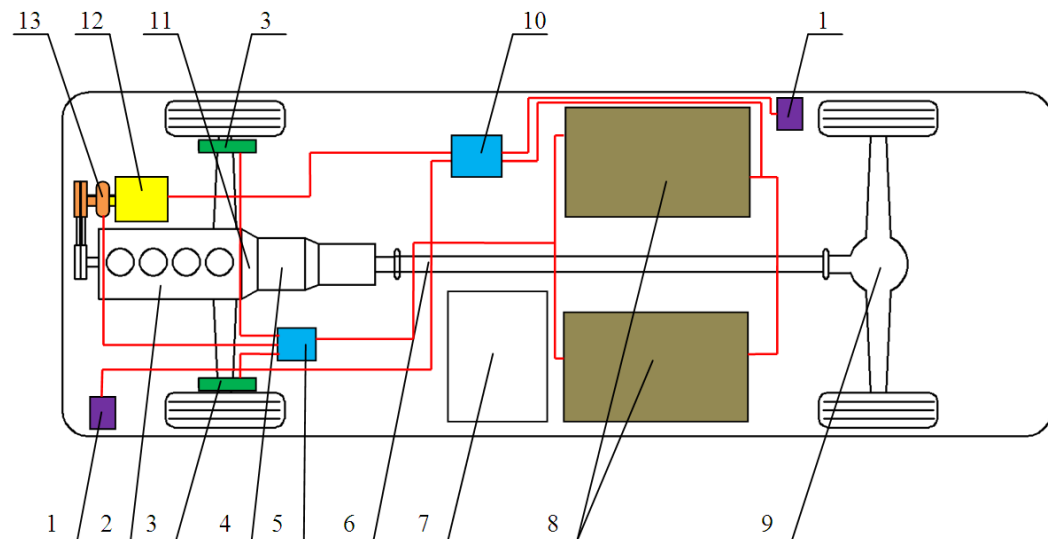
Označení	Parametr	Jednotka	Hodnota
A	Celková délka (bez zadního schůdku)	mm	5 680
B	Celková šířka (včetně/bez zpětných zrcátek)	mm	2 374/1 974
C	Výška vozu	mm	2 602
D	Přední převis	mm	933
E	Rozvor náprav	mm	3 750
F	Zadní převis	mm	997
G	Šířka bočních dveří	mm	1 250
H	Šířka zadních dveří	mm	1 540
I	Šířka mezi podběhy	mm	1 390
J	Výška zadních dveří	mm	1 796
K	Šířka nákladového prostoru	mm	1 762
L	Výška bočních dveří	mm	1 500
M	Výška nákladového prostoru	mm	1 885
N	Délka nákladového prostoru	mm	3 100
O	Výška nákladové hrany	mm	697
P	Objem nákladového prostoru	m ³	11,29

Varianty koncepce

Základní myšlenkou je návrh koncepce hybridního automobilu, který bude sloužit k lehké rozvážkové službě ve městě. Od takového automobilu očekáváme, že v centrech měst bude poháněn elektromotorem, v okrajových částech města bude využívat hybridní pohon, nebo pohon spalovacím motorem.

Varianta I

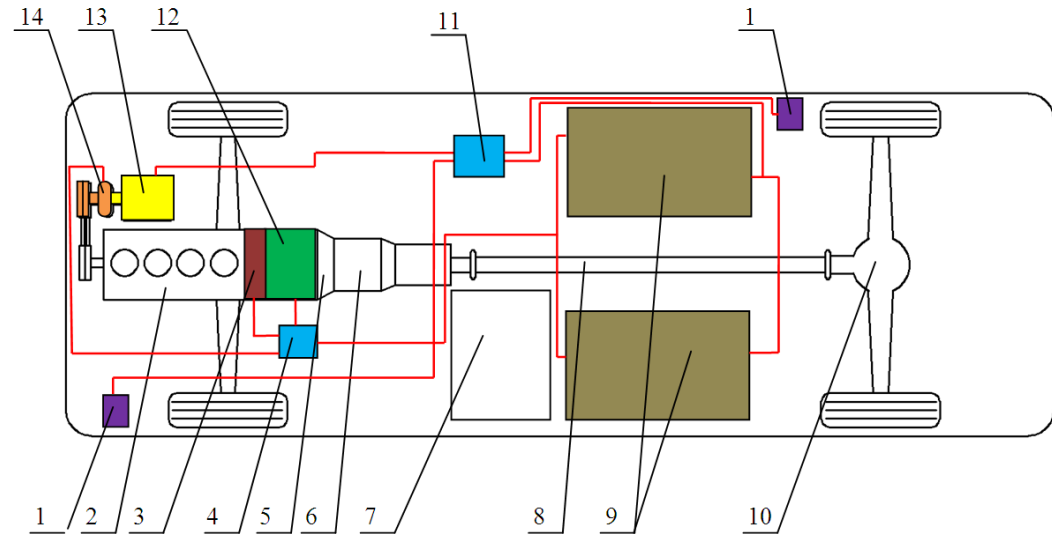
Varianta I
Výhody:
○ 4x4 – při hybridním pohonu ○ menší úpravy stávajícího stavu ○ lepší prostorové využití
Nevýhody:
○ větší neodpružené hmoty ○ problém uložení elektromotorů v kolech - vyšší váha, větší namáhání čepů a ložisek, konstrukční úpravy nápravy ○ změna zatížení obou náprav



Legenda: 1 – zásuvka, 2 – spalovací motor, 3 – elektromotory, 4 – převodovka, 5 – řídicí jednotka, 6 – kloubový hřídel, 7 – palivová nádrž, 8 – akumulátory, 9 – rozvodovka a diferenciál, 10 – regulační řídicí jednotka, 11 – spojka, 12 – generátor, 13 – spojka generátoru.

Varianta II

Varianta II
Výhody:
○ menší hmotnosti neodpružených hmot ○ při všech pohonech jsou poháněna kola zadní nápravy
Nevýhody:
○ větší úpravy stávajícího stavu - posunutí převodovky a zkrácení kardanového hřídele



Legenda: 1 – zásuvka, 2 – spalovací motor, 3 – spojka, 4 – řídicí jednotka, 5 – spojka, 6 – převodovka, 7 – palivová nádrž, 8 – kloubový hřídel, 9 – akumulátory, 10 – rozvodovka a diferenciál, 11 – regulační řídicí jednotka, 12 – elektromotor, 13 – generátor, 14 – spojka generátoru.

Porovnání variant koncepcí

U obou variant se porovnaly výhody a nevýhody. Na základě toho se jeví návrh koncepce II jako výhodnější proto, že má *menší neodpružené hmotnosti, rovnoměrnější zatížení obou náprav a při všech pohonech jsou poháněna pouze kola zadní nápravy*. Z těchto důvodů se budeme nadále věnovat koncepci II.

Úpravy vozidla dle varianty II

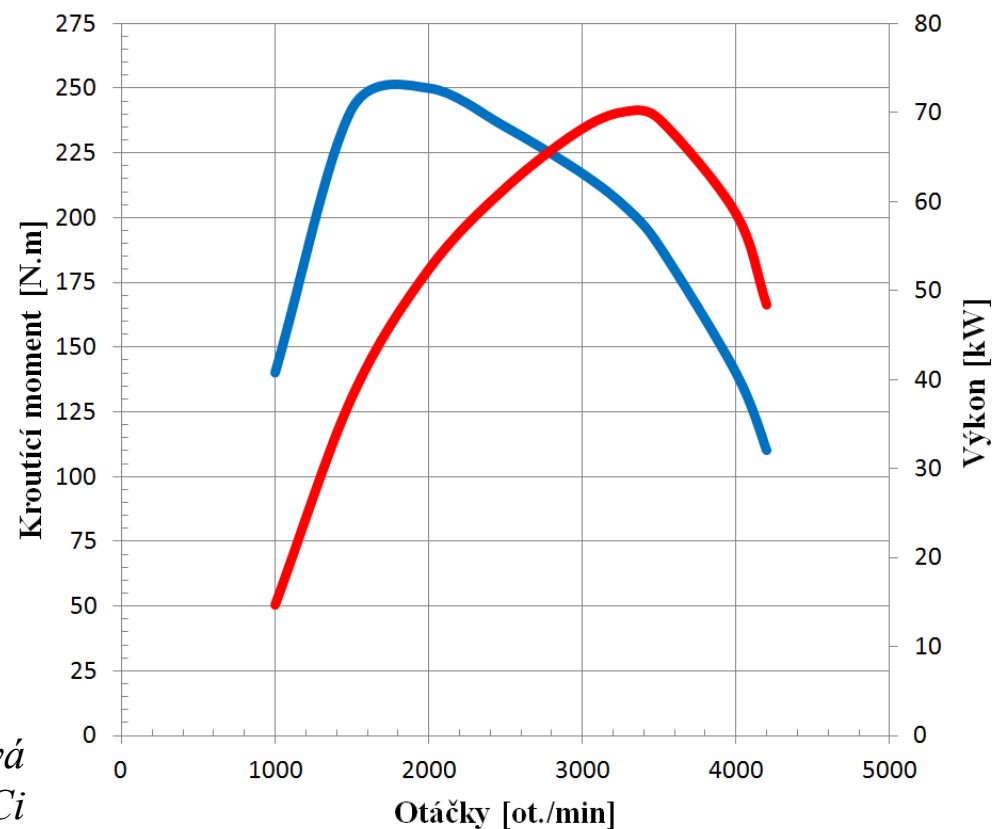
Ve vozidle se v první řadě vymění motor o objemu 2,4 za 1,6. Vzhledem k tomu, že motor o objemu 1,6 má jiné uchycení, musí se upravit jeho uchycení. Dále se musí upravit uchycení i pro posunutou převodovku. Nově se musí vyrobit uchycení pro přidaný elektromotor, generátor a obě skříně akumulátorů. Zároveň musí být uchycení akumulátorových skříní provedeno tak, aby se dali snadno vysunout a vyměnit. Tyto akumulátorové skříně budou umístěny pod podlahou nákladového prostoru. Na levou přední část vozidla a pravou zadní část vozidla se umístí dvě zásuvky.

a) Spalovací motor

Ve vozidle je namontován standardní sériově vyráběný motor 2,4 TDCi. Tento motor svými robustními rozměry zabírá téměř celý motorový prostor vozidla, proto se nahradí motorem 1,6 TDCi. Výhodou tohoto motoru jsou jeho menší rozměry, a tudíž bude v motorovém prostoru více místa.

Parametr	Jednotka	Hodnota
Typ motoru	-	1,6 TDCi
Zdvihový objem motoru	cm ³	1 560
Výkon motoru	kW/k	72/90
Točivý moment	Nm/ot.min ⁻¹	255/1 500
Druh rozvodů	-	DOHC
Počet válců	-	4
Vrtání	mm	73,4
Zdvih	mm	80,6
Druh paliva:	-	nafta
Systém vstřikování paliva	-	Vícebodové vstřikování
Kompresní poměr	-	18,5

Základní parametry motoru 1,6 TDCi



*Momentová a výkonová
charakteristika motoru 1,6 TDCi*

b) Elektromotor

Pro volbu elektromotoru, je potřeba nejprve stanovit potřebný výkon elektromotoru.

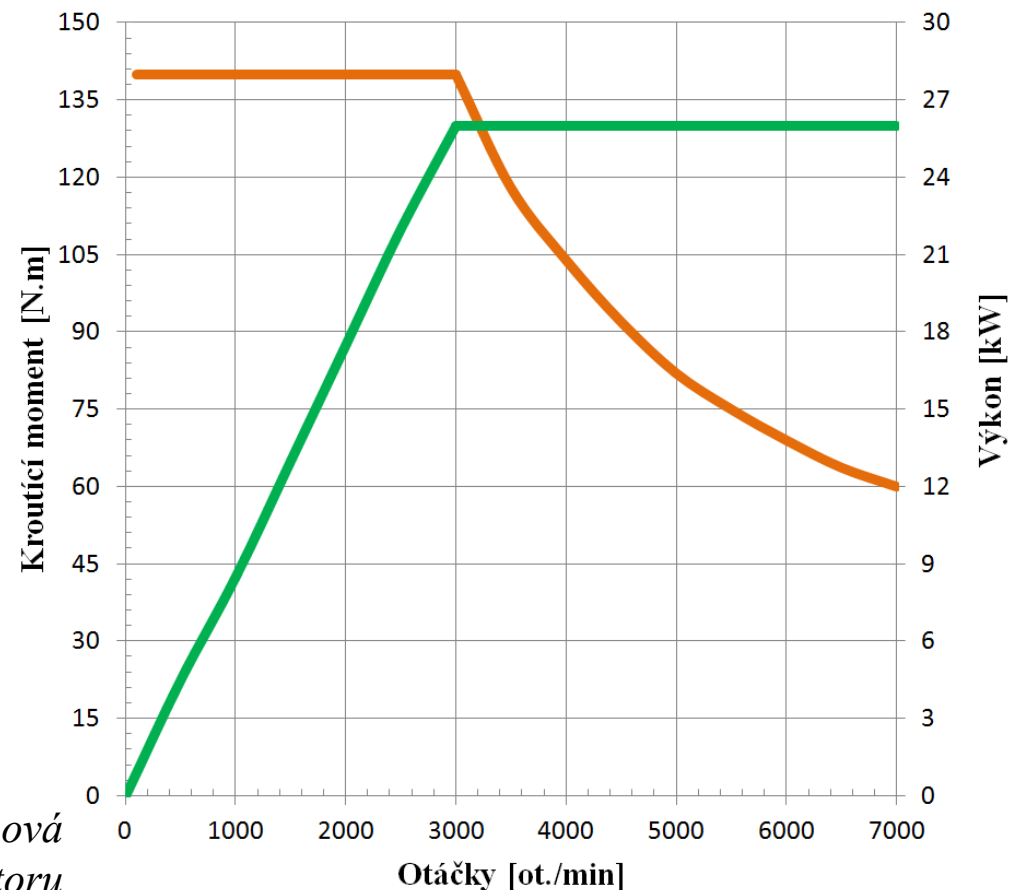
- $v = 50 \text{ km.h}^{-1}$
- $\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $p = 101325 \text{ Pa}$
- $t = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- $s = 3 \text{ \%}$
- $c_x = 0,45$
- $S_x = 3,98 \text{ m}^2$
- $m = 3500 \text{ kg}$
- $f_{val} = 0,015$

$$P = F_{OC} \cdot v = (F_{OVZD} + F_{OVAL} + F_{OS}) \cdot v = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S_x + m \cdot g \cdot f_{VAL} + m \cdot g \cdot \sin \alpha \right) \cdot v$$
$$P = \left(\frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot \left(\frac{50}{3,6} \right)^2 \cdot 0,45 \cdot 3,98 + 3500 \cdot 9,81 \cdot 0,015 + 3500 \cdot 9,81 \cdot \sin 1,72 \right) \cdot \frac{50}{3,6}$$
$$P = 24466 \text{ W}$$

kde P – výkon [W], F_{OC} – celkové jízdní odpory [N], s – dráha vozidla [m], F_{OVAL} – valivý odpor [m], F_{OVZD} – vzdušný odpor [m], ρ – hustota vzduchu [kg/m^3], v – rychlost vozidla [km/h], c_x – součinitel odporu vzduchu [-], S_x – čelní náporová plocha vozidla [m^2], m – maximální hmotnost vozidla [kg], g – gravitační zrychlení [m/s^2], f_{VAL} – součinitel valivého odporu [-].

Ve vozidle bude použit *trakční třífázový střídavý elektromotor s vývody na obou koncích*. Efektivní výkon motoru $P_e = 26 \text{ kW}$ při 3000 až 6500 ot./min a efektivní krouticí moment $M_e = 140 \text{ Nm}$ při 0 až 3000 ot./min. Motor bude napájen napětím 300 V a jeho předpokládaná hmotnost bude okolo 110 kg.

Vzhledem k vysoké hmotnosti elektromotoru je nutné zesílit rám karosérie pro jeho připevnění.



*Momentová a výkonová
charakteristika elektromotoru*

c) Přepínací spojka a spojka generátoru

Pro volbu jednotlivých pohonů lze použít odstředivou nebo elektromagnetickou spojku.

Jako spojku generátoru můžeme použít spojku elektromagnetickou, odstředivou nebo elektrohydraulickou. Prostřednictvím této spojky je připojen generátor přes řemenový převod ke spalovacímu motoru.

d) Převodovka

Převodovka se zachová, pouze se posune. Jedná se o převodovku MT 5, což je dvouhřídelová pětistupňová synchronizovaná převodovka.

Převodový stupeň	Převodový poměr
I°	4,20
II°	2,24
III°	1,37
IV°	1,00
V°	0,76
Z	3,60
Stálý převod	4,63

Převodové poměry pro převodovku MT5

e) Kloubový hřídel, rozvodovka a diferenciál

Kloubový hřídel se zachová z vozu Ford Transit, pouze se bude muset upravit jeho délka. Zatímco rozvodovka a diferenciál zůstávají beze změny.

f) Generátor

Generátor ve vozidle bude sloužit k dobíjení akumulátoru pro pohon elektromotoru. Použije se jednohřídelový třífázový asynchronní motor o výkonu 10 kW. Na výstupní hřídel generátoru bude připevněna elektromagnetická spojka s řemenicí pro ozubený řemen. Předpokládaná hmotnost generátoru bude okolo 45 kg.

g) Akumulátory

Akumulátory jsou zdrojem energie pro pohon elektromotoru. Předpokládá se, že dojezd vozidla na elektrický pohon bude okolo 50 km a jeho průměrná rychlost bude okolo 30 km.h⁻¹ při nulovém stoupání vozovky.

- $s_v = 50$ km
- $v = 30$ km.h⁻¹
- $\delta_a = 1,35$
- $s_r = 15$ km

- $a = 0,255$ m.s⁻²
- $\eta = 80$ %
- $\delta_a = 1,35$
- $U = 336$ V

Ostatní parametry jsou shodné jako u určení výkonu elektromotoru

Potřebná energie akumulátorů

$$E = (F_{OVZD} + F_{OVAL}) \cdot s_v + F_{OZR} \cdot s_r = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S_x + m \cdot g \cdot f_{VAL} \right) \cdot s_v + (m \cdot \delta_a \cdot a) \cdot s_r$$
$$E = \left(\frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot \left(\frac{30}{3,6} \right)^2 \cdot 0,45 \cdot 3,98 + 3500 \cdot 9,81 \cdot 0,015 \right) \cdot 50000 + (3500 \cdot 1,35 \cdot 0,255) \cdot 15000$$
$$E = 47711094 \text{ J}$$

Jestliže $1 \text{ J} = 2,778 \cdot 10^{-7} \text{ kWh}$, pak

$$E = 47711094 \cdot 2,778 \cdot 10^{-7} = 13,25414 \text{ kWh}$$

$$E = \frac{13,25414}{\eta} = \frac{13,25414}{0,80} = 16,56768 \text{ kWh}$$

$$E = C \cdot U \Rightarrow C = \frac{E}{U} = \frac{16567,68}{336} = 49,31 \text{ Ah}$$

kde E – energie [J], s_v – dráha ujetá vozidlem [km], s_r – dráha pro zrychlení vozidla [km], F_{OVAL} – valivý odpor [N], F_{OVZD} – vzdušný odpor [N], F_{OZR} – odpor zrychlení [N], ρ – hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$], v – rychlost vozidla [$\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$], c_x – součinitel odporu vzduchu [-], S_x – čelní náporová plocha vozidla [m^2], m – maximální hmotnost vozidla [kg], g – gravitační zrychlení [$\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$], f_{VAL} – součinitel valivého odporu [-], δ_a – součinitel rotujících hmot [-], C – kapacita [Ah], U – napětí akumulátoru [V].

Parametry jednotlivých typů akumulátorů

Ukazatel	Jednotka	Akumulátor		
		Ni-MH	Ni-Cd	Li-Ion
Objemová kapacita	Wh/kg*	70	50	100
Měrný výkon	W/kg*	250	130	300
Napětí článku	V	1,2	1,2	3
Paměťový efekt	-	malý	velký	téměř žádný
Životnost	cykly*	800	1500	1000
Pracovní teplota	°C	-40 až 50	0 až 50	-40 až 60

* uvedena střední hodnota

Z jednotlivých typů akumulátorů volíme *nikl-metalhydridový akumulátory (Ni-MH)*. Použito bude **28** sériově zapojených akumulátorových baterií Ni-MH **Saft NHP 5-680**, které budou rozděleny do dvou skříní po čtrnácti akumulátorech. Každá akumulátorová baterie má napětí 12 V/68 Ah, rozměry 169 x 173 x 165 mm a hmotnost 9 kg. Jedna akumulátorová sestava včetně akumulátorové skříně (14 akumulátorových baterií) bude mít hmotnost asi 160 kg a rozměry 1 183 x 346 x 165 mm. Obě akumulátorové sestavy budou dohromady vážit 320 kg.



Parametr	Jednotka	Hodnota
Kapacita baterie	Ah	68
Jmenovité napětí	V	6
Uložená energie	Wh/kg	50
Rozměry (š x d x v)	mm	169 x 173 x 165
Hmotnost	kg	9

Akumulátorová baterie NHP 5-680

Hmotnostní rozbor vozidla

Z vozidla bude vymontován čtyřdobý vznětový motor 2,4 o hmotnosti 210 kg a bude nahrazen čtyřdobým vznětovým motorem 1,6 o hmotnosti 150 kg. Do vozidla budou namontovány ještě další komponenty

Název	Hmotnost [kg]
Pohotovostní hmotnost stávajícího vozidla	1 655
Čtyřdobý vznětový motor 2.4	- 210
Čtyřdobý vznětový motor 1.6	150
Elektromotor	110
Generátor	45
Akumulátory - celkem	320
Ostatní komponenty	40
Celková hmotnost hybridního vozidla	2 110

- $m_p = 2\,110\text{ kg}$
- $m_u = 1\,390\text{ kg}$
- $m_c = 3\,500\text{ kg}$

Dynamika jízdy hybridního vozidla

a) Valivý odpor

Valivý odpor je stanoven pro dva různé druhy krytu vozovky – **asfalt**, **dlažba**, při maximální hmotnosti vozidla $m = 3\,500\text{ kg}$

Asfalt:

- $f_{VAL1} = 0,015$
- $f_{VAL2} = 0,025$

$$F_{OVAL1} = G \cdot f_{VAL1} = m \cdot g \cdot f_{VAL1} = 3500 \cdot 9,81 \cdot 0,015 = 515,03\text{ N}$$

Dlažba:

$$F_{OVAL2} = G \cdot f_{VAL2} = m \cdot g \cdot f_{VAL2} = 3500 \cdot 9,81 \cdot 0,025 = 858,38\text{ N}$$

kde G – celková tíha vozidla [N], m – maximální hmotnost vozidla [kg], g – gravitační zrychlení [m/s^2], f_{VALx} – součinitel valivého odporu pro daný povrch vozovky [-].

b) Vzdušný odpor

Vzdušný odpor je teoreticky stanoven pro rychlost vozidla v rozmezí **0 až 140 km.h⁻¹**.

Vzdušný odpor hybridního vozidla pro rychlost 10 km.h⁻¹

$$F_{OVZD} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot c_x \cdot S_x = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot \left(\frac{10}{3,6}\right)^2 \cdot 0,45 \cdot 3,98 = 8,64 \text{ N}$$

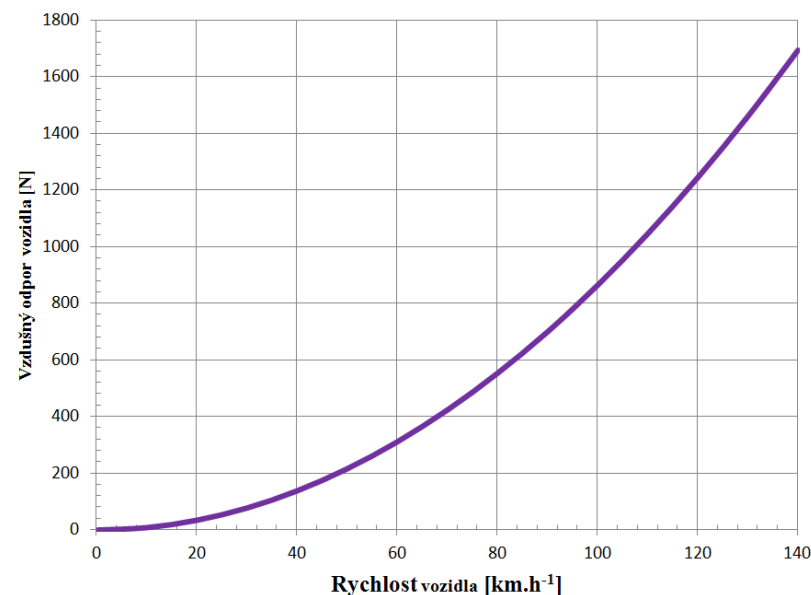
- $\rho = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$
- $p = 101325 \text{ Pa}$
- $t = 15 \text{ °C}$
- $c_x = 0,45$
- $S_x = 3,98 \text{ m}^2$
- $m = 3500 \text{ kg}$

kde ρ – hustota vzduchu [kg/m³], v – rychlost proudění vzduchu kolem vozidla [km/hod], c_x – součinitel odporu vzduchu [-], S_x – čelní náporová plocha vozidla [m²].

Stejným způsobem se stanovily velikosti vzdušných odporů i pro ostatní rychlosti vozidla.

Rychlost vozidla $v \text{ [km.h}^{-1}]$	Vzdušný odpor $F_{OVZD} \text{ [N]}$	Rychlost vozidla $v \text{ [km.h}^{-1}]$	Vzdušný odpor $F_{OVZD} \text{ [N]}$
10	8,64	80	552,78
20	34,55	90	699,11
30	77,74	100	863,72
40	138,19	110	1 045,10
50	215,93	120	1 243,75
60	310,94	130	1 459,68
70	423,22	140	1 692,88

Závislost vzdušného odporu na rychlosti vozidla



c) Odpor stoupání

Odpor stoupání hybridního vozidla se stanovila pro sklon svahu v rozmezí **0 až 15 %**, při maximální přípustné hmotnosti vozidla $m = 3500$ kg.

Odpor stoupání hybridního vozidla pro sklon svahu 5 %

$$F_{os} = G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha = 3500 \cdot 9,81 \cdot \sin 2,86 = 1713,18 \text{ N}$$

kde G – celková tíha vozidla [N], m – maximální hmotnost vozidla [kg], g – gravitační rychlení [m/s^2], α – úhel stoupání vozovky [$^\circ$].

Stejným způsobem se stanovily velikosti odporů stoupání i pro ostatní sklony svahu

Sklon svahu s [%]	Úhel stoupání vozovky - α [$^\circ$]	Odpor stoupání F_{os} [N]
5	2,86	1 713,18
10	5,71	3 416,11
15	8,53	5 092,82

d) Celkové jízdní odpory

Celkové jízdní odpory pro sklon svahu 0 až 15 % jsou součtem předchozích jízdních odporů pro jednotlivé druhy krytu vozovky.

Celkový jízdní odpor pro asfaltový kryt vozovky při nulovém sklonu svahu pro rychlost hybridního vozidla 10 km.h⁻¹

$$F_{OC} = F_{OVAL1} + F_{OVZD} = 515,03 + 8,64 = 523,67 \text{ N}$$

Celkový jízdní odpor pro asfaltový kryt vozovky při sklonu svahu 5 % pro rychlost hybridního vozidla 10 km.h⁻¹

$$F_{OC} = F_{OVAL1} + F_{OVZD} + F_{OS} = 515,03 + 8,64 + 1713,18 = 2236,85 \text{ N}$$

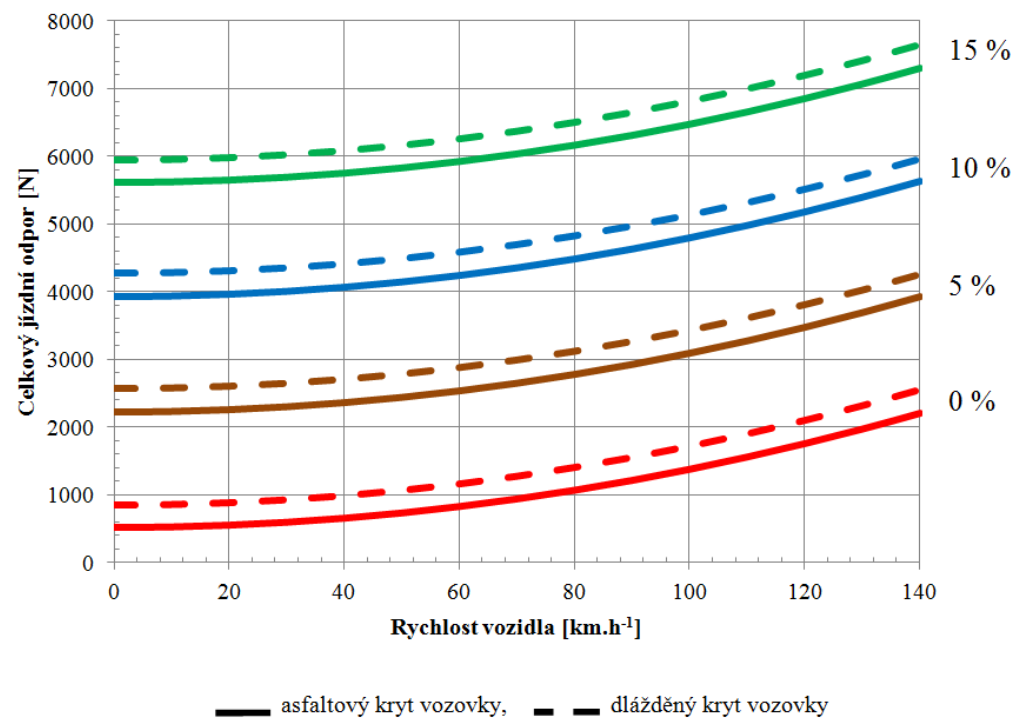
kde F_{OVAL} – valivý odpor [N], F_{OVZD} – vzdušný odpor [N], F_{OS} – odpor stoupání [N].

Rychlost vozidla v [km.h ⁻¹]	Vzdušný odpor F_{OVZD} [N]	Celkový jízdní odpor F_{OC} [N] při stoupání			
		0 %	5 %	10 %	15 %
0	0	515,03	2 228,21	3 931,14	5 607,85
10	8,64	523,67	2 236,85	3 939,78	5 616,49
20	34,55	549,58	2 262,76	3 965,69	5 642,40
30	77,74	592,77	2 305,95	4 008,88	5 685,59
40	138,19	653,22	2 366,40	4 069,33	5 746,04
50	215,93	730,96	2 444,14	4 147,07	5 823,78
60	310,94	825,97	2 539,15	4 242,08	5 918,79
70	423,22	938,25	2 651,43	4 354,36	6 031,07
80	552,78	1 067,81	2 780,99	4 483,92	6 160,63
90	699,11	1 214,14	2 927,32	4 630,25	6 306,96
100	863,72	1 378,75	3 091,93	4 794,86	6 471,57
110	1 045,10	1 560,13	3 273,31	4 976,24	6 652,95
120	1 243,75	1 758,78	3 471,96	5 174,89	6 851,60
130	1 459,68	1 974,71	3 687,89	5 390,82	7 067,53
140	1 692,88	2 207,91	3 921,09	5 624,02	7 300,73

*Celkové jízdní odpory pro
asfaltový kryt vozovky*

Rychlost vozidla v [km.h ⁻¹]	Vzdušný odpor F_{OVZD} [N]	Celkový jízdní odpor F_{OC} [N] při stoupání			
		0 %	5 %	10 %	15 %
0	0	858,38	2 571,56	4 274,49	5 951,20
10	8,64	867,02	2 580,20	4 283,13	5 959,84
20	34,55	892,93	2 606,11	4 309,04	5 985,75
30	77,74	936,12	2 649,30	4 352,23	6 028,94
40	138,19	996,57	2 709,75	4 412,68	6 089,39
50	215,93	1 074,31	2 787,49	4 490,42	6 167,13
60	310,94	1 169,32	2 882,50	4 585,43	6 262,14
70	423,22	1 281,60	2 994,78	4 697,71	6 374,42
80	552,78	1 411,16	3 124,34	4 827,27	6 503,98
90	699,11	1 557,49	3 270,67	4 973,60	6 650,31
100	863,72	1 722,10	3 435,28	5 138,21	6 814,92
110	1 045,10	1 903,48	3 616,66	5 319,59	6 996,30
120	1 243,75	2 102,13	3 815,31	5 518,24	7 194,95
130	1 459,68	2 318,06	4 031,24	5 734,17	7 410,88
140	1 692,88	2 551,26	4 264,44	5 967,37	7 644,08

*Celkové jízdní odpory pro
dlážděný kryt vozovky*



*Celkové jízdní odpory pro
stoupání hybridního vozidla*

e) Rychlost vozidla

Rychlost vozidla jsem stanovil pro spalovací motor v rozsahu otáček **0 až 4000 ot.min⁻¹**.

Rychlost hybridního vozidla při 1000 ot.min⁻¹ pro I°

$$v = 0,377 \cdot \frac{n_m \cdot r_{kd}}{i_{př} \cdot i_s} = 0,377 \cdot \frac{1000 \cdot 0,342}{4,20 \cdot 4,63} = 6,63 \text{ km.h}^{-1}$$

kde n_m – otáčky motoru [min⁻¹], r_{kd} – dynamický poloměr kola [m], i_s – stálé převodové číslo v rozvodovce s diferenciálem [-], $i_{př}$ – převodové číslo v převodovce při daném zařazeném převodovém stupni [-].

Stejným způsobem jsem stanovil rychlosti vozidla i pro ostatní převodové stupně a ostatní otáčky.

Otáčky motoru n_m [ot.min ⁻¹]	Rychlost vozidla [km.h ⁻¹]				
	v_{I°	v_{II°	v_{III°	v_{IV°	v_{V°
1000	6,63	12,43	20,32	27,84	36,62
1500	9,94	18,64	30,47	41,75	54,93
2000	13,25	24,85	40,63	55,66	73,24
2500	16,57	31,06	50,79	69,58	91,56
3000	19,88	37,28	60,95	83,50	109,87
3500	23,19	43,49	71,11	97,41	128,18
4000	26,51	49,71	81,26	111,33	146,49

f) Hnací síla

Z momentových charakteristik *spalovacího motoru* a *elektromotoru* se odečte krouticí moment motorů pro jednotlivé otáčky motoru.

$$F_H = \frac{M_{kH}}{r_{kd}} = \frac{M_{km} i_{př} i_s \eta_c}{r_{kd}} \quad [\text{N}]$$

kde M_{km} – krouticí moment motoru [Nm], i_s – stálé převodové číslo v rozvodovce s diferencíálem [-], $i_{př}$ – převodové číslo v převodovce při daném zařazeném převodovém stupni [-], η_c – celková účinnost přenosu výkonu na hnací kola [%], r_{kd} – dynamický poloměr kola [m].

Hnací síla při pohonu spalovacím motorem

Otáčky motoru n_m [ot.min ⁻¹]	Krouticí moment motoru M_{km} [N.m]	Hnací síly spalovacího motoru [N]				
		F_{HI°	F_{HII°	F_{HIII°	F_{HIV°	F_{HVV°
1000	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
1500	242	12 659,23	6 751,59	4 129,32	3 014,10	2 290,72
2000	250	13 077,72	6 974,78	4 265,83	3 113,74	2 366,44
2500	235	12 293,06	6 556,30	4 009,88	2 926,92	2 224,46
3000	217	11 351,46	6 054,11	3 702,74	2 702,73	2 054,07
3500	189	9 886,76	5 272,94	3 224,97	2 353,99	1 789,03
4000	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21

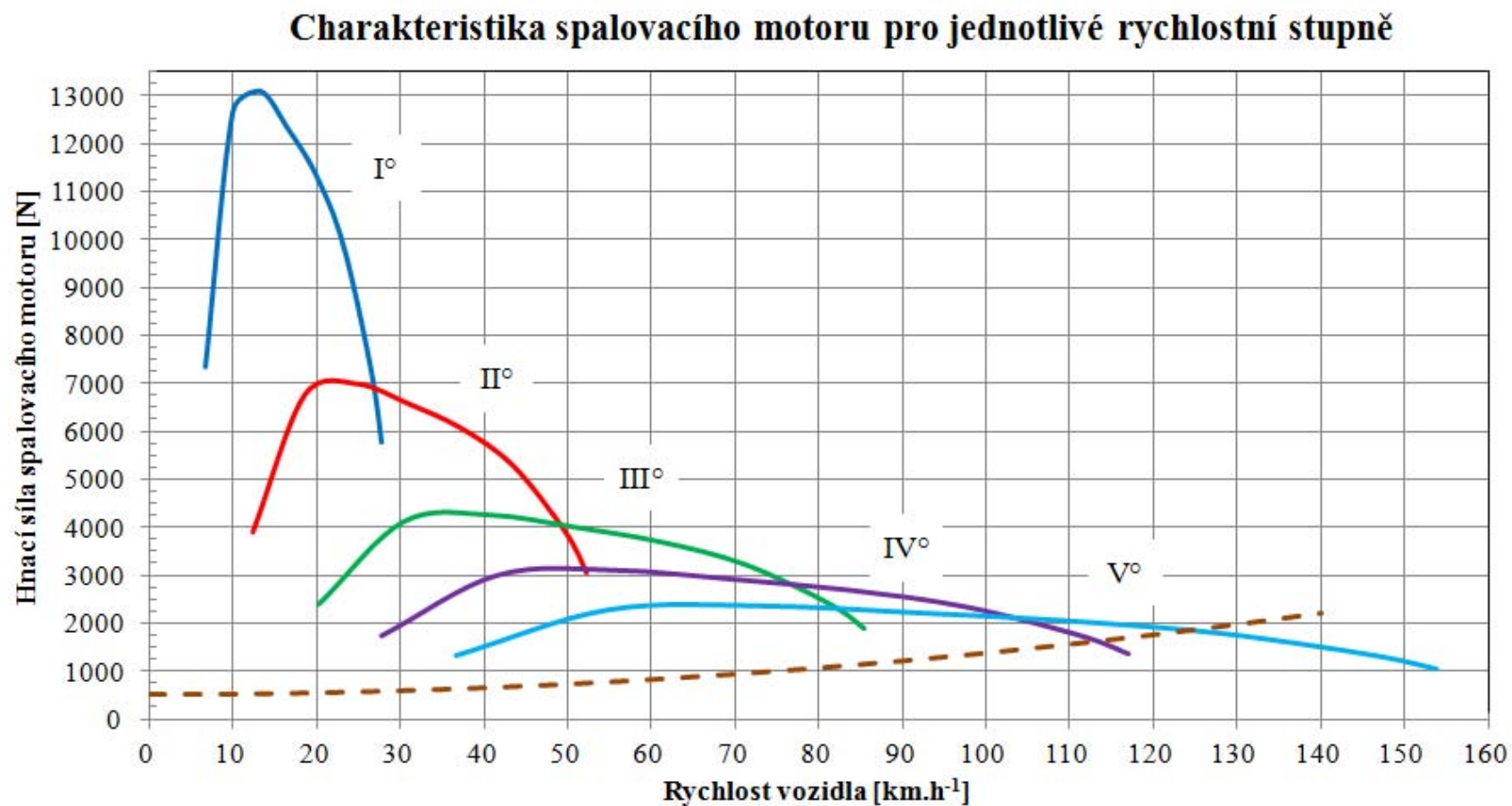
Hnací síla vozidla při pohonu elektromotorem

Otáčky motoru n_m [ot.min ⁻¹]	Krouťicí moment motoru M_{km} [N.m]	Hnací síly elektromotoru [N]				
		F_{HI°	F_{HII°	F_{HIII°	F_{HIV°	F_{HV°
100	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
500	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
1 000	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
1 500	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
2 000	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
2 500	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
3 000	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
3 500	118	6 172,68	3 292,10	2 013,47	1 469,69	1 116,96
4 000	104	5 440,33	2 901,51	1 774,58	1 295,32	984,44
4 500	92	4 812,60	2 566,72	1 569,82	1 145,86	870,85

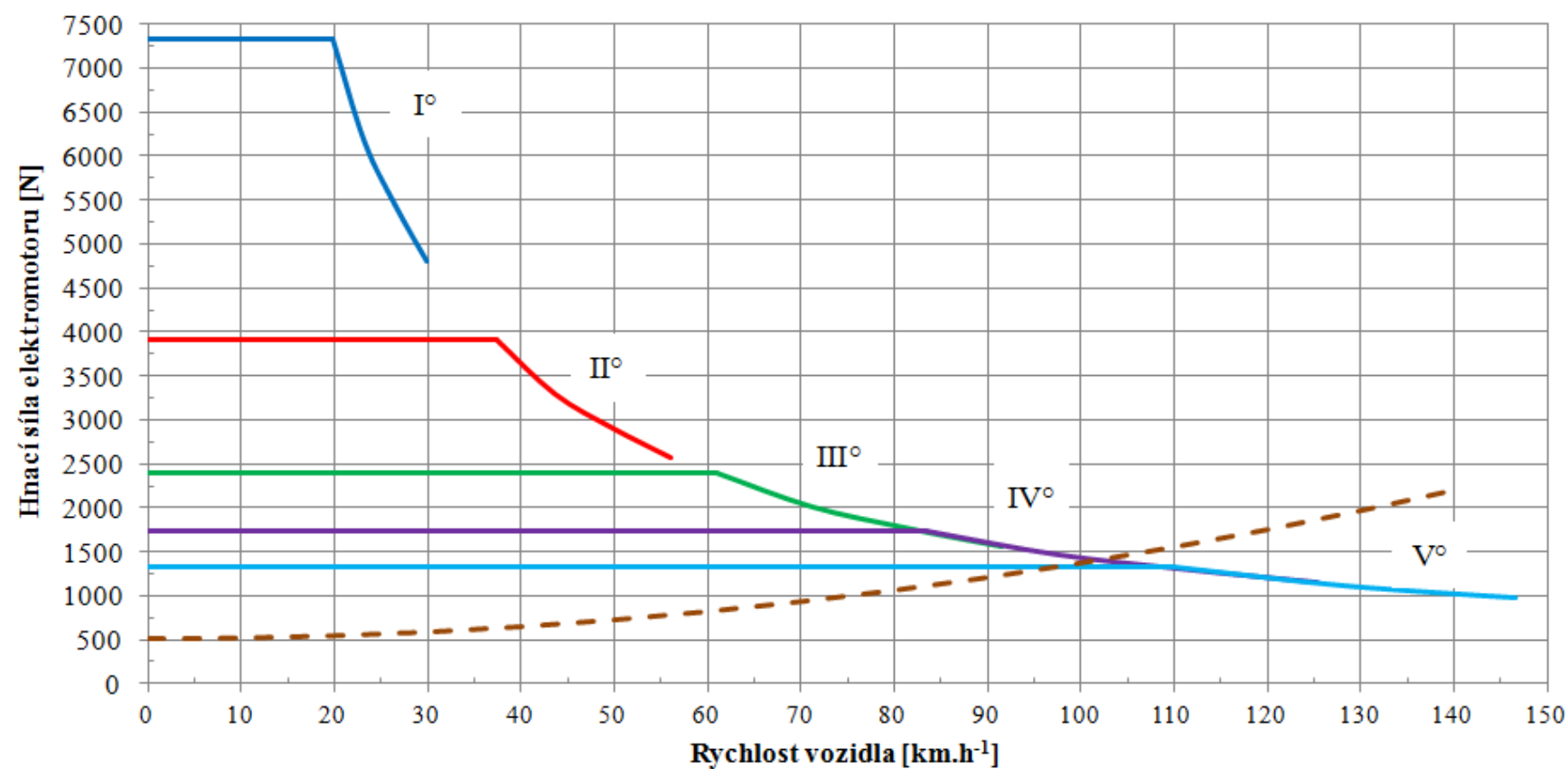
Hnací síla vozidla při hybridním pohonu

Otáčky hybridního pohonu n_m [ot.min ⁻¹]	Krouťicí moment hybridního pohonu M_{km} [N.m]	Hnací síly hybridního pohonu [N]				
		F_{HI°	F_{HII°	F_{HIII°	F_{HIV°	F_{HV°
100	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
500	140	7 323,52	3 905,88	2 388,86	1 743,70	1 325,21
1000	280	14 647,05	7 811,76	4 777,73	3 487,39	2 650,42
1500	382	19 982,76	10 657,47	6 518,18	4 757,80	3 615,93
2000	390	20 401,24	10 880,66	6 654,69	4 857,44	3 691,65
2500	375	19 616,58	10 462,18	6 398,74	4 670,61	3 549,67
3000	357	18 674,98	9 959,99	6 091,60	4 446,42	3 379,28
3500	307	16 059,44	8 565,03	5 238,44	3 823,68	2 905,99
4000	244	12 763,85	6 807,39	4 163,45	3 039,01	2 309,65

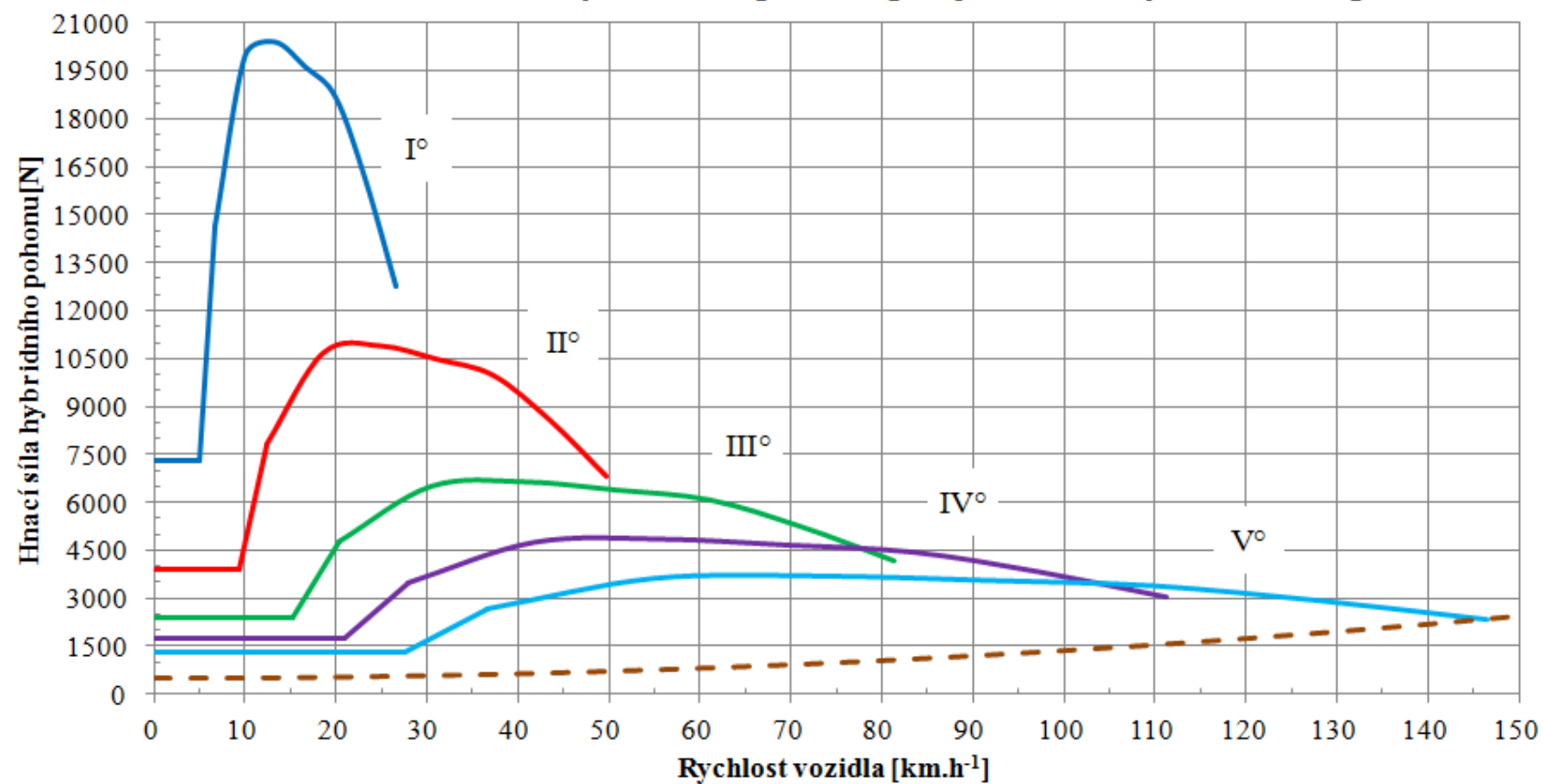
Na základě *rychlosti vozidla a hnacích sil vozidla* se sestrojili silové hnací charakteristiky vozidla.



Charakteristika elektromotoru pro jednotlivé rychlostní stupně



Charakteristika hybridního pohonu pro jednotlivé rychlostní stupně



Technicko-ekonomické hodnocení

Dynamika jízdních vlastností navrženého koncepčního uspořádání hybridního vozidla byla zaměřena na stanovení jednotlivých *jízdních odporů*, max. hnacích sil a max. rychlostí pro jednotlivé převodové stupně. Zmíněné jízdní vlastnosti byly stanoveny pro pohon spalovacím motorem, elektromotorem a hybridním pohonem.

Max. rychlost vozidla pro jednotlivé převodové stupně

Převodový stupeň	Maximální rychlost v [km.h ⁻¹]		
	Spalovací motor	Elektromotor	Hybridní pohon
I.	27,83	29,84	26,51
II.	52,19	55,95	49,71
III.	85,33	91,47	81,26
IV.	112,00	102,00	111,33
V.	125,00	101,00	143,00

Max. hnací síla vozidla pro jednotlivé převodové stupně

Převodový stupeň	Maximální hnací síla F_H [N]		
	Spalovací motor	Elektromotor	Hybridní pohon
I.	13 077,72	7 323,52	20 401,24
II.	6 974,78	3 905,88	10 880,66
III.	4 265,83	2 388,86	6 654,69
IV.	3 113,74	1 743,70	4 857,44
V.	2 366,44	1 325,21	3 691,65

Z porovnání jednotlivých údajů plyne, že hybridní pohon má *nejlepší dynamické vlastnosti* (což se dalo předpokládat), následuje pohon spalovacím motorem a elektromotorem. Parametry při čistě elektrickém pohonu (elektromotorem) jsou pro požadované účely dostatečné a vozidlo bude vykazovat přijatelnou dynamiku jízdy. Rychlost pro účely vozu, který se pohybuje v centrech měst kde má průměrnou rychlost 50 km.h^{-1} , je pro všechny druhy pohonu téměř vyrovnaná. Pozitivní vlastností elektrického pohonu vozidla je jeho šetrnost k životnímu prostředí. Doba pohonu vozidla elektromotorem je však omezena kapacitou akumulátorů, počítá se s dojezdem v městském provozu 50 km.

Závěr

Automobilizmus jako takový bude v budoucnu záviset na celkovém politickém, ekonomickém a sociálním vývoji celého lidského společenství.

Z alternativních pohonů se do budoucna jeví jako nejlepší variantou vodíkový pohon.



Děkuji za pozornost !!!