

**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STROJNÍ**



**BAKALÁŘSKÁ
PRÁCE**

2017



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Svoboda** Jméno: **Jaroslav** Osobní číslo: **382356**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel**
Studijní program: **Strojírenství**
Studijní obor: **Konstruování podporované počítačem**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Stavba automobilu pro závodní účely

Název bakalářské práce anglicky:

Development of a racing vehicle

Pokyny pro vypracování:

Zpracujte studii popisující postup přestavby sériového vozidla na závodní speciál. Uveďte vzájemnou souvislost úprav s platnými předpisy pro danou kategorii soutěžních vozů. Zaměřte se na vybrané konstrukční celky vozidla, pro které zároveň zpracujte základní výkresovou dokumentaci.

Seznam doporučené literatury:

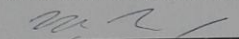
Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

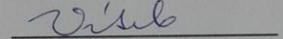
Ing. Vojtěch Klír Ph.D., ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel FS

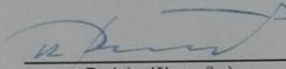
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **19.04.2017** Termín odevzdání bakalářské práce: **12.07.2017**

Platnost zadání bakalářské práce:


Podpis vedoucí(ho) práce

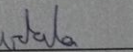

Podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


Podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

25.4.2017
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.7.2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Vojtěchu Klírovi, Ph.D. vedoucímu mé práce za příkladné vedení, přínosné konzultace, lidský a přátelský přístup při řešení mé bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval své mamce za velkou podporu po celou dobu studia.

Stavba automobilu pro závodní účely

Abstrakt

Práce zpracovává postup přestavby vybraného produkčního vozu na závodní speciál pro automobilové soutěže rally. Cílem je popis přestavby hlavních funkčních celků vozu v návaznosti na platné sportovní předpisy dané kategorie. Součástí této práce je návrh kinematického schématu převodového ústrojí vybraného vozu.

Klíčová slova: závodní vůz, rally, podvozek, karoserie, motor, převodovka, odstupňování, FIA, ČMPR

Development of a racing vehicle

Abstract

The bachelor thesis describes the procedure of the transformation of the chosen vehicle to the racing rally car. The aim of the practical part is the description of the transformation of the main functional parts of the vehicle according to the regulations for this category. The part of the bachelor thesis is the kinematic scheme of the gear box of that transformed vehicle.

Keywords: racing vehicle, rally, chassis, body, engine, gear box, gradation, FIA, ČMPR

Obsah

1 Úvod.....	8
2 Cíle práce	9
3 Platná pravidla	9
4 Rozdělení do jednotlivých celků přestavby	10
5 Karoserie vozidla.....	10
5.1 Technické předpisy	12
5.2 Provedené úpravy.....	13
5.3 Bezpečností výbava.....	14
6 Podvozek	15
6.1 Platná pravidla pro podvozkové části	15
6.2 Zavěšení kol	15
6.2.1 Přední náprava	16
6.2.1.1 Provedené úpravy	17
6.2.2 Zadní náprava	18
6.2.2.1 Provedené úpravy	19
6.3 Brzdy	19
6.3.1 Provedené úpravy	20
6.4 Kola a pneumatiky	21
6.4.1 Použití na přestavovaném voze.....	21
7 Motor.....	22
7.1 Platné předpisy	23
7.2 Provedené úpravy.....	23
7.3 Měření vnější charakteristiky motoru	24
8 Převodové ústrojí	26
8.1 Platná pravidla.....	28
8.2 Výchozí převodovka pro úpravu	28
8.3 Návrh odstupňování převodovky	30
8.3.1 Výsledky návrhu	33
8.4 Provedené úpravy.....	36
9 Zhodnocení přestavby vozu.....	38
10 Závěr.....	40
11 Seznam použitých zdrojů	41
12 Přílohy	42

Seznam obrázků

Obrázek 1 Přestavovaný závodní vůz [zdroj: archiv autora]	9
Obrázek 2 Hlavní struktura [10]	12
Obrázek 3 Struktura doplněna o výztuhy [10]	13
Obrázek 4 Karoserie přestavovaného vozu [zdroj: archiv autora]	14
Obrázek 5 Bezpečnostní výbava přestavovaného vozu [zdroj: archiv autora]	14
Obrázek 6 Přední náprava Š. Felicia [2]	17
Obrázek 7 Uchycení závodního předního tlumiče [zdroj: archiv autora]	18
Obrázek 8 Zadní náprava Š. Felicia [3]	19
Obrázek 10 Schéma převodové skříně Š. Felicia [6]	28
Obrázek 11 Obecná hnací charakteristika [9]	32
Obrázek 12 Screen z programu Excel 2007	33
Obrázek 13 realizované převody [zdroj: archiv autora]	38

Seznam tabulek

Tabulka 1 Převodové poměry sériové převodovky Š. Felicia [1]	29
Tabulka 2 Převodové poměry použitelných soukolí [7]	31
Tabulka 3 Převodové poměry použitelných stálých převodů [1]	31
Tabulka 4 Převodové poměry homologovaných závodních převodů [2]	32
Tabulka 5 Hodnoty navržených převodových poměrů	36
Tabulka 6 Hodnoty realizovaných převodových poměrů	36
Tabulka 7 Tabulka zhodnocení upravovaných parametrů	39

Seznam grafů

Graf 1 Vnější rychlostní charakteristika přestavovaného vozu	26
Graf 2 Kinematické schéma sériové převodovky Š. Felicia	29
Graf 3 Hnací charakteristika sériové převodovky Š. Felicia	30
Graf 4 Hnací charakteristika navržených převodů	33
Graf 5 Kinematické schéma navržených převodů	34
Graf 6 Porovnání hnacích charakteristik	35
Graf 7 Porovnání kinematických schémat	35
Graf 8 Kinematické schéma realizované převodovky	37

Seznam použitých zkratk

ČMPR.....	Českomoravský pohár v rally
FIA.....	Federation internationale de lautomobile

1 Úvod

V dnešní době téměř každá sportovní disciplína vyžaduje speciální vybavení upravené pro konkrétní potřeby daného sportu. Automobilový sport toto pravidlo dokonale potvrzuje, z čehož vyplývá potřeba použití závodních automobilů určených přímo pro danou kategorii. V našem případě se jedná o automobilové soutěže v rally. Tato disciplína je specifická v tom, že trasa vede po běžných komunikacích, přičemž část komunikace je uzavřena pro běžný provoz a na této části posádka bojuje o co nejlepší dosažený čas. Tuto část nazýváme rychlostní zkouška. Zbylé úseky mezi rychlostními zkouškami jsou veřejné komunikace, kde jak pro posádku, tak pro automobil, platí pravidla silničního provozu. Již z této podmínky vyplývají základní konstrukční požadavky na rallyový speciál. Závodní automobil pro výše uvedený účel může vzniknout dvěma způsoby. Prvním je vývoj speciálu převzetím pouze základní konstrukce, ze které je nakonec postaven zcela odlišný závodní automobil. Tento způsob je výsadou zpravidla u továrních týmů výrobců automobilů. . Takovýto proces je velice nákladný a výsledný prototyp musí získat veškerá homologační prověření jak pro provoz v běžném provozu, tak pro závodní účely. Tyto homologační nařízení vydává nejvyšší autorita automobilového sportu organizace FIA (Federation internationale de l'automobile). Druhým způsobem stavby závodního automobilu pro rally je přestavba sériového vozu, který již splňuje podmínky provozu na veřejných komunikacích. Přestavba vozu musí být provedena dle platných pravidel a v případě národních a mezinárodních soutěží v rally i homologačních listů vydaných organizací FIA pro daný typ vozu. Tato varianta je i obsahem mé práce s tím rozdílem, že vybrané vozidlo bylo přestavěno do soutěží rally spadajících do seriálu Českomoravského poháru v rally (dále jen ČMPR). Tento seriál z legislativní stránky spadá do kategorie amatérských podniků, tudíž nemusí respektovat homologační listy FIA a přestavba vozu se tak může řídit pouze pravidly pro ČMPR.

Zvoleným vozem je Škoda Felicia 1,6 LXI ve variantě hatchback, roku výroby 1997 s obsahem motoru 1 598 cm^3 a výkonem 55 KW při 4 500 ot/min.

Vůz byl přestavován do kategorie A2 soudobých vozů o obsahu do 1 600 cm^3

Obrázek 1 Přestavovaný závodní vůz [zdroj: archiv autora]



Toto vozidlo bylo vybráno z několika důvodů:

- nízká prodejní cena vozu a nízké náklady na náhradní díly
- nízká hmotnost a malé rozměry vozu
- dobrá kompatibilita dílů z jiných vozů koncernu VW

2 Cíle práce

Cíle této práce jsou, popis přestavby sériového vozu na závodní speciál do kategorie rally v návaznosti na platná pravidla a návrh převodových poměrů k novým účelům použití daného vozu.

3 Platná pravidla

Automobilový sport je krásná disciplína, která vznikla prakticky současně se vznikem automobilového průmyslu. Jako v každém sportu i zde je třeba stanovit a dodržovat platná pravidla tak, aby soutěžení bylo férové a v případě motorsportu i bezpečné.

V našem případě se přestavba řídila pravidly pro soutěže ČMPR. Tato pravidla se skládají ze dvou základních částí - legislativní a technické.

Legislativní část

Jelikož trasa automobilových soutěží zahrnuje i úseky na běžné veřejné komunikaci za plného provozu, je v legislativní části pravidel jasně stanoveno, že každé vozidlo musí splňovat podmínky silničního provozu na pozemních komunikacích. Každé vozidlo musí být

opatřeno registrační značkou, platným pojištěním odpovědnosti za škodu způsobenou provozem vozidla (povinné ručení) a musí mít doložený protokol o technickém stavu vozu z certifikované stanice technické kontroly. Dále musí být vozidlo na veřejných úsecích komunikace řádně označeno oranžovým majákem, aby splňovalo statut povoleného vozidla pro silniční provoz dle zákonů ČR.

Technická část

Technická část pravidel pro ČMPR z velké části vychází z přílohy J, mezinárodních sportovních řádů pro soudobá vozidla, stanovených organizací FIA

Pravidla přesně upravují každý povolený zásah do všech konstrukčních celků vozu. Jednotlivé povolené úpravy budou popsány v následující části práce spolu s každým jednotlivým celkem úpravy.

4 Rozdělení do jednotlivých celků přestavby

Kompletní přestavba zvoleného vozu je logicky rozdělena do základních funkčních celků, jejichž potřeba a technologie úpravy se liší. Některé celky musí být upraveny, aby bylo možné vozidlo převzít do soutěže. Některé mohou sice zůstat bez úpravy, avšak jejich úpravu si vyžaduje samotná konkurenceschopnost vozu v soutěži.

Jednotlivé celky dané přestavby jsou:

- karoserie vozidla
- podvozek
- motorová jednotka
- převodové ústrojí

Výše uvedené celky budou podrobně popsány v následující části práce.

5 Karoserie vozidla

V dnešní výrobě osobních automobilů je nejvíce využívaná koncepce, používající tzv. samonosnou karoserii. Samonosná karoserie vznikne nerozebíratelným spojením polonosné karoserie s rámem.

Tato karoserie nemá samostatný rám a hnací ústrojí a ostatní části podvozku jsou připevněny ke karoserii přímo, nebo prostřednictvím pomocných konstrukcí.[5] Základním rysem samonosné karoserie je využití její konstrukce jako nosné části nejen pro podvozkové skupiny, ale i pro namáhání vznikajících při jízdě. Výhodou samonosného provedení je lehká konstrukce a vysoká možnost automatice výroby, tzn. malé výrobní náklady při velkém počtu vyráběných kusů. Nevýhodou jsou potřebné vysoké investiční náklady pro velkosériovou výrobu a malé možnosti změn tvaru karoserie.

Jelikož je samonosná karoserie základem každého automobilu spojujícím všechny funkční celky vozu, je zřejmé, že její provedení bude mít vliv na většinu vyžadovaných vlastností vozu.

Obecně je ochrana posádky automobilu přímo závislá na struktuře karoserie. Nosná struktura karoserie musí mít dostatečnou schopnost absorpce energie, vzniklé při nehodě a nárazu. Karoserie závodního vozu je v základu totožná s karoserií sériovou, pro kterou platí obecné požadavky:

- aktivní a pasivní bezpečnost
- nízká hmotnost
- ochrana posádky před povětrnostními vlivy
- účelnost tvaru a provedení karoserie
- příznivá tepelná pohoda pro řidiče a přepravované osoby
- omezení hluku vnitřního i vnějšího
- omezení vibrací
- bezpečný výhled z vozidla dopředu, dozadu i do stran
- omezení následků nehody
- aerodynamická stabilita, malý součinitel odporu vzduchu
- vysoká životnost a spolehlivost

Pro karoserii upravovanou pro závodní vůz jsou však některé z výše uvedených požadavků nepodstatné a při přestavbě jsou potlačeny. Pro karoserii použitou pro závodní vůz jsou nejdůležitějšími požadavky nízká hmotnost a vysoká tuhost konstrukce karoserie. Na tyto požadavky má zásadní vliv nutnost implementace ochranného rámu do vozu. Touto úpravou se zvýší tuhost karoserie, což má za následek zvýšení schopnosti karoserie pohlcovat energii

při nárazu a tím podstatně zlepšuje bezpečnost. Zvýšením tuhosti karoserie zároveň dochází ke zlepšení sportovních vlastností vozu, především jízdní dynamiky.

5.1 Technické předpisy

Dle platných pravidel musí funkce karoserie zůstat zachována včetně všech nosných částí. Mohou být odstraněny nepotřebné držáky a materiály izolující hluk a teplo. Mohou být odlehčeny části karoserie, které nejsou součástí hlavní pevnostní struktury. Bodové svary mohou být doplněny o další svary vedoucí ke zvětšení tuhosti skeletu. Z vozidla mohou být odstraněna zadní sedadla a přední musí být nahrazena pevnými skořepinovými sedadly a doplněna minimálně o čtyřbodové pásy. Do karoserie musí být implementován ochranný rám, jehož konstrukce musí být provedena dle přílohy J, pravidel FIA. Interiér vozu musí být vybaven hasicím přístrojem a odpojovačem elektrického proudu. [8]

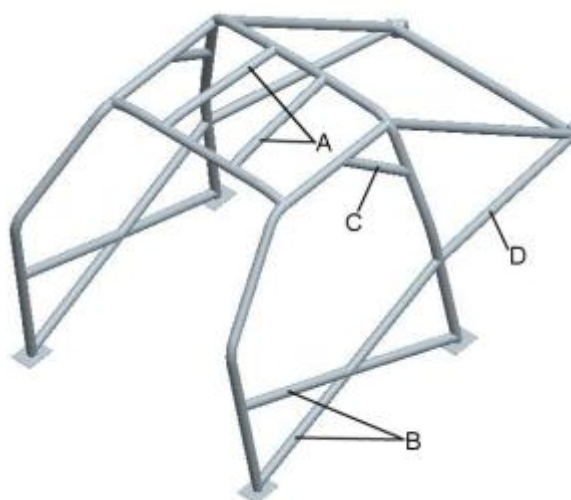
Charakteristika bezpečnostního rámu:

Bezpečnostní rám je prostorová konstrukce svařovaná (popř. šroubovaná) z jednotlivých segmentů, tvořených bezešvými trubkami, která obklopuje prostor pro posádku a je pevně spojena z karoserií vozu. Bezpečnostní rám je tvořen hlavní strukturou (obr. č. 2), která je doplněna o povinné a volitelné výztuhy (obr. č. 3).

Obrázek 2 Hlavní struktura [10]



Obrázek 3 Struktura doplněna o výztuhy [10]



Základní parametry ochranného rámu:

- musí být tvořen segmenty rovnými nebo ohýbanými za studena z bezešvých trubek o minimálním průměru 40mm a tloušťce stěny 1,5 mm
- materiál trubek je ocel tř. 11, chrommolibden CrMo a v některých případech slitiny Al
- do karoserie musí být uchycen pomocí ocelových platví o minimální ploše 120 cm^2 a tloušťce 3 mm
- svou konstrukcí nesmí bránit posádce ve výhledu z vozu

[8]

5.2 Provedené úpravy

U zvoleného vozu Škoda Felicia je ocelová samonosná karoserie bodově svařena z lisovaných plechů. Hlavní úpravou karoserie byla implementace bezpečnostního rámu dle platných pravidel. Z možných materiálů pro bezpečnostní rám byla zvolena ocel tř. 11. Přestože rám vyrobený z CrMo trubek by vykazoval větší pevnost a nižší hmotnost, byla tato volba z finančních důvodů zamítnuta. Rám byl vyroben vhodnou kombinací trubek 40 x 1,5 mm a 50 x 1,5 mm. Za účelem maximalizování tuhosti karoserie byl bezpečnostní rám doplněn o další výztuhy spojující především místa uložení tlumičů a náprav. Ze stejného důvodu byly původní bodové svary doplněny lokálními tupými a koutovými svary v exponovaných místech uložení tlumičů a náprav. Takto zvýšená tuhost karoserie bude mít pozitivní vliv na jízdní dynamiku. Dále byla karoserie zbavena izolačních hmot, koberců, zadních sedadel a všeho nepotřebného, za účelem maximálního snížení hmotnosti karoserie.

Obrázek 4 Karoserie přestavovaného vozu [zdroj: archiv autora]

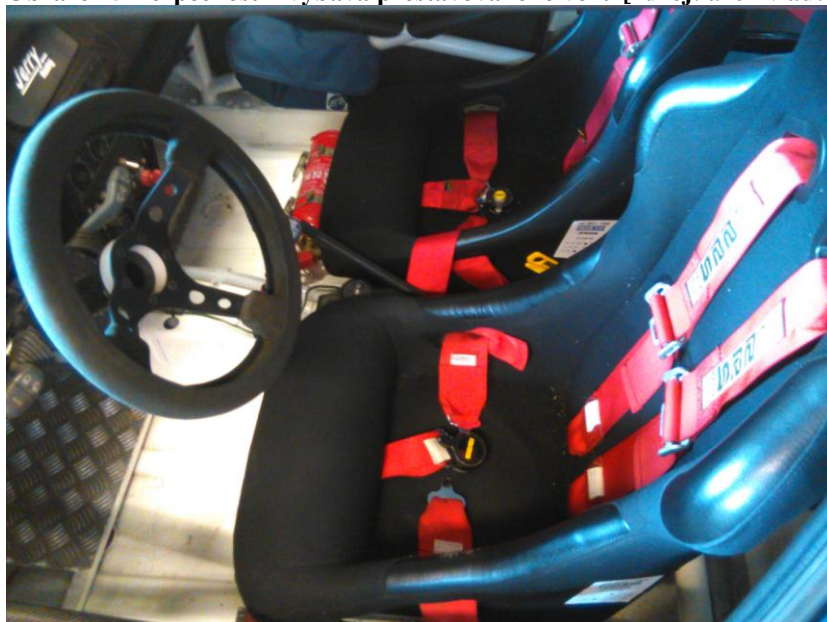


5.3 Bezpečnostní výbava

Dle předpisů pro ČMPR byla do vozu nainstalována jednodílná sedadla skořepinového typu, doplněna byla o šestibodové bezpečnostní pásy o šířce pásu 3 palce.

Interiér vozu byl vybaven dvoukilovým hasicím přístrojem a odpojovačem elektrického proudu pro případ nehody. Tento odpojovač je rovněž ovládaný i z venku vozidla.

Obrázek 5 Bezpečnostní výbava přestavovaného vozu [zdroj: archiv autora]



6 Podvozek

Pojmem podvozek je myšlena spodní část vozidla skládající se z těchto hlavních částí:

- zavěšení kol
- odpružení
- řízení
- brzdový systém
- kola s pneumatikami

6.1 Platná pravidla pro podvozkové části

Dle platných předpisů je přísně zakázáno měnit typ použité nápravy a základní kinematické schéma zavěšení kol musí být zachováno. Je povolena pouze změna úhlů geometrie zavěšení kol. Je povolena též výměna uložení pohyblivých částí nápravy (silentbloků a čepů) za silentbloky o vyšší elastokinematické pevnosti nebo uložení typu uniball.

Zesílení strukturních prvků zavěšení a jeho upevňovacích bodů je povoleno přidáním materiálu. Zesílení zavěšení nesmí vytvářet dutá tělesa ani umožňovat vzájemné spojení dvou různých dílů.

Dynamiku zavěšení kol pravidla neupravují a tlumiče pérování a pružiny jsou zcela libovolné.

Sériové brzdové válce, brzdy, brzdiče a kotouče lze nahradit sportovními nebo použít sériové z jiného typu vozu. Tyto musí být homologovány pro běžný provoz. Dále je možnost odpojení ABS. Jakékoli dodatečné úpravy jsou zakázány.

Lze použít jakékoliv disky kol předepsané výrobcem pro daný typ vozidla, nebo sportovní kola, která mohou být zvětšena max. o jeden palec na průměru a dva palce na šíři disku, ET se neřeší.

Pneumatiky musí svým rozměrem odpovídat použitému disku a musejí mít na $\frac{3}{4}$ běhounu pneumatiky lisovaný vzorek o hloubce min. 1,6 mm po celou dobu dané soutěže. [8]

6.2 Zavěšení kol

Pod pojmem zavěšení kol rozumíme způsob připojení kol k rámu nebo karoserii vozidla. Často používaný pojem „náprava“ není přesný, neboť náprava je tvořena několika

funkčními celky: zavěšení kola, uložení kola, odpružení kola, brzdou, řídicím nebo hnacím ústrojím.[3]

Zavěšení kola má dvě základní funkce. První funkce zavěšení umožňuje svislý pohyb kola vzhledem ke karoserii, který je potřebný pro propružení kola a zároveň eliminaci nežádoucích pohybů kola na přijatelnou hodnotu. Jde o tzv. vedení kola. Problematika popisující první funkci zavěšení se nazývá kinematika. Druhá funkce zavěšení kola zajišťuje přenos sil a momentů mezi kolem a karoserií. Jedná se o svislé síly (zatížení vozidla), podélné síly (hnačí a brzděné), příčné síly (odstředivé) a momenty podélných sil. Tuto část problematiky řeší dynamika zavěšení kola. Existují dva základní druhy zavěšení kol:

- závislé zavěšení (tuhá náprava)
- nezávislé zavěšení (ostatní druhy náprav)

Stejně jako v části pojednávající o karoserii i zde se požadavky tohoto celku pro využití na závodním voze liší od požadavků pro sériové vozidlo. Budeme-li hovořit o nápravách, pak od nich u sériového vozu očekáváme kromě zajištění dobrých jízdních vlastností i komfortní jízdu, příjemné řízení, vedení kola s pneumatikou takové, aby nedocházelo k přílišnému opotřebení pneumatiky a nadměrnému hluku, správnou funkci, jak pro prázdné, tak plně naložené vozidlo, ve všech povětrnostních podmínkách.

Požadavky na nápravy pro závodní vůz rally jsou především přesné vedení kola a tím zaručený optimální kontakt pneumatiky s vozovkou při velkém dynamickém zatížení a silné brzdy zvládající opakované intenzivní brzdění.

Z toho vyplývá potřeba úpravy. Zejména zesílení částí zavěšení, zaručení tužších elastokinematických vlastností uložení pohyblivých částí zavěšení, správné nastavení geometrie a výměna sériových tlumičů a pružin za speciální pružící jednotky určené pro rally.

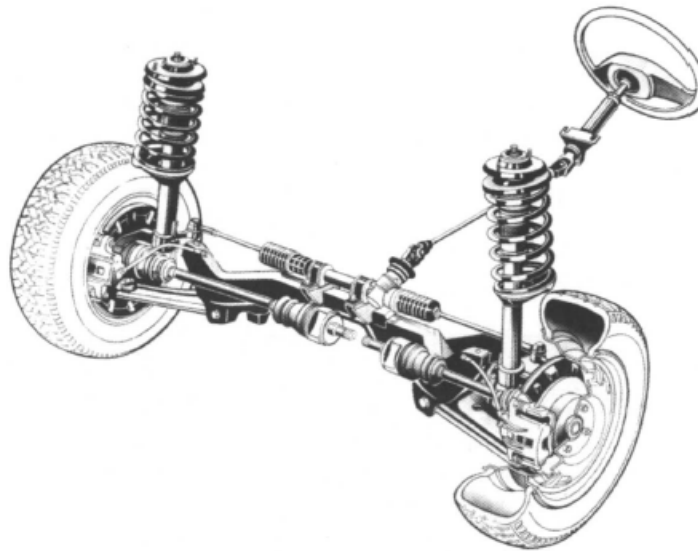
6.2.1 Přední náprava

U zvoleného přestavovaného vozu Škoda Felicia je přední náprava využita k řízení směru jízdy a zároveň pohonu vozidla. Použita je přední náprava typu Mc Pherson.

Náprava Mc Pherson, je odvozena z lichoběžníkové nápravy, u které je horní rameno nahrazeno posuvným vedením.[3] Vedení ve vzpěře je konstruováno jako hydraulický tlumič a vozidlová pružina je navinuta na vodící trubku tlumiče. Celá náprava je proto velice jednoduchá a spolehlivá. To jsou dobré předpoklady pro použití nápravy na závodním voze. Samotnou výměnou tlumiče s pružinou za speciální jednotky určené pro rally tak můžeme

změnit nejen dynamické vlastnosti, ale vhodnou volbou uložení tlumiče i kinematiku celé nápravy. Již tato úprava v kombinaci s použitím tužšího uložení obou ramen zajistí veliký progres v přesném ovládní vozu. Náprava je u dané varianty popisovaného vozu již v sériové variantě doplněna o zkrutný stabilizátor, který vozidlo stabilizuje proti příčnému naklápění.

Obrázek 6 Přední náprava Š. Felicia [2]



6.2.1.1 Provedené úpravy

V souladu s pravidly bylo základní kinematické schéma nápravy zachováno, spodní rameno bylo vyztuženo dodatečnými svary a opatřeno uložení o vyšší tvrdosti 80 Shore ze silonu, čímž došlo ke změně elastokinematických vlastností zavěšení. Další variantou uložení spodního ramene bylo použití uložení typu uniball (kluzného kuželového ložiska). Toto uložení nabízí sice velice tvrdé a přesné uložení, ale svou tvrdostí zároveň postrádá elasticitu a je náchylnější na deformaci. Vyžaduje častou kontrolu a údržbu. Z těchto důvodů nebylo zvoleno. Tlumiče a pružiny byly nahrazeny speciálními jednotkami určenými pro rally a umožňujícími změnu světlé výšky vozidla. Jelikož tlumiče byly opatřeny speciálním uchycením k náboji kola s možností nastavení úhlu odklonu kola, bylo nutné stávající náboj upravit a doplnit o adaptér uchycení tlumiče, jak je vidět na obr 7. Jako uložení tlumiče do karoserie vozu bylo použito ložisko typu uniball a opatřeno excentrickým pouzdem umožňujícím nastavení úhlu odklonu kola a úhlu záklonu rejdové osy. Po provedení úprav vznikla možnost nastavení geometrie kola pomocí třech úhlů: úhel odklonu kola, úhel záklonu rejdové osy a úhel sbíhavosti vozu. Geometrie přední nápravy se nastavuje specificky na každou soutěž rally podle povětrnostních podmínek, stavu tratí rychlostních zkoušek,

použitých pneumatik a subjektivního pocitu jezdce. Rozchod přední nápravy byl rozšířen pomocí 15mm tlustých podložek vložených pod disky kol.

Obrázek 7 Uchycení závodního předního tlumiče [zdroj: archiv autora]



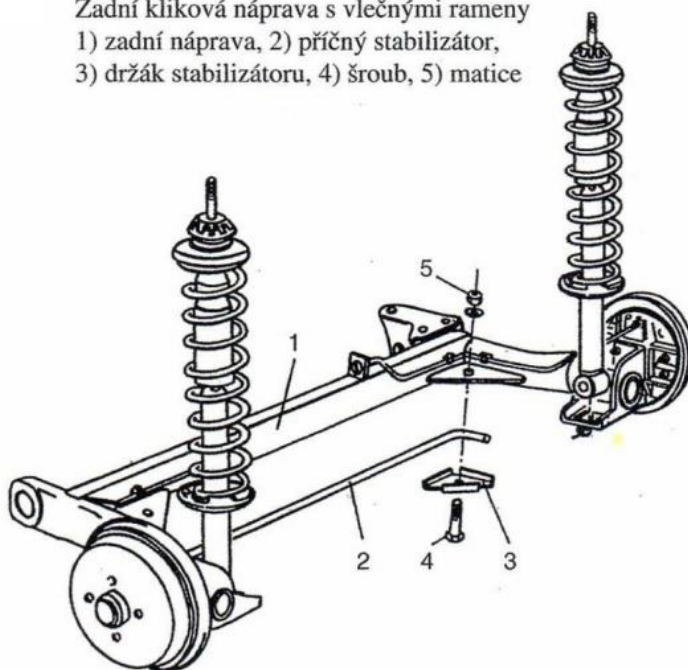
6.2.2 Zadní náprava

Vůz Škoda Felicia je osazen zadní klikovou nápravou s torzním propojovacím prvkem. Tato kliková náprava má dvě vlečná ramena z trubky kruhového průřezu, ramena jsou spojena ohybově tuhou, avšak torzně poddajnou příčkou profilu ležatého U, která působí jako stabilizátor příčného naklápění.[3] Přední konce vlečných ramen jsou osazeny zalisovanými pružnými lůžky s otočnými čepy a lisovanými držáky sloužícími k upevnění do karoserie. Náprava je doplněna o zkrutný stabilizátor.

Z pohledu úpravy nápravy pro rallyový speciál se jedná především o vyztužení vlečných ramen a domků uložení tlumičů a náhradu sériových tlumičů a pružin za speciální jednotky určené pro rally. U probírané nápravy je častou úpravou zdvojení zkrutného stabilizátoru nebo samotná úprava torzní příčky za účelem změny příčné dynamiky vozu.

Obrázek 8 Zadní náprava Š. Felicia [3]

Zadní kliková náprava s vlečnými rameny
1) zadní náprava, 2) příčný stabilizátor,
3) držák stabilizátoru, 4) šroub, 5) matice



6.2.2.1 Provedené úpravy

Na přestavovaném voze byla zadní náprava vyztužena přidáním materiálu v oblasti spojení vlečných ramen a torzní příčky. Byl odstraněn stabilizátor a výsledná stabilizace náklonu vozu byla provedena změnou profilu torzní příčky z tvaru U přidáním příčné pásové výztuhy na profil připomínající písmeno E. Rozchod nápravy byl zvětšen pomocí přidávaných podložek o tloušťce 20 mm pod šroubované náboje kol. Takto provedené rozšíření má velice dobrý vliv na celkovou stabilitu vozu a zároveň nezvyšuje rotační hmotu nápravy, což je výhoda oproti klasickým rozšiřovacím podložkám vkládaným se pod disk kola. Při zde zvoleném způsobu rozšíření dojde pouze k navýšení neodpružené hmoty vozidla, jakožto u každého dodatečného zpevnování náprav pomocí svarů či výztuh. Logickou a zcela správnou úvahou je, že by měla být snaha neodpružené hmoty snižovat tak, aby došlo ke zlepšení jízdních vlastností vozu. V daném případě však výhody plynoucí z provedených úprav převažují nad snahou o snížení neodpružených hmot.

6.3 Brzdy

Již z názvu celku vyplývá jeho funkce. Tou je zpomalení či zastavení pohybujícího se vozu nebo zajištění již stojícího vozidla. Brzdové zařízení tvoří všechny brzdové soustavy montované na vozidlo. Brzdění vozidla se dosahuje zpravidla záměrně vyvolaným třením

mezi rotujícími a pevnými částmi brzd vozidla. Tím dochází v třecích částech brzd k přeměně pohybové energie na energii tepelnou. [3] Jedná-li se o brzdovou soustavu osobních vozidel, jsou provozní brzdy tvořeny výhradně hydraulickým systémem sestávajícím z více hydraulických okruhů. Třecí síla na brzdné elementy je vyvolána hydraulickým převodem od silového působí řidiče na brzdový pedál. Dle konstrukce třecích brzd se tyto dělí na dva základní typy: bubnovou brzdu a kotoučovou brzdu. V dnešní době převažuje používání kotoučové brzdy především na předních nápravách. Důvody používání kotoučové brzdy jsou:

- vysoká účinnost
- jednoduchá a spolehlivá konstrukce
- dobrý odvod vzniklého tepla
- rychlá montáž a demontáž

Všechny výše popsané důvody jsou zároveň hlavními požadavky na brzdy závodního vozu. Proto jsou na závodních vozech používány výhradně kotoučové brzdy. Kotoučová brzda použitá na závodním voze je stejného principu a charakteru jako brzda sériová, liší se pouze velikost brzdných elementů, hydraulický převod a používané materiály třecích částí brzdy. Zatímco brzdový kotouč sériových brzd bývá z šedé litiny, pro brzdy závodní se hojně využívá keramika a kompozitní materiály. Potřeba použití těchto materiálu vzniká z důvodu vytváření velkých teplot při opakovaném a prudkém brzdění, jakému je závodní speciál na trati rychlostní zkoušky vystaven.

6.3.1 Provedené úpravy

Vůz popisovaný v této přestavbě byl sériově osazen vpředu kotoučovými brzdami s nechlazenými kotouči o průměru 236 mm. Tyto brzdy byly nahrazeny za sériové brzdy z jiného vozu. Konkrétně za kombinaci brzdových kotoučů z vozu Mazda 323 a brzdových destiček a brzdíčů z vozu Ford Fiesta. Náhrada přinesla vnitřně chlazený kotouč o průměru 256 mm. Materiál kotouče sice zůstal nezměněn, ale jeho větší průměr a s tím spojená větší třecí plocha v kombinaci s vnitřním chlazením kotouče obtékaným vzduchem, měla za následek zvýšení brzdného účinku a nepřehřívání brzd v závodním nasazení. Další možností výměny bylo použití brzdových kotoučů a brzdových destiček speciálně vyvinutých pro sportovní a závodní použití z výše uvedených materiálů. Tato varianta nebyla provedena z důvodu finanční náročnosti a nutnosti udržování těchto speciálních brzd na minimální provozní teplotě, aby bylo dosaženo optimálního brzdného účinku.

Zadní sériové bubnové brzdy byly nahrazeny zadními kotoučovými brzdami z vozu VW Golf III. Veškeré provedené změny jsou v souladu s platnými pravidly, jelikož nedošlo ke změně uchycení brzd a nově použité brzdy byly schváleny pro silniční provoz.

6.4 Kola a pneumatiky

Kolo s pneumatikou je spojovacím článkem mezi vozidlem a vozovkou. Vozidlová kola nesou hmotnost vozidla a nákladu, přenášejí hnací a brzdící momenty a boční síly. Dále jsou důležitým činitelem v pružící soustavě vozidla z hlediska zvětšení jízdního pohodlí a bezpečnosti jízdy.[3] I zde se potřeby sériové pneumatiky a kola v určitých bodech rozcházejí od potřeb pro závodní využití. Vozidlová kola se skládají ze dvou částí: disku kola a pneumatiky. Požadavky na disk kola pro použití na závodním voze jsou především vysoká pevnost a tuhost při minimální hmotnosti. Z toho důvodu jsou tyto disky kol vyráběny z lehkých slitin, jako je hliník a hořčík.

Požadavky na závodní pneumatiku jsou především výborná adheze a tuhá konstrukce, aby nedocházelo k deformaci pneumatiky při průjezdech zatáčkou, přejezdu nerovností a prudkém brzdění. Aby pneumatika vyhověla těmto požadavkům, používají se speciální typy pneumatik - vždy na daný typ povrchu vozovky trati rychlostní zkoušky, při dané teplotě a povětrnostních podmínkách. To je jeden ze dvou základních rozdílů oproti sériové pneumatice, kde je základní dělení pouze na letní a zimní (popř. univerzální). Druhým základním rozdílem je životnost pneumatiky. Zatímco u sériové pneumatiky se jedná o desetitisíce kilometrů, pneumatika pro rally je konstruována na životnost kdy dosahuje maximálního výkonu pouze v řádech desítek kilometrů. Typy pneumatik používaných na asfaltových soutěžích rally se dělí na dva základní typy: suché a mokré. Z názvu je patrné, že suchá pneumatika se používá, je-li povrch tratě suchý. Tento typ se dále dělí podle směsi pryže použité na běhounu pneumatiky na měkký, střední a tvrdý. Tyto směsi jsou voleny dle teploty povrchu tratě. Obdobné dělení je i u druhé varianty a to mokréch pneumatik, které se používají na mokrý povrch tratě.

6.4.1 Použití na přestavovaném voze

Na popisovaném voze bylo použito hliníkových disků kol o velikosti 14 palců a šířce 6 palců. Všechny použité pneumatiky na voze jsou o šířce 1 650 mm a výšce 560 mm. K vozu jsou připraveny 4 sady pneumatik. Sada suchých pneumatik střední tvrdosti směsi, sada suchých pneumatik o tvrdé směsi, sada suchých pneumatik o měkké směsi a jedna sada

mokrých pneumatik, tedy varianta na deštivé podmínky. Jak již bylo dříve popsáno, životnost těchto pneumatik je velmi malá, proto dochází k neustálému obměňování pneumatik připravených k použití. Běžnou praxí na závodech rally je použití všech dostupných sad a jejich vzájemná kombinace v průběhu jednoho závodu.

7 Motor

Motor vozu tvoří jednu polovinu celku zvaného hnací soustava, druhou polovinou je převodové a rozvodové ústrojí vozu.

V dnešní době se v osobních vozech využívají v podstatě jen čtyřdobé spalovací motory, využívající systém vnitřního spalování s přímočarým vratným pohybem pístu klikového mechanismu. Nebudu-li uvažovat rozvíjející se elektromotory pro pohon automobilu (pro rally nepoužitelné z důvodu malé kapacity akumulátorů), je základním dělením dnes používaných spalovacích motorů dělení na zážehové a vznětové motory. Tyto dva typy motorů se liší používaným palivem a způsobem zapálení směsi ve válci. Zážehový motor používá jako palivo primárně benzín a vzniklá směs se vzduchem je ve válci zažehnuta cizím zdrojem, zapalovací svíčkou vyvolávající elektrickou jiskru. Motor vznětový používá jako palivo motorovou naftu, směs je zažehnuta kompresním teplem vyvolaným stlačením nasátého vzduchu a vstříknutím paliva pod vysokým tlakem do válce, jedná se tedy o samovznícení směsi. Oba tyto typy motorů mohou být doplněny o přeplňování, tedy plnění válce pomocí předem stlačeného vzduchu, což má za následek vyšší množství směsi ve válci a z toho plynoucí nárůst účinnosti motoru.

Od spalovacích motorů se u sériových vozů očekává především:

- dostatečný výkon a průběh výkonu umožňující provoz vozidla ve všech jízdních režimech
- široké pásmo využitelných otáček
- dlouhou životnost
- tichý a kultivovaný chod motoru
- šetrnost k životnímu prostředí a z tím spojené minimální emise
- minimální spotřebu paliva

Požadavky na spalovací motor u závodního vozu vycházejí z potřeby dosažení co nejlepšího času na trati rychlostní zkoušky, čemuž motor přispívá svým maximálním možným výkonem a optimálním průběhem točivého momentu. Aby těchto parametrů bylo dosaženo,

požadavky na tichý, ekonomický a ekologický provoz jsou takřka eliminovány a požadavek na životnost je značně omezen již předem danou nebo následně stanovenou hodnotou životnosti pohybující se v hodnotách tisíce kilometrů.

Úpravy sériových spalovacích motorů pro závodní účely jsou velmi rozmanité, ale v zásadě je snaha provádět úpravy, které vedou ke zlepšení plnění válce směsí o správné koncentraci, jejím zapálením ve správném načasování a následném rychlém odvodu spalin z prostoru válce tak, aby bylo dosaženo maximálního možného výkonu motoru. Se zvýšením výkonu motoru vzniká potřeba úpravy motorových částí tak, aby vzniklý výkon a s tím spojený točivý moment byly schopné přenést až k druhé polovině hnací soustavy.

Základními výstupními parametry každého spalovacího motoru jsou výkon označovaný P a udávaný v kW a točivý moment M udávaný v Nm. Vztah mezi těmito veličinami je:

$P = M \cdot \omega$ kde ω je úhlová rychlost udávaná v rad/s.

7.1 Platné předpisy

Z hlediska platných předpisů je zařazení vozu do jednotlivých soutěžních tříd rozděleno podle obsahu motoru:

- A1 do 1 400 ccm³
- A2 od 1 401 ccm³ do 1 600 ccm³
- A3 od 1 601 ccm³ do 2 000 ccm³
- A4 nad 2 000 ccm³ (pohon obou náprav- 4WD)
- A5 nad 2 000 ccm³ (pohon jedné nápravy - 2WD)
- A6 diesellové motory (bez rozdílu objemu do 2 000 ccm³)

Typ motoru musí být stejný, jaký byl homologován v sériovém voze včetně případného přeplňování. Je možná záměna vstřikování paliva za jiný typ či karburátor. Ostatní části motoru nejsou řešeny zásadním omezením (hlava válců, ventily, zapalovací soustava vč. řídicí jednotky motoru, vačkové hřídele včetně rozvodového mechanismu, sací a výfukové potrubí, mezichladič stlačeného vzduchu, atd.) [8]

7.2 Provedené úpravy

Přestavovaný vůz je osazen čtyřválcovým motorem o obsahu 1 598 ccm³, osmi ventilovou hlavou s rozvodem časování typu OHC a čtyřbodovým vstřikováním typu MPi.

Sériový motor disponuje výkonem 55 kW při 4500 ot/min a točivým momentem 135 Nm při 3500 ot/min. Klikový mechanismus motoru zůstal nezměněn a hlavní úpravou prošla hlava motoru. Sací i výfukové kanály byly rozšířeny a vyleštěny. Jejich ústí bylo slícováno s přírubou sacího, respektive výfukového potrubí, tím došlo ke snížení třecích a místních ztrát proudění v daném potrubí čímž bylo zajištěno snadnější plnění válce směsí a snadnější odvod spalin z válce do výfukového potrubí. Za účelem lepšího naplnění válce směsí byly talířky ventilů zeslabeny a vyleštěny. Vačková hřídel použitá v sériovém voze z časováním 220°/210° byla nahrazena vačkovou hřídelí s časováním 266°/266° díky čemuž ventily zůstávají déle otevřeny a umožňují tím delší plnění válce směsí. Nasávání vzduchu bylo realizováno z otvoru v předním nárazníku, aby byl zajištěn dostatečný přívod studeného vzduchu do motoru. Výfukové svody byly vyrobeny z ocelových tenkostěnných trubek v provedení 4 do 1, na které navazovalo výfukové potrubí o průměru 50 mm, které bylo za zadní nápravou doplněno průchozím tlumičem hluku. Řídicí jednotka motoru byla upravena tak, aby nastavené mapy, řídicí množství vstříkovaného paliva a předstih zápalu zajišťovaly maximální dosažitelný výkon a točivý moment. Další možností úpravy bylo použití dvojice dvojitých karburátorů, které by za daných ostatních úprav konkrétního motoru s největší pravděpodobností zajistily vyšší výkon motoru. Ale z důvodů složitějšího seřizování a malé spolehlivosti bylo od této varianty ustoupeno. V motoru byl použit olej o specifikaci 10W-60 oproti sériově doporučené specifikaci polosyntetického oleje 10W-40. Volba oleje o větším teplotním rozsahu ve směru maximální teploty zajišťuje motoru menší třecí ztráty a tím i větší výkon použitelný k pohonu vozidla. Celé hnací ústrojí bylo ze spodu vozidla opatřeno ochranou ližinou zabraňující poškození od nástrah vozovky.

7.3 Měření vnější charakteristiky motoru

Aby bylo možné zhodnotit navýšení výkonu a točivého momentu motoru a zároveň zhodnotit jeho průběh v závislosti na otáčkách, bylo provedeno měření vnější rychlostní charakteristiky motoru daného vozidla. Pro měření mechanického výkonu se ve zkušebnictví vozidel používají výkonové brzdy. Označení brzda je v tomto případě odvozeno z toho, že proti točivému (neznámému) momentu působí brzdný moment, jehož velikost bud známe, nebo můžeme měřit.[4] V případě již zastavěného motoru ve vozidle se používá vozová válcová brzda, kdy měřený točivý moment je přenášen od kol vozidla na válce spojené s dynamometrem.

Měření vnější rychlostní charakteristiky proběhlo s využitím válcové brzdy MAHA MSR 500 laboratoří Ústavu automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel na Julisce.

Brzda je jednohřídelové koncepce pohonu náprav a umožňuje zkoušet vozidla s oběma poháněnými nápravami. Maximální zatížení na dvojici válců je 2500 kg, limit pro rychlost vozidla je 300 km/h. Maximální rychlost sledované (nepoháněné) nápravy je přibližně 200 km/h. Pro automobily s pohonem obou náprav je zařízení vybaveno systémem posuvu zadních válců to v rozsahu rozvoru 2200 až 3200 mm. Největší trakční síla dosažitelná na válcích průměru 504 mm je na každé dvojici válců rovna 7000 N.

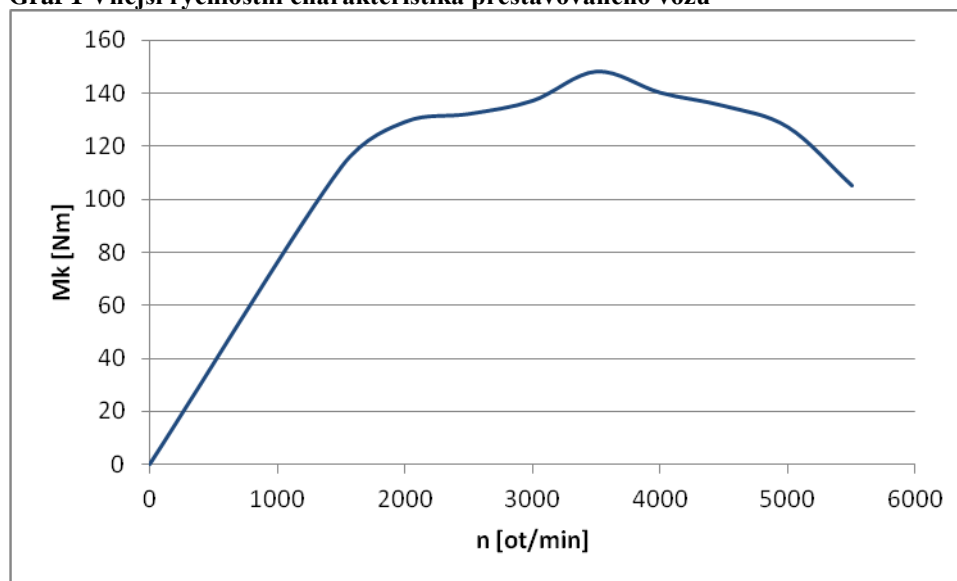
Obrázek 9 Měření výkonu přestavovaného vozu [zdroj: archiv autora]



Výstupem ze dvou provedených měření jsou protokoly obsahující naměřená data v podobě změřeného točivého momentu a diagram vnější rychlostní charakteristiky upravovaného motoru osazeného v přestavěném závodním speciálu. Jelikož se jedná o laboratorní měření, jsou v protokolu uvedeny podmínky, za nichž bylo měření provedeno, jako teplota a tlak prostředí, teplota nasávaného vzduchu, teplota chladicí kapaliny. Z měření vyplývá, že maximální výkon po úpravě motoru je 73,7 kW při 5175ot/min. Točivý moment po úpravě motoru je 152,1 Nm při 3785ot/min.

Naměřené hodnoty byly korigovány podle normy ISO 1585.

Graf 1 Vnější rychlostní charakteristika přestavovaného vozu



Výkon motoru byl úpravou navýšen o 18,7 kW oproti výrobcem stanovené hodnotě, což je navýšení o 34%

Točivý moment byl úpravou navýšen o 18,1 Nm oproti výrobcem stanovené hodnotě, což je navýšení o 13,4 %

Tato vnější rychlostní charakteristika byla použita, jako vstupní údaj pro následující část této práce.

8 Převodové ústrojí

Převodová ústrojí motorového vozidla jsou tvořena všemi ústrojími, která spojují motor s hnacími koly vozidla a uskutečňují tím přenos točivého momentu, jeho přerušování, změnu velikosti nebo směru. Spalovací motor s převodovým ústrojím dohromady tvoří hnací ústrojí motorového vozidla.

Je nutné rozlišovat mezi měničem otáček, který je tvořen spojku a měničem momentu. Měnič momentu se dělí na dvě základní části a to na měnič s proměnlivým převodem, který je tvořen převodovkou a na měnič se stálým převodem, který sestává z rozvodovky resp. pohonu nápravy.[4] U koncepcí vozu s motorem vpředu a pohonem předních kol jsou oba momentové měniče součástí jednoho montážního celku, převodové skříně. Součástí rozvodovky je i diferenciál rozdělující točivý moment na jednotlivá kola hnací nápravy. K převodovým ústrojím dále patří ústrojí určené ke stálému přenosu točivého momentu, kterými jsou spojovací a kloubové hřídele. U pohonu vozidla spalovacím motorem je převodové ústrojí nezbytné, jelikož spalovací motor není schopen pracovat v nulových

otáčkách a jeho pracovní rozsah otáček je značně omezen. Hlavními úkoly převodového ústrojí proto jsou:

- otáčkové a momentové přizpůsobení režimu motoru s režimem vozidla
- rozjezd z nulové rychlosti
- změna smyslu převodového poměru- jízda vpřed a vzad
- přenos výkonu z motoru na kola vozu
- možnost rozpojení motoru a vozidla- řazení neutrálu

Hlavní částí převodového ústrojí plnící tyto funkce je převodovka. Ta má za úkol skloubit parametry hnacího motoru s odporovými silami vozidla [11] tedy umožnit změnu převodu mezi motorem a hnacími koly tak, aby motor pracoval v režimu pracovních otáček bez ohledu na jízdní režim vozu.

Převodovky se dle své konstrukce a systému řazení jednotlivých rychlostních stupňů dělí na mnoho typů. Pro použití ve voze pro automobilové soutěže v rally se jedná především o manuálně řazenou mechanickou převodovku, kdy je využito buďto přímého řazení rychlostních stupňů, nebo nepřímého řazení rychlostních stupňů pomocí ovládacího ústrojí (elektrické či hydraulické). Hlavní úkoly převodovky pro rallyový speciál zůstávají totožné s výše uvedenými, mění se pouze potřeba odstupňování jednotlivých rychlostních stupňů. U sériového vozu očekáváme od odstupňování a konstrukce převodovky tyto hlavní parametry:

- bezproblémové rozjetí vozu z klidu za všech možných situací
- práce motoru v optimálních otáčkách z hlediska hluku a spotřeby v běžně dosahovaných rychlostech v obcích, mimo obce a na dálnici
- tichý chod převodovky
- snadné řazení rychlostních stupňů
- dlouhou životnost

U převodovky použité v závodním voze naopak očekáváme zejména:

- práce motoru v otáčkách nejvyššího výkonu v pásmu stanovené rychlosti
- rychlé řazení rychlostních stupňů

Z těchto požadavků plyne, že hlavní úpravou sériové převodovky pro použití v soutěžním voze je změna kinematického schématu, tedy změna jednotlivých převodových poměrů rychlostních stupňů. Součástí úpravy převodového ústrojí pro rallyové použití je i změna

stálého převodu rozvodovky, výměna sériového diferenciálu za diferenciál se sníženou účinností tzv. samosvorný diferenciál. Do celkového převodového poměru promlouvá i velikost použitých kol na hnací nápravě.

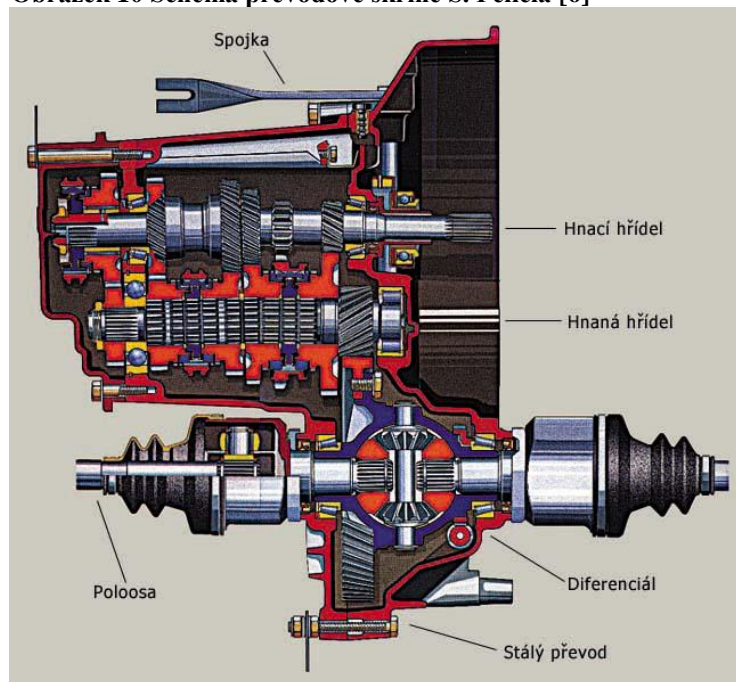
8.1 Platná pravidla

Převodovka, rozvodovka, hnací hřídele a poloosy mohou být libovolné. Hnaná náprava vozidla musí být zachována dle TP. Přestavba vozidel s pohonem jedné nápravy na 4x4 nebo naopak není povolena. [8]

8.2 Výchozí převodovka pro úpravu

Na vozidle škoda Felicia 1,6 LXI popisovaném v přestavbě vozu na závodní speciál je v sériovém provedení použita pěti stupňová synchronní manuálně řazená převodovka sdílející společnou skříň s rozvodovkou a diferenciálem. Převodovka je konstrukčně provedena jako dvouhřídelová se staticky určitě uloženými hřídeli.

Obrázek 10 Schéma převodové skříně Š. Felicia [6]



Převodové poměry jsou:

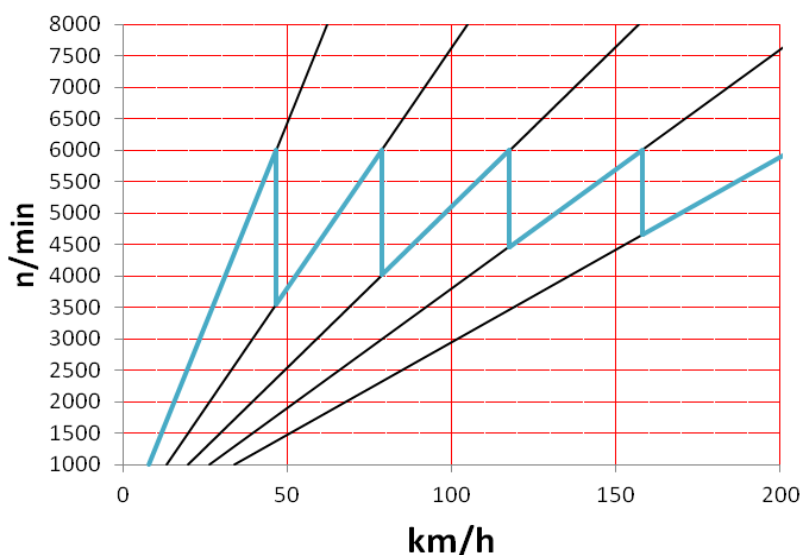
Tabulka 1 Převodové poměry sériové převodovky Š. Felicia [1]

	Převodový poměr
1. rychlostní stupeň	3,308
2. rychlostní stupeň	1,913
3. rychlostní stupeň	1,267
4. rychlostní stupeň	0,926
5. rychlostní stupeň	0,717
Zpětný chod	2,924
Stálý převod	3,833

Pro zobrazení převodových poměrů jednotlivých rychlostních stupňů se využívá kinematické schéma. Toto schéma znázorňuje závislost rychlosti vozu na otáčkách motoru pro každý rychlostní stupeň. Z faktu, že každý převod je tvořen soukolím ozubených kol vyplývá, že výsledná závislost bude lineární. Když kinematickou charakteristiku ze shora omezíme zvolenými otáčkami pro přeřazení, získáváme celkový obraz o kinematické vazbě mezi jízdou na všechny rychlostní stupně a otáčkami motoru. Tato kinematická charakteristika je nazývána pilový diagram.

Vytvořené kinematické schéma pro sériovou převodovku vozu škoda Felicia 1,6 LXI

Graf 2 Kinematické schéma sériové převodovky Š. Felicia



Další základní charakteristikou pro návrh, vizualizaci a případné porovnání je hnací charakteristika vozu. Tato charakteristika udává závislost hnací síly na kolech vozu a rychlosti

vozu. Z charakteristiky je zřejmá hyperbola ideální hnací síly, které se dotýká vnější momentová charakteristika přepočítaná celkovým převodovým poměrem každého rychlostního stupně.

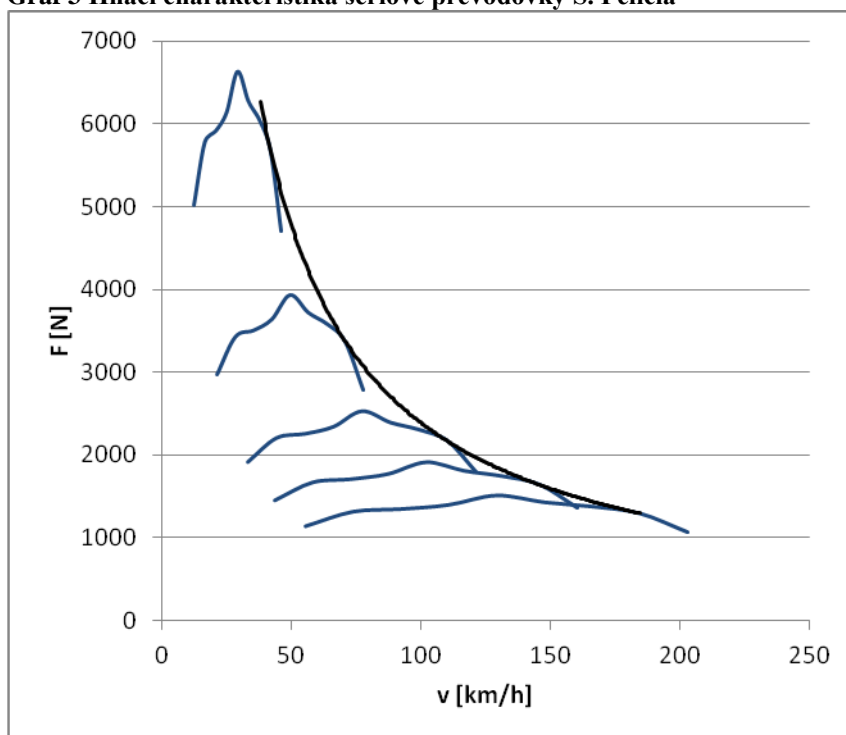
Vzorce použité pro vytvoření hnací charakteristiky:

$$F_k = \frac{M_m \times i_{sp} \times i_i}{r_d}$$

$$v_i = \frac{2\pi \times r_d \times n_m}{i_{sp} \times i_i}$$

Vytvořená hnací charakteristika pro sériovou převodovku vozu škoda Felicia 1,6 LXI

Graf 3 Hnací charakteristika sériové převodovky Š. Felicia



8.3 Návrh odstupňování převodovky

Odstupňování bylo navrženo podle předem stanovených kritérií a omezení.

Kritériem pro návrh bylo stanovení maximální požadované rychlosti vozu okolo hodnoty 150 Km/h. Omezením při návrhu odstupňování byla možnost změny převodového poměru pouze 3. až 5. rychlostního stupně. Toto omezení je dáno finančními důvody, a proto je změna převodů možná pouze výměnou soukolí daného rychlostního stupně za jiné soukolí z převodovky stejného typu avšak jiných převodových poměrů. Hlavní podmínkou záměny soukolí je stejná osová vzdálenost hřídelí převodovky a stejné nebo upravitelné důležité

rozměry soukolí. 1. a 2. rychlostní stupeň není možné takto zaměnit, jelikož vstupní kola těchto převodů jsou součástí vstupní hřídele převodovky.

Vzhledem k této skutečnosti byla před samotným návrhem odstupňování provedena studie použitelných převodů a jejich převodových poměrů. Dostupné převody jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 2 Převodové poměry použitelných soukolí [7]

	Výchozí převodovka		
	Typ FJQ	Typ EMJ	Sportovní Sixta
3. rychlostní stupeň	1,31	1,357	1,61
4. rychlostní stupeň	0,975	1,053	1,41
5. rychlostní stupeň	0,756	0,857	1,23

Další možností změny převodových poměrů je použití sériových převodů z původní převodovky a jejich použití pro vyšší rychlostní stupeň, nebo záměna jejich vstupních a výstupních kol, pokud to konstrukce dovolí. Prohozením vstupních a výstupních kol daného převodu dojde ke změně převodového poměru, jelikož převodový poměr soukolí je dán poměrem počtu zubů výstupního kola z_2 a počtu zubů vstupního kola z_1 .

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

Pro změnu celkového převodového poměru lze využít i výměnu stálého převodu rozvodovky, v tomto případě lze využít stálé převody s jejich převodovými poměry uvedenými v následující tabulce:

Tabulka 3 Převodové poměry použitelných stálých převodů [1]

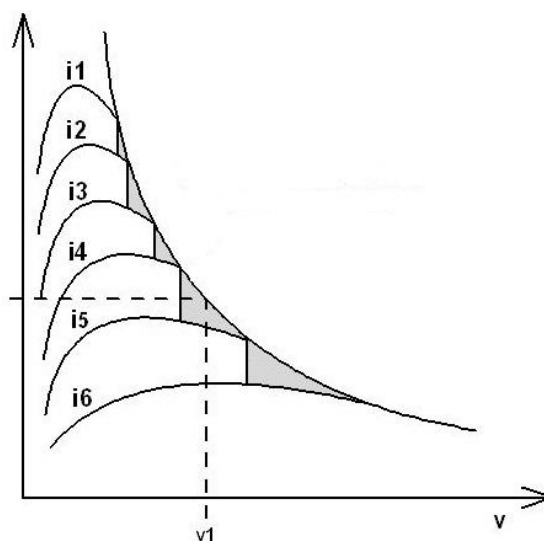
Převodové poměry použitelných stálých převodů		
3,576	3,833	4,11

Pro porovnání jednotlivých převodových poměrů a lepší orientaci v problematice návrhu odstupňování převodovky pro rally uvádím odstupňování závodní homologované převodovky pro vůz škoda Felicia.

Tabulka 4 Převodové poměry homologovaných závodních převodů [2]

	Převodový poměr		
1. rychlostní stupeň	3,0		
2. rychlostní stupeň	2,222		
3. rychlostní stupeň	1,714		
4. rychlostní stupeň	1,375		
5. rychlostní stupeň	1,148		
Stálý převod	3,8	4,16	4,5

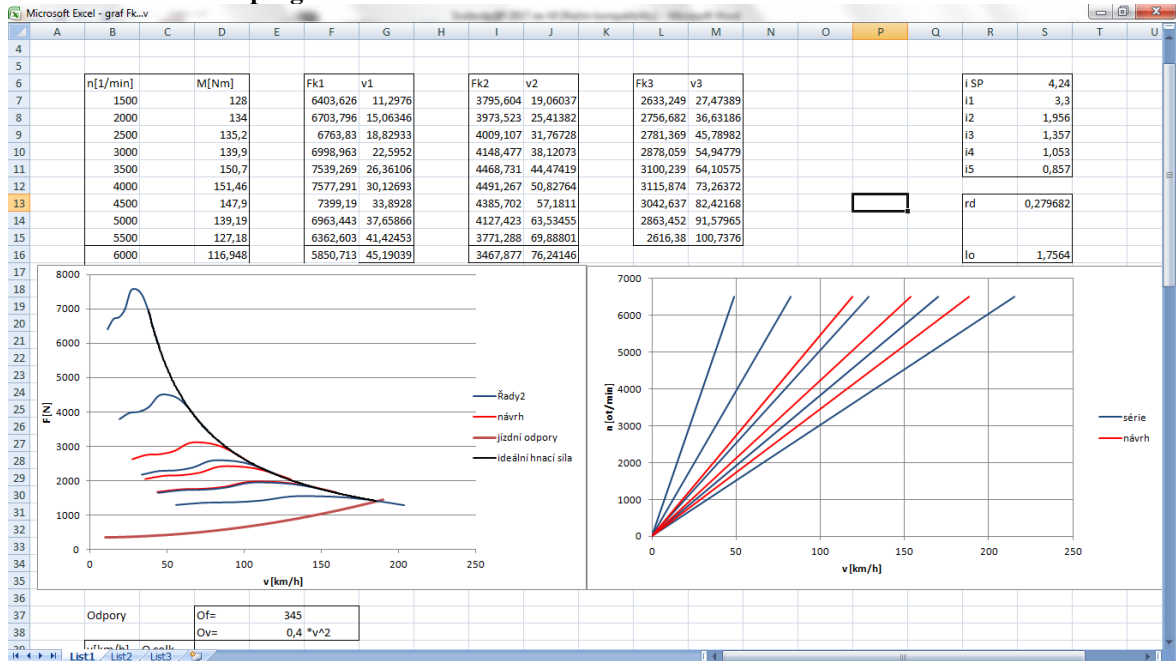
Principem v navrhování odstupňování převodovky, je snaha v daném rozsahu stanovené rychlosti využít maximum možné hnací síly na kolech vozu a tedy navrhnout odstupňování tak, aby křivky momentových charakteristik jednotlivých rychlostních stupňů co nejlépe přiléhaly k hyperbole ideální hnací síly na kolech vyobrazených v hnací charakteristice vozidla

Obrázek 11 Obecná hnací charakteristika [9]

Z obrázku je patrné, že jde o snahu minimalizovat obrazce, které vznikají mezi křivkou ideální hnací síly a momentovou charakteristikou rychlostních stupňů. Zároveň je nutné navrhnout kinematické schéma tak, aby otáčky motoru při přeřazení zůstali v pásmu optimálních otáček pro motor vozidla.

Za tímto účelem byly vytvořeny skripty v systému excel 2007. V nich pak bylo možné vykreslovat potřebné charakteristiky pro návrh odstupňování dle zadaných parametrů a jejich vzájemné porovnání se sériovými charakteristikami. Vykreslovaná hnací charakteristika byla doplněna o křivku jízdních odporů.

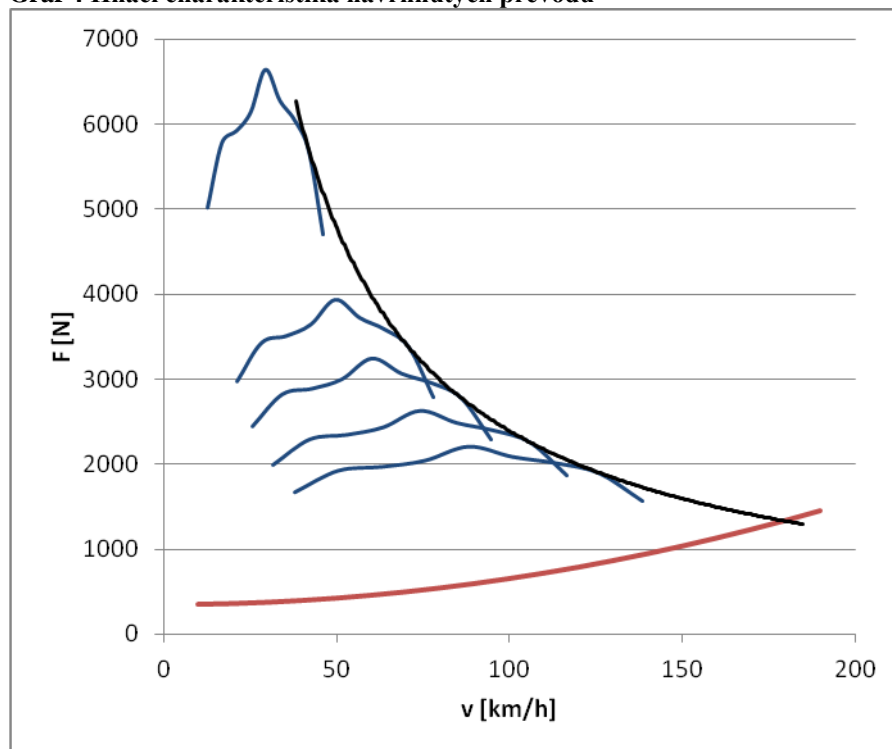
Obrázek 12 Screen z programu Excel 2007



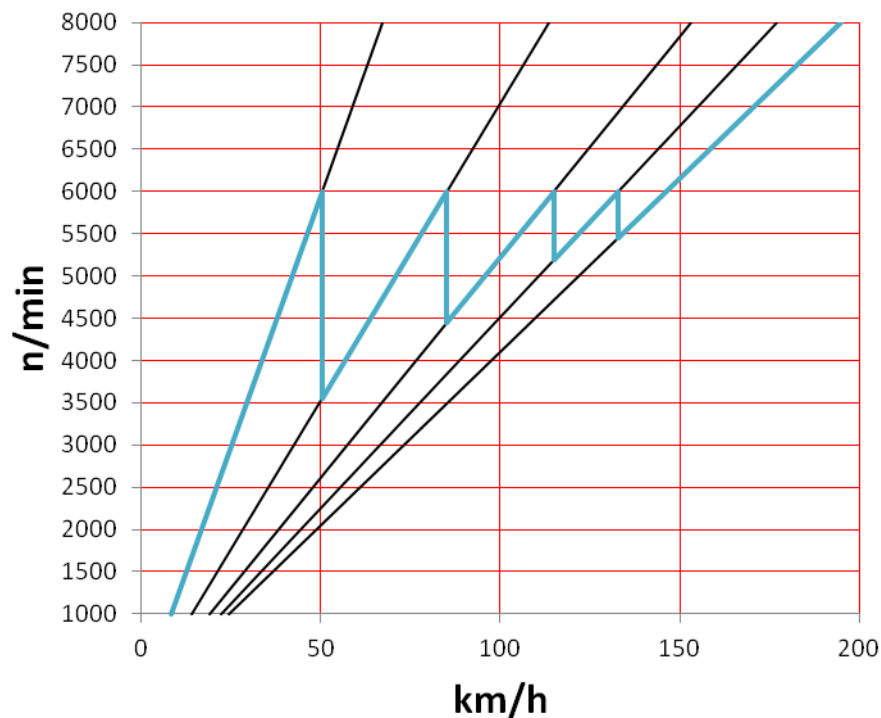
8.3.1 Výsledky návrhu

Dle zadaných parametrů bylo navrženo odstupňování pro převodovku závodního vozu škoda Felicia 1,6 určeného pro rally.

Graf 4 Hnací charakteristika navržených převodů



Graf 5 Kinematické schéma navrhnutých převodů

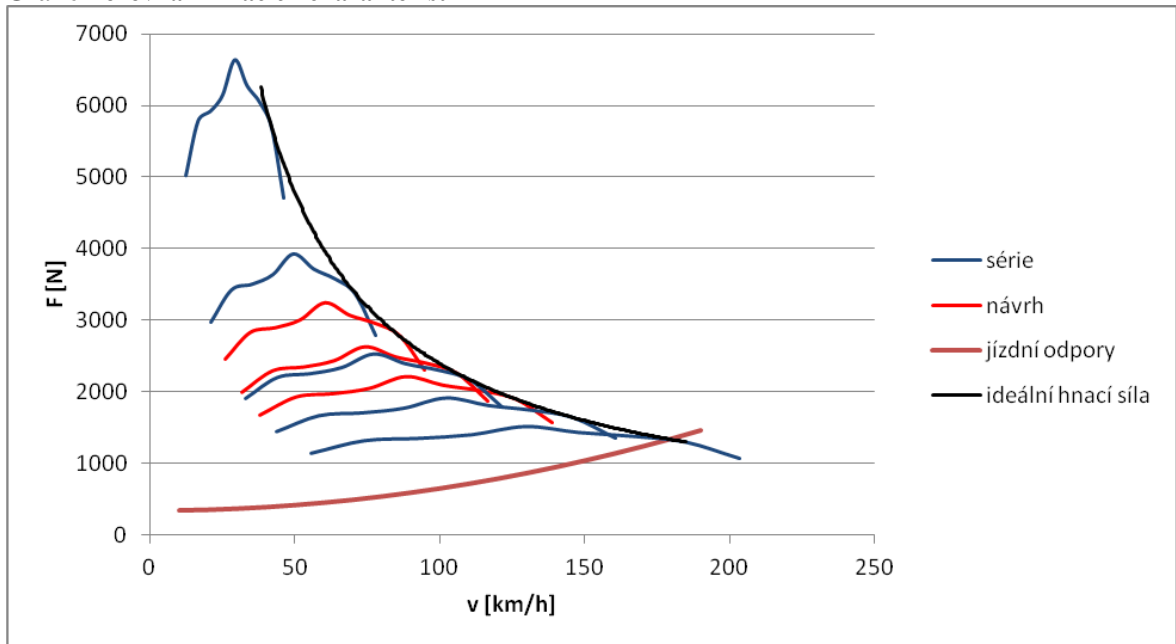


Pilový diagram ukazuje, že navržené odstupňování je progresivní. V případě omezovače otáček motoru na hodnotě 6000 ot/min je zřejmé, že vozidlo dosáhne maximální rychlosti 148 km/h. V této konfiguraci odstupňování je maximální rychlost vozidla omezena maximálními otáčkami motoru.

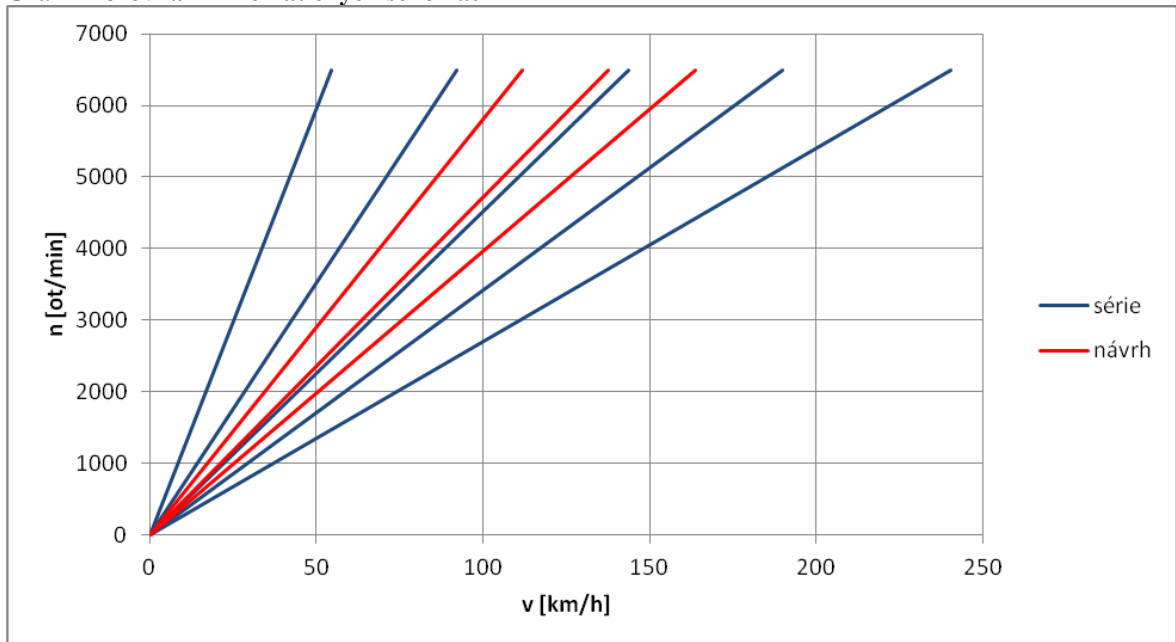
Jinou variantou dosažení maximální rychlosti je vyrovnání hnací síly na kolech na nejvyšší rychlostní stupeň s hodnotou celkového jízdního odporu. Tedy stav, kdy je veškerá dostupná hnací síla použita na překonání jízdních odporů a vozidlo nemůže dále zrychlovat. Tuto skutečnost lze vyčíst z hnací charakteristiky jako průsečík křivky jízdních odporů a křivky tažné síly na jednotlivém převodovém stupni.

Porovnání navržených převodových poměrů s odstupňováním sériové převodovky

Graf 6 Porovnání hnacích charakteristik



Graf 7 Porovnání kinematických schémat



Z porovnání sériového odstupňování s odstupňováním navrženým v obou vykreslených charakteristikách vidíme, že navržená převodovka je oproti sériové koncipována „do pomala“, a nabízí tak větší hnací sílu využitelnou pro zrychlení, což je pro závodní účely požadovaným výsledkem.

Hodnoty navržených převodových poměrů jsou:

Tabulka 5 Hodnoty navržených převodových poměrů

	Převodový poměr
1. rychlostní stupeň	3,308
2. rychlostní stupeň	1,913
3. rychlostní stupeň	1,57
4. rychlostní stupeň	1,31
5. rychlostní stupeň	1,10
Stálý převod	3,83
Rozsah převodovky	$\delta=3,01$

V návrhu celkových převodových poměrů zůstal zachován sériový stálý převod.

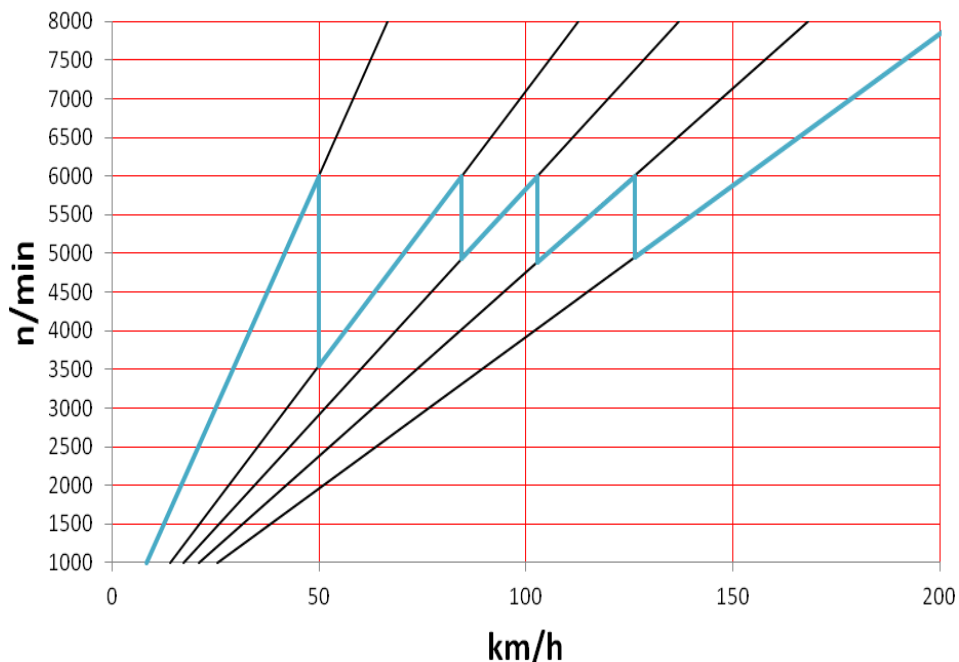
8.4 Provedené úpravy

Výše popsaný návrh byl proveden s ohledem na dostupné možnosti úprav jako optimální návrh odstupňování převodovky. Pro vozidlo popisované v této práci byl tento návrh co nejpřesněji realizován dostupnými soukolími. Realizovaná převodovka má následující převodové poměry jednotlivých rychlostních stupňů:

Tabulka 6 Hodnoty realizovaných převodových poměrů

	Převodový poměr
1. rychlostní stupeň	3,308
2. rychlostní stupeň	1,913
3. rychlostní stupeň	1,61
4. rychlostní stupeň	1,31
5. rychlostní stupeň	1,08
Stálý převod	3,83
Rozsah převodovky	$\delta=3,06$

Graf 8 Kinematické schéma realizované převodovky



Z pilového diagramu je patrné, že zrealizované odstupňování již není tak plynule progresivní jako u optimálního návrhu (viz. Kap. 8.3). Příčinou je zejména soukolí třetího rychlostního stupně, které má oproti navrženému převodovému poměru 1,57 poměr 1,61. Oproti tomu převodový poměr soukolí čtvrtého rychlostního stupně odpovídá navrženému převodovému poměru soukolí. Převodový poměr soukolí pátého rychlostního stupně se od hodnoty 1,10 změnil na hodnotu 1,08, čímž došlo ke zvýšení maximální rychlosti na hodnotu 153,1 km/h při použití velikosti pneumatik uvedených v kapitole 5.4. Stálý převod rozvodovky zůstal sériový stejně jako diferenciál. Soukolí třetího rychlostního stupně bylo použito z nabídky sportovních soukolí do převodovek škoda Felicia od společnosti Sixta. Soukolí pro čtvrtý rychlostní stupeň bylo použito z převodovky typu FJQ montovaných do vozů škoda Fabia I 1,0 Junior, kde sloužilo jako soukolí třetího rychlostního stupně. Pátý rychlostní stupeň popisované převodovky byl realizován pomocí čtvrtého rychlostního stupně sériové převodovky vozu škoda Felicia, ale konstrukční řešení umožnilo vzájemnou výměnu vstupního a výstupního kola daného soukolí. Tím se z převodu do „rychla“, o hodnotě převodového poměru 0,926 stal převod do „pomala“ o převodovém poměru 1,08. Soukolí, která byla použita pro realizaci čtvrtého a pátého rychlostního stupně, musela být přizpůsobena novému uspořádání upravené převodovky. Součástí převodového ústrojí popisovaného vozu škoda Felicia, které prošlo úpravou, byla i spojka - zde došlo k výměně třecí lamely spojky. Nově použitá lamela spojky je svými třecími vlastnostmi schopna přenést

vyšší točivý moment při stejném normálovém zatížení od ponechaného sériového přitlačného talíře.

Zcela odlišným způsobem dosažení požadovaných parametrů převodovky při respektování omezených finančních možností je celková výměna převodové skříně za jinou převodovou skříně používanou ve vozech koncernu VW s vyhovujícími převodovými poměry jednotlivých rychlostních stupňů. Tato varianta sebou nese nutnost úpravy spojení převodové skříně s motorem na vstupu a unašeči kloubových hřídelů na výstupu. Dále úpravy uchycení převodové skříně do samonosné karoserie vozu a přizpůsobení systému řazení. Z těchto důvodů tato úprava nebyla realizována.

Obrázek 13 realizované převody [zdroj: archiv autora]



9 Zhodnocení přestavby vozu

Následující tabulka je zhodnocením provedených úprav na zvoleném voze škoda Felicia 1,6 LXI. Porovnává základní parametry vozu v sériovém provedení a vozu po přestavbě na závodní speciál

Tabulka 7 Tabulka zhodnocení upravovaných parametrů

	Sériové vozidlo	Závodní speciál
Pohot. hmotnost vozu	1015Kg	825Kg
Podvozek		
Rozchod přední nápravy	1420mm	1450mm
Rozchod zadní nápravy	1380mm	1420mm
Světlá výška	110mm	Nastavitelná
Přední brzdy	kotoučové plné ø 237mm	kotouč. chlazené ø 256mm
Zadní brzdy	bubnové ø200mm	kotoučové plné ø 226mm
Kola a pneumatiky	165/70 R13	160/570 R14
Motor		
Výkon	55 kW/ 4500 ot/min	73,7 kW/ 5175ot/min
Točivý moment	135 Nm/3500 ot/min	152,1 Nm/ 3785 ot/min
Palivo	Natural 95	Verva 100
Převodové ústrojí		
1°	3,308	3,308
2°	1,913	1,913
3°	1,267	1,61
4°	0,927	1,31
5°	0,717	1,08
Zpětný chod	2,923	2,923
Stálý převod	3,83	3,83

10 Závěr

V této práci byl proveden popis přestavby produkčního vozu na závodní speciál určený pro rally. Jednotlivé celky přestavby byly popsány v návaznosti na platná pravidla poháru, jehož se vozidlo účastní. K novým účelům vozu bylo navrženo odstupňování převodovky a následně popsána realizace návrhu. Souhrn technických parametrů upravených při přestavbě vozu byl shrnut v 9. kapitole.

11 Seznam použitých zdrojů

- [1] MACH, Jiří R. *Opravy automobilů Škoda Felicia, Felicia Combi, Pickup: diagnostika závad, montážní postupy oprav, seřizovací hodnoty*. Praha: Grada, 2001. ISBN 80-247-0189-8.
- [2] PLŠEK, Bořivoj. *Sportovní úpravy Škoda Felicia*. Praha: Computer Press, 2002. Auto-moto-profi (Computer Press). ISBN 80-7226-658-6.
- [3] VLK, František. *Podvozky motorových vozidel*. 3., přeprac., rozš. a aktualiz. vyd. Brno: František Vlk, 2006. ISBN 80-239-6464-x.
- [4] VLK, František. *Automobilová technická příručka*. Brno: František Vlk, 2003. ISBN 80-238-9681-4
- [5] VLK, František. *Karosérie motorových vozidel: ergonomika : biomechanika : pasivní bezpečnost : kolize : struktura : materiály*. Brno: VLK, 2000. ISBN 80-238-5277-9
- [6] Kabinet. fyzika.net. *Kabinet. fyzika.net* [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <http://kabinet.fyzika.net/aplety/prevodovka/prevodovka.htm#Převodovka>
- [7] Převodovky-sixta. <Http://www.prevodovky-sixta.cz/> [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <http://www.prevodovky-sixta.cz/>
- [8] Technické požadavky pro ČMPR 2017. <Http://cmpr.cz/index.php/pravidla> [online]. [cit. 2017-07-09]. Dostupné z: <http://www.cmpr.cz/dokumenty/technicke-pozadavky-2017.pdf>
- [9] ŠVANHAL, Ondřej. *Stupňovité převodovky motorových vozidel*. Brno, 2014. BP. Mendelova univerzita v Brně.
- [10] DUNOVSKÝ, Václav. *Bezpečnostní rám závodního automobilu z hlediska posouzení konstrukce výpočtovým modelováním*. Pardubice, 2009. DP. UNIVERZITA PARDUBICE DOPRAVNÍ FAKULTA JANA PERNERA
- [11] TŮMOVÁ, Gabriela, Jan BANĚČEK a Josef KOLÁŘ. *Převodná ústrojí vozidel: návrh odstupňování převodovek*. V Praze: České vysoké učení technické, 2014. ISBN 978-80-01-05557-1

12 Přílohy

Seznam příloh

Příloha 1 – Výkres hnacího kola třetího rychlostního stupně (tento výkres neslouží jako výrobní)

Příloha 2 – Výkres hnaného kola třetího rychlostního stupně (tento výkres neslouží jako výrobní)

Příloha 3 – Výkres hnacího kola čtvrtého rychlostního stupně (tento výkres neslouží jako výrobní)

Příloha 4 – Výkres hnaného kola čtvrtého rychlostního stupně (tento výkres neslouží jako výrobní)

Příloha 5 – Výkres hnacího kola pátého rychlostního stupně (tento výkres neslouží jako výrobní)

Příloha 6 – Výkres hnaného kola pátého rychlostního stupně (tento výkres neslouží jako výrobní)