

Západočeská univerzita v Plzni

Fakulta aplikovaných věd

Katedra kybernetiky

DIPLOMOVÁ PRÁCE

PLZEŇ, 2013

PAVEL BOHÁČ

PROHLÁŠENÍ

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě aplikovaných věd Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně a výhradně s použitím odborné literatury a pramenů, jejichž úplný seznam je její součástí.

V Plzni dne 10. května 2013

.....
vlastnoruční podpis

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá realizací matematického modelu chladicího systému spalovacího motoru a realizací modelu automobilu, který odpovídá reálnému případu pohybujícího se vozidla v různých provozních situacích. V práci je zprvu rozebráno základní rozdělení chladicích systémů a jejich vlastností. Dále je navržen a realizován model automobilu, který poskytuje dostatečně přesné hodnoty pro následné připojení chladicího systému. Chladicí systém je vytvořen v základním tvaru, tedy se dvěma chladicími okruhy, jedním čerpadlem a termostatem. Pro jednoduchou obsluhu modelu je vytvořeno uživatelské rozhraní s nabídkou různých jízdních situací. Pomocí tohoto uživatelského rozhraní je ověřena funkčnost celkového systému. V neposlední řadě je navrženo a realizováno řízení pro hlavní akční členy chladicího systému. Návrh regulace je proveden pomocí datového pole a PI regulátorů. Výsledný model je opět verifikován simulací.

Klíčová slova: Spalovací motor, dynamika automobilu, primární a sekundární chladicí okruh, výměna tepla, nucené a nenucené chlazení, chladič, termodynamické zákony, PI regulátor, datová a znalostní pole pro regulaci.

Abstract

This diploma thesis deals with realization of mathematical model of engine cooling system for combustion engine and model of car, which is comparable to case of real moving vehicle in different situations. Thesis analyzed the basic division of cooling-car-systems and their properties. Then model of car is designed and implemented. The model is suitable for subsequent connection with cooling system. The cooling system is created in basic form, it means two main circuits, one water pump and car-thermostat. For easy operation the user interface is designed and implemented. There are scenarios of trip and other operating parameters. Afterwards the whole system is verified by the user interface. At least the control of actuators of cooling system is designed and implemented. Design is done with PI controllers and data fields. After that the whole model is verified again.

Key words: Combustion engine, car dynamic, primary and secondary cooling system, heat exchange, forced and unforced cooling, cooler, thermodynamic laws, PI controller, data fields for control.

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Doc. Ing. Františku Tůmovi, CSc., vedoucímu mé diplomové práce za maximální ochotu a za cenné rady, které napomohly k řešení jednotlivých částí práce.

Dále bych chtěl velice poděkovat panu Ing. Radku Maňáskovi, Ph.D., koordinátorovi Software Solution - MBtech Bohemia s.r.o., za ochotu při konzultacích, věcné připomínky a nezměrnou trpělivost při prvních krocích v řešení práce.

Velké poděkování také patří mé rodině za podporu a zvláště mé přítelkyni, která se mne vždy snažila vyslechnout a pochopit.

Seznam zkratek a pojmů

LUT	Look-up-table, znalostní pole
ECU	Engine control unit, kontrolní a řídicí jednotka motoru
OHV	Over head valve, vačková hřídel pro zdvih ventilů je umístěna v bloku motoru
OHC	Over head camshaft, vačková hřídel pro zdvih ventilů je umístěna přímo v hlavě válců
NH	Ovládání automatické převodovky (jízda/stání)
OIL PEAK	Zlom ropy, časový okamžik maxima těžby ropy (ekonomického i množstevního)
DSG	Direct shift gearbox, automatická převodovka vybavena dvěma spojkami

Obsah

1	Úvod	3
2	Popis technologie chlazení benzínového spalovacího motoru	5
2.1	Chlazení vzduchem	6
2.2	Chlazení kapalinou	8
2.3	Ostatní typy chladicích systémů	10
2.4	Nucené a nenucené kapalinové chlazení	11
3	Vytvoření modelu benzínového automobilu	12
3.1	Požadavky a omezení modelu	12
3.2	Architektura pohonu automobilu	12
3.2.1	Spalovací motory osobních automobilů	12
3.2.2	Charakteristiky vozidlových spalovacích motorů	13
3.2.3	Spojka	15
3.2.4	Převodová skříň	16
3.2.5	Diferenciál	18
3.2.6	Dynamika automobilu - Newtonovy pohybové rovnice	18
3.3	Model motoru	21
3.4	Spojka	24
3.5	Převodová skříň a diferenciál	25
3.6	Automatické řazení převodových stupňů a řízení rozjezdu	26
3.7	Dynamika automobilu	29
4	Vytvoření modelu chladicího okruhu	31
4.1	Požadavky a omezení modelu	31
4.2	Analýza architektury termodynamického modelu	31
4.3	Chladič/topení kabiny	34
4.4	Mísení tepelných toků v motorové části	35
4.5	Termostat	36
4.6	Čerpadlo chladicí kapaliny	37
5	Ověření funkčnosti modelů v různých pracovních situacích	38
5.1	Vytvoření uživatelského rozhraní	38
5.1.1	Pracovní situace - profil trasy	38
5.1.2	Pracovní situace - plynový pedál	39
5.1.3	Pracovní situace - brzdový pedál	40

5.1.4	Pracovní situace - NH ovládání	40
5.2	Uživatelské rozhraní	41
5.3	Simulace celkového modelu - varianta č.1	42
5.3.1	Simulace modelu automobilu	42
5.3.2	Simulace modelu chladicího systému	45
5.3.3	Zhodnocení simulace	47
5.4	Simulace celkového modelu - varianta č.2	48
5.4.1	Simulace modelu automobilu	49
5.4.2	Simulace modelu chladicího systému	50
5.4.3	Zhodnocení situace	51
6	Doplnění modelu o elektricky ovládané čerpadlo	52
6.1	Princip regulace	52
6.2	Návrh a realizace regulace elektročerpadla	53
6.3	Návrh a realizace regulace termostatu	56
6.4	Návrh regulace ventilátoru	57
6.5	Ostatní typy regulace	59
7	Simulace chladicího systému s implementovanou regulací	60
7.1	Výsledek simulace	61
7.2	Zhodnocení simulace	62
8	Zhodnocení výsledků	63

1 Úvod

Již v době středověku se lidé snažili využít jakoukoli dostupnou energii (sluneční, vodní či větrnou) k užítku v jejich vlastní prospěch. Největší snahou bylo využít tyto zdroje pro mechanický pohyb, který by usnadnil jakoukoliv manuální práci, jenž by člověk nemusel vykonávat vlastní silou. Mezi tyto neznámější vynálezy můžeme zařadit například mlýnské kolo, větrné mlýny a plachty lodí, které jako první sloužily pro přepravu osob pomocí jiné než koňské síly. A díky tomuto pohodlí, které nabízela přeprava osob či materiálu, se jeden z hlavních proudů vědy ubíral tímto směrem vývoje.

Pokud se v historii posuneme o kousek dál až do 18. a 19. století do období Průmyslové revoluce, nalezneme zde milník technické doby. Milníkem je postupné zdokonalení parního stroje Jamesem Watem. Tímto okamžikem je poprvé plně využit tepelný pístový stroj s vratným cyklem pro mechanický pohyb. Jedná se ovšem stále o pístový tepelný stroj s vnějším spalováním, který byl dále zdokonalen Robertem Stirlingem v roce 1816 a hojně využíván v Anglii a Americe [18].

Vývoj spalovacích motorů pokračoval dále a rok 1860 můžeme prohlásit za datum, kdy byl sestrojen první motor s vnitřním spalováním. Takovýto spalovací motor je tepelný stroj, kde se palivo (plyn, benzín, nafta atd.) spaluje přímo ve stroji a kde je převáděna uvolněná energie na energii mechanickou. V tomto roce 1860 obdržel Belgičan Jean Etienne Lenoir patent na zážehový dvojčinný plynový motor bez komprese zapalovaný elektrickou jiskrou, který měl velmi malý výkon. Další nápad na zhotovení prvního vznětového motoru dostal německý vynálezce Rudolf Diesel při studiích na škole, kde studenti používali zcela jednoduchý pneumatický zapalovač podobný hustilce. V roce 1892 si nechal patentovat vznětový motor. Cesta k úspěchu byla však ještě velmi dlouhá, po dalších 4 letech připravil motor, který mohl být poháněn naftou či olejem z burských oříšků. Účinnost takového motoru se pohybovala okolo 26% (dvojnásobek účinnosti parního stroje) [18], [15].

Vývoj šel neúprosně kupředu a již za několik let začala první sériová výroba automobilů na světě, díky americkému podnikateli Henrymu Fordovi (1863 – 1947). Prvním takto vyrobeným modelem byl Ford T, který se vyráběl od roku 1908 do roku 1927 v USA. Tuto dobu můžeme nazvat začátkem automobilové revoluce, sám Henry Ford řekl o automobilech a jejich dostupnosti lidem:

”Postavím auto pro masy. Bude dost velké pro rodinu, ale také dost malé na to, aby s ním jeden člověk mohl jezdit a starat se o ně. Bude vyrobeno z nejlepších materiálů, nejlepšími zaměstnanci, s nejjednodušší konstrukcí, kterou je moderní inženýrství schopno vymyslet. Ale bude tak levné, že každý člověk pracující za dobrý plat bude vlastnit jedno...”

Henry Ford [14]

Od této doby se vývoj automobilů nezastavil. Nové technologie, využití softwaru a hardwaru a ostatních moderních postupů posunulo automobily kupředu. Důležitým trendem u spalovacích motorů a vozidel je jejich ekologická šetrnost, účinnost a bezpečnost přepravovaných osob. V neposlední řadě můžeme mluvit o disciplíně věnující se nejnovějším technologiím, které nemají za úkol zdokonalit mechanické vlastnosti vozu, ale odstranit chybovost lidského faktoru. Tyto technologie tedy implementují určitou umělou inteligenci, která má být co nejvíce nápomocna řidiči.

Pokud bychom zapřemýšleli nad budoucností spalovacích motorů, poté bychom byli spíše skeptičtí. Využití mnohem ekologičtější elektrické energie částečně vytlačuje spalovací motory z automobilové sféry. Zároveň polemizace nad pojmem OIL PEAK (efektivnost využití a těžby fosilních paliv) není zcela příznivá. Do budoucna se předpokládá využití spíše zemních plynů pro spalovací motory, jejichž ložiska jsou rozložena rovnoměrněji než naleziště ropy [18], [16].

Tématem této práce bude právě jeden z těchto moderních pokroků, konkrétně se jedná o odvětví, které se snaží zdokonalit efektivnost a účinnost provozu spalovacích motorů. Jedná se o chlazení spalovacích motorů a jeho optimalizační možnosti. Prozatím se ve velké části automobilů využívá obyčejný mechanický systém ovládání chladicího systému. Cílem této práce bude tedy optimalizace chlazení spalovacího motoru. Jedná se o spletitý problém, který je značně náročné popsat matematicky. Velké množství vstupních a výstupních interakcí z něj dělají značně sofistikovanou úlohu i pro regulaci. Aplikace heuristických metod bude značně náročná. Bude třeba zachovat analytický nadhled nad celkovým úkolem a zohlednit velké množství jednotlivých elementů systému. Výsledkem bude efektivnější chlazení spalovacího motoru a jeho přesnější regulace na žádané provozní teplotě. Tím dojde k zefektivnění spalování paliv a určitému snížení spotřeby.

Práce je rozdělena do několika kapitol, které na sebe chronologicky navazují. V první části je popsána technologie chlazení spalovacích motorů (2. kap.). Díky tomuto rozboru je možné si představit potřebné teoretické vztahy a architekturu modelu. Tento blok je popsán v další kapitole o vytvoření modelu benzínového automobilu (3. kap.). Následuje část zabývající se chladicím systémem. Struktura této kapitoly (4. kap.) je stejná jako v předešlé části. Nejprve je proveden teoretický rozbor a posléze je vytvořen model systému. Pátá kapitola se zabývá globálním ověřením celkového systému. Je vytvořeno uživatelské rozhraní pro jednoduchou volbu vstupních parametrů. Práce pokračuje kapitolou (6. kap.) o návrhu a realizaci řízení pro akční členy systému a následné simulaci a zhodnocení získaných výsledků. Na konci práce je uvedena přílohová část, kde jsou uvedené některé modelové realizace.

2 Popis technologie chlazení benzínového spalovacího motoru

Chlazení spalovacích motorů můžeme popsat jako termodynamický děj, při kterém dochází k přestupu tepla vytvořeného spálením paliva z bloku motoru, potažmo hlavy válců, do okolí pomocí chladicího média. Chladicím médiem může být vzduch popřípadě kapalná látka. Tento děj odčerpává teplo z motoru a udržuje motor na požadované pracovní teplotě. Pracovní teploty jsou různé, záleží na druhu a použití motoru. U benzínových motorů je tato teplota stanovena na rozmezí 85–95 °C. Důvodem chlazení spalovacích motorů a udržení jejich teploty, v rozmezí provozní teploty je správný a efektivní chod. Pokud je například teplota motoru moc nízká nedochází k efektivnímu spalování paliva, mazání motoru popřípadě správnému vymezení mechanických částí. Na druhé straně, při přehřívání motoru, může dojít k mechanickým problémům způsobeným teplotní roztažností, špatnému zápalu paliva ve válci popřípadě špatné viskozitě motorového oleje.

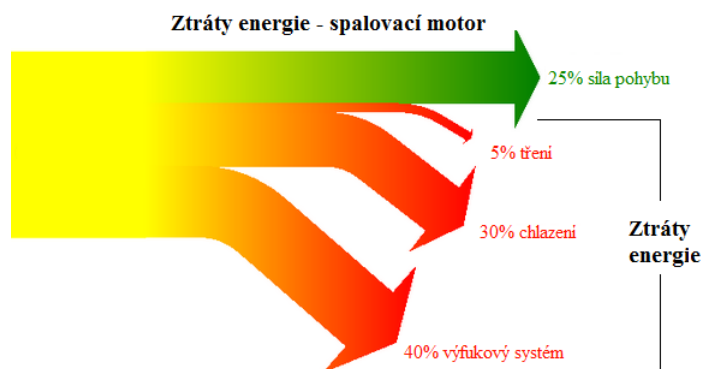
Dalším důležitým faktem je celková část tepla, vytvořená spálením paliva, kterou je třeba skutečně odvést pomocí chladicího systému. U vznětových a zážehových motorů je tato hodnota samozřejmě různá. Orientační hodnoty najdeme v tabulce č. 2.1. [1].

Teplo přeměněné na výkon	Motor	
	zážehový	vznětový
Teplo přeměněné na výkon	32%	45%
Teplo odvedené při hoření	6%	8%
Teplo odvedené při expanzi	7%	6%
Teplo odvedené při výfuku	15%	9%
Teplo vyvolané třením pístů	2%	2%
Teplo odvedené výfukovými plyny	38%	30%

Tab. 2.1. Tepelná bilance vozidlových spalovacích motorů [1]

Můžeme tedy prohlásit, že teplo vytvořené spálením paliva, které bude zapotřebí odvést z bloku motoru pomocí chladicího systému bude rovné 20 – 30%. Zbytek tepla není využit a je ve velké míře odveden výfukovým systémem.

Tepelné bilance lze znázornit Sankeyovým diagramem, viz obr. 2.1., které zobrazují jednotlivé tepelné toky graficky. Je zde názorně vidět, jak velké množství energie, které je uvolněno z paliva, je zužitkováno pro pohon vozidla.



Obr. 2.1. Sankeyův diagram tepelných toků spalovacího motoru

Jak již bylo řečeno chlazení můžeme rozdělit na několik druhů, které se liší buď způsobem chlazení nebo chladicím médiem.

2.1 Chlazení vzduchem

Chlazení vzduchem, jak již z názvu vyplývá, je zprostředkováno médiem v podobě vzduchu. Toto chladicí médium je hnáno ventilátorem, turbínou nebo pouhým náporom vzduchu okolo zahřátých ploch motoru a tím jej ochlazuje. Je tedy zapotřebí zvýšit plochu nejvíce zahříváných částí motoru. Tento problém je vyřešen nejčastěji soustavou žebor, mezi kterými proudí vzduch. Tím je zvýšena styčná plocha pro odvod tepla. Výhodou tohoto chlazení je jeho jednoduchost, rychlejší odezva na tepelné změny a nízká hmotnost. Naproti tomu nevýhodou je občasné podchlazení motoru, vysoká hlučnost a nižší rovnoměrnost chlazení.

Náporové vzduchové chlazení

Náporové vzduchové chlazení je tvořeno pouze žebrováním motoru a proudícím vzduchem. Motor bývá často bez kapotáže, aby bylo zprostředkováno co největší proudění vzduchu podél styčných ploch. Nejběžnějším příkladem je motocyklový motor, který je vidět na obrázku č.2.2 [1].

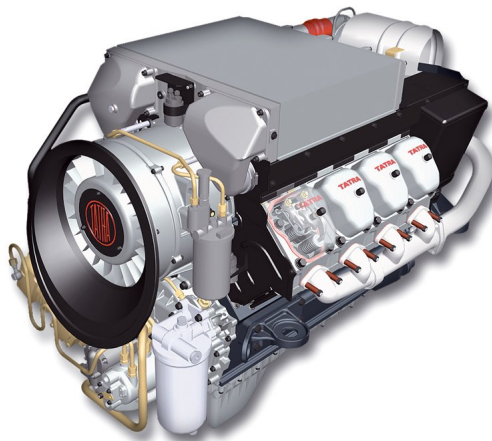
Nucené vzduchové chlazení

Nucené vzduchové chlazení je založeno na stejném principu, jako předchozí varianta s tím rozdílem, že proudění vzduchu je zprostředkováno pomocí malého ventilátoru potažmo turbíny. Nejčastější je pohon chlazení realizován mechanickým převodem točivého momentu přímo z klikové hřídele, pouze v okrajových případech se může jednat o elektrický pohon. Hnací elektrická/mechanická zařízení mohou být umístěna v obou směrech (myšleno směrech proudění vzduchu). Hovoříme tedy o přetlakovém nebo podtlakovém chlazení. Tento způsob chlazení bychom našli u českých nákladních



Obr. 2.2. Příklad 4-taktního motoru chlazeného vzduchem [17]

aut Tatra, popřípadě u nejznámějšího německého výrobce sportovních aut Porsche. Příklad takového motoru je vidět na obrázku č.2.3.

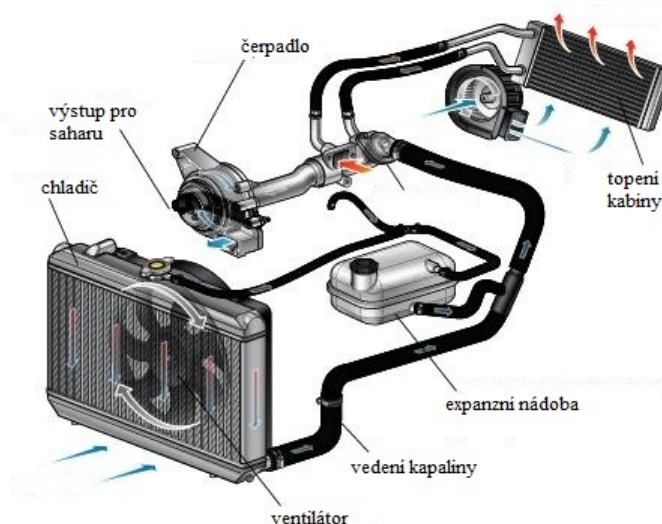


Obr. 2.3. Příklad vznětového motoru Tatra T3D-928 chlazeného vzduchem [17]

Ještě je nutné dodat, že i u takto mechanicky hnaného ventilátoru/turbíny můžeme nalézt "regulaci" otáček tudíž i proudu vzduchu. Tato "regulace" je zprostředkována pomocí termostatu, který ovlivňuje otáčení rotoru v závislosti na teplotě. Přímo u motorů Tatra jsou otáčky turbíny regulovány pomocí hydrodynamické spojky, jejíž vlastnosti závisí na teplotě tlakového mazacího oleje motoru.

2.2 Chlazení kapalinou

Pro kapalinové chlazení je v bloku motoru a v hlavě válců vytvořen systém kanálů, kterým proudí chladicí médium v podobě vody (nemrznoucí směsi), popřípadě oleje. Kanály jsou navrženy tak, aby styčná plocha s kapalinou byla co největší a chlazení jednotlivých částí co nejrovnoměrnější. Kapalina, která je zahřáta v části motoru, proudí dále do ostatních prvků chladicího systému. Jednotlivé části chladicího systému jsou propojeny hadicemi. Jedná se tedy o konstrukčně složitější realizaci, která má ovšem výrazně kvalitnější proces chlazení. V nynější době se jedná o nepoužívanější a nejrozšířenější systém chlazení spalovacích motorů.



Obr. 2.4. Schéma kapalinového chlazení s nuceným oběhem [17]

Chladicí systém se pokusíme jednoduše popsat, jak je vidět na obrázku č. 2.4. Můžeme jej rozdělit na malý a velký okruh. Malý okruh obsahuje topení kabiny, které funguje stejným způsobem jako chladič s tím rozdílem, že nuceně odvedené teplo je využito k vytápění kabiny automobilu. Velký okruh obsahuje ostatní části chladicího systému. Hlavním prvkem je zde náporový chladič, který je nejčastěji umístěn na přední části automobilu.

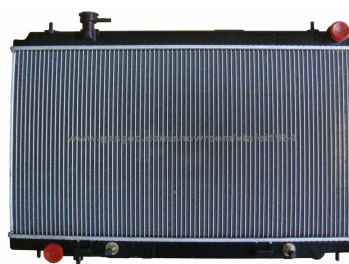
Termostat můžeme zjednodušeně popsat jako třícestný ventil, který pracuje dle své aktuální teploty a vstupní množství kapaliny rozděluje do dvou různých potrubí (topení kabiny/chladič). U termostatů s tepelně roztažnou pevnou látkou (obr. č. 2.5.) záleží na provozní teplotě automobilu a je dle ní nastaven na správnou funkčnost otevírání/zavírání. V moderních automobilech bývá termostat řízen elektricky pomocí řídicí jednotky automobilu. Zde bývá ještě v termostatu umístěn odporový drát, který se při kolísání teploty zahřívá a odstraňuje nechtěné kolísání teplot při zahřívání motoru v okolí

provozní teploty. Samozřejmě funkčnost obyčejného termostatu je dostačující, avšak je prokázáno, že přesná provozní teplota má přímý vliv na spotřebu paliva. Proto je zde tato snaha o optimalizaci řízení termostatu pomocí tzv. datových polí uložených v řídicí jednotce motoru.



Obr. 2.5. Příklad termostatu s roztažnou pevnou látkou [17]

Co se týče **chladiče** popřípadě **topení kabiny**, jedná se o jednoduchou část chladicího systému, kde dochází k největší teplotní výměně mezi chladicí kapalinou a okolím. Chladič má tedy za úkol co nejvíce zvýšit styčnou plochu pro teplotní výměnu a zároveň prodloužit "trasu" pohybu chladicí kapaliny v okolí těchto ploch pro co největší teplotní výměnu. Automobilový chladič je nejčastěji umístěn na čelní části automobilu, to proto, aby docházelo k náporovému chlazení při jízdě. Chladiče máme několika typů. Pájené nebo mechanicky skládané. Nejmodernějším typem je celohliníkový chladič, který se vyznačuje nízkou hmotností a vysokou účinností. U automobilového chladiče ještě můžeme nalézt ventilátory, které jsou zde umístěny jako bezpečnostní pojistka proti přehřátí motoru. Pokud teplota přesáhne provozní teplotu, ventilátory se sepnou a po určitou dobu běží. Vytvoří tím nápor vzduchu, který opět ochladí chladicí kapalinu. Příklad chladiče je vidět na obrázku č.2.6.



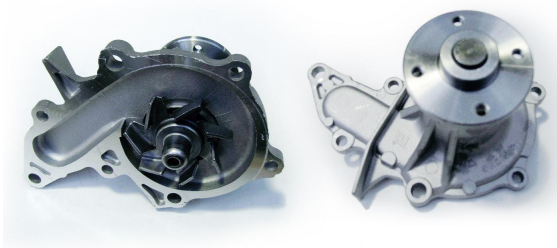
Obr. 2.6. Příklad automobilového chladiče [17]

Na bloku chladiče je ještě přidělán výše zmíněný **ventilátor**, popřípadě dva ventilátory, které zajišťují dostatečný průtok vzduchu i při nízkém náporu vzduchu od jízdy automobilu. Opět může pohon ventilátoru zprostředkovávat elektromotor, nebo, jak je tomu u traktorů a užitkových vozidel, mechanický převod z klikové hřídele. Příklad elektricky hnaného ventilátoru je na obrázku č. 2.7 [7].



Obr. 2.7. Příklad automobilového ventilátoru [17]

V neposlední řadě bychom měli zmínit **čerpadlo**, jenž zprostředkovává pohyb chladicího média. Obvykle je použito odstředivé radiální čerpadlo. Kapalina se do čerpadla přivádí z chladiče, nebo přímo z komory termostatu. Množství chladicí kapaliny bývá přibližně čtyř- až šestinásobek zdvihového objemu motoru. Chladicí kapalina oběhne desetkrát až patnáctkrát za minutu, z toho vyplývá, že rychlost průtoku čerpadel u osobních automobilů se pohybuje okolo $8000\text{ l/h} - 32000\text{ l/h}$. Díky rychlosti čerpání chladicí kapaliny se změna teploty mezi vstupem a výstupem chladicí kapaliny motoru pohybuje okolo $5-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. Mechanické namáhání způsobené změnou teploty je tedy přijatelné. Pohon čerpadla je nejčastěji realizován takzvanou "nucenou cestou". Čerpadlo je tedy opět napojeno mechanicky na klikovou hřídel. Příklad čerpadla je vidět na obrázku č. 2.8 [1].



Obr. 2.8. Příklad automobilového čerpadla chladicí kapaliny [17]

2.3 Ostatní typy chladicích systémů

U **olejového chlazení** je chladicím médiem olej, který nezamrzá a nevře v pásmu teplot $-50 - 150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Nevzniká zde problém s korozí a provozní teplotu je možné zvýšit až na $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ a tedy i zefektivnit chod motoru [1].

Termosifonové (gravitační) chlazení je jedním ze zastaralých způsobů chlazení. Je založeno na rozdílu měrné hmotnosti teplé a studené kapaliny, která se nachází v okolí bloku motoru. V důsledku

velké setrvačnosti tohoto systému a tedy i zahřívání motorů na požadovanou teplotu se od tohoto způsobu upustilo [7].

Odpařovací chlazení je jedním z nejstarších způsobů, který byl použit u stabilních motorů v 30-tých letech. Chladicí kapalina je ve styku s motorem, kde se přímo odpařuje díky vysoké teplotě motoru. Pára poté kondenzuje na speciální mřížce a kondenzát stéká zpět do zásobníku. I přesto jde o ztrátové chlazení a chladicí kapalinu je tedy třeba doplňovat [7].

Mezi ostatní typy chlazení můžeme zařadit **kombinované chlazení**, které slučuje metodu kapalinového a vzduchového chlazení nebo termosifonové chlazení a chlazení s nuceným oběhem. Tento typ můžeme například najít u automobilu Porsche.

2.4 Nucené a nenucené kapalinové chlazení

Nucené chlazení spalovacího motoru můžeme definovat identicky jako v kapitole 2. Pouze je zde nutné zdůraznit, že čerpadlo, které žene chladicí kapalinu je stabilně připojeno mechanickým převodem na klikovou hřídel. Průtok takového čerpadla je přímo závislý na otáčkách. Pokud zohledníme rychlost čerpání kapaliny a otáčky čerpadla, jedná se o malou mechanickou zátěž motoru což je nevýhodou tohoto typu chlazení. Tento způsob je bohužel prozatím nejpoužívanější technologií vodního chlazení spalovacích motorů.

Dalším aspektem, který je nevýhodou tohoto typu chlazení, je neefektivní náběh na provozní teplotu motoru a občas zbytečné čerpání chladicí kapaliny při větších rychlostech. Spolu s mechanickým termostatem se jedná o méně efektivní způsob chlazení z pohledu moderních technologií.

Samozřejmě má tento způsob i své výhody, které jsou jednoduchost, relativně nízká cena a spolehlivost. Těchto pár faktů je prozatím důrazným argumentem k tomu, že byl tento způsob chlazení světově nejrozšířenějším.

Nenucené chlazení, jak už z názvu vyplývá, je přesným opakem předchozího odstavce. Oběh chladicí kapaliny je zprostředkován elektromotorem, který pracuje nezávisle na otáčkách motoru. Jedná se tedy o sofistikovanější přístup k regulaci průtoku v chladicím systému. Pokud by byl tento způsob důkladně řízen, dospějeme k lepším náběhovým teplotám motoru, odstranění mechanické zátěže motoru, efektivnějšímu chlazení při různých pracovních podmínkách a snížení spotřeby automobilu. Nevýhodou tohoto typu čerpání chladicí kapaliny je složitější implementace, potřeba řídicího algoritmu a vyšší pořizovací náklady.

3 Vytvoření modelu benzínového automobilu

Jedním z cílů této práce je vytvoření matematického modelu chladicího systému spalovacího motoru. Je tedy třeba si uvědomit do jaké hloubky budeme tento systém modelovat. Zda je nutné parametrizovat opravdu všechny hodnoty modelu, nebo zda stačí takzvaný profesní odhad.

Tato část se bude zabývat modelem automobilu. Je zapotřebí zohlednit různé jízdní vlastnosti a podmínky, ve kterých se s automobilem můžeme nacházet. Proto bude zapotřebí nejdříve namodelovat celý model osobního automobilu a až poté se začít zabývat napojením modelu chladicího systému.

Realizace modelu automobilu bude probíhat pomocí tzv. znalostního pole (LUT), které nám bylo poskytnuto od společnosti MBtech Bohemia s.r.o. Konkrétně se jedná o matici, která udává moment motoru při daných otáčkách a daném otevření škrtky klapky.

3.1 Požadavky a omezení modelu

V modelu zohledníme jen podstatné skutečnosti, které nám dostatečně popíší část reality. Touto částí reality rozumíme chování systému, které je nejdůležitější pro následné spojení s termodynamickým modelem chlazení. Není tedy nutné uvažovat v modelu parametry jako například adheze s vozovkou, směrové charakteristiky vozidla popřípadě detailní popisy pneumatik či odpružení.

Je samozřejmě nutné si stanovit jakýsi rámec, či omezení, pod které bychom neměli s úrovní/architekturou modelu sestoupit. Pro teoretický rozbor dynamik automobilu použijeme pouze základní rovnice a vztahy, které dostatečně popisují chování automobilu. Například u hnacích charakteristik budeme vycházet z předem stanovených dat, popřípadě u spojky budeme počítat s pouhým rozdílem otáček a teoretickým přenosem momentu, nezohledníme tedy torzní tlumení pružin spojky.

Zřejmě největším zjednodušením našeho modelu, jak již bylo zmíněno, bude hlavní hnací "modul", tedy motor, který budeme tvořit za pomoci znalostního pole (LUT).

3.2 Architektura pohonu automobilu

Do dynamiky automobilu lze zařadit hnací výkonové charakteristiky jednotlivých částí, mechanické a elektrické zařízení automobilu i jízdní odpory, které nastávají vlivem pohybu. Můžeme říci, že hnací charakteristikou je každý děj, který probíhá v automobilu za účelem vytvoření pohybu (vpřed i vzad). Naopak jízdním odporem budeme rozumět síly, které působí proti pohybu vozidla. Ostatní elektrické a mechanické prvky budou pouze upravovat tyto dva základní děje pro neoptimálnější pohyb vozidla.

3.2.1 Spalovací motory osobních automobilů

V naší práci se zabýváme pístovým spalovacím motorem, který se nejvíce využívá k pohonu osobních automobilů. Jeho funkce je založená na energii, která je ukryta v určitém druhu paliva. Jeho spálením se

energie uvolní a působením uvolněného tepla a expanze je možné převést tuto energii na mechanickou práci, tedy na pohyb vozidla. Jako palivo se pro spalovací motory používá benzín, nafta, plyn nebo kombinace těchto paliv. Základní rozdělení spalovacích motorů pro osobní automobily:

- Dle pohybu pístu
 1. Píst s přímočarým vratným pohybem
 2. Rotační píst
- Dle druhu zážehu paliva
 1. Vznětové
 2. Zážehové
- Dle principu činnosti
 1. Čtyřdobé
 2. Dvoudobé

Nejpoužívanějším automobilovým spalovacím motorem zůstává doposud čtyřdobý vznětový a čtyřdobý zážehový motor s přímočarým vratným pístem.

Samozřejmě zde máme další rozdělení spalovacích motorů, jako například zcela základní rozdělení dle místa spalování (vnější vnitřní), dle způsobu zdvihu ventilů (OHC, OHV) atd. Tato fakta jsou dostatečně podrobně popsána v [1]. Cílem této práce není podrobný rozbor problematiky spalovacích motorů, ale řešení optimalizace chlazení těchto motorů.

3.2.2 Charakteristiky vozidlových spalovacích motorů

Charakteristikou spalovacího motoru, můžeme nazvat grafické zobrazení vzájemných závislostí provozních veličin motoru do pravoúhlé soustavy souřadnic. Tyto charakteristiky se buď ověřují měřením na specializovaných pracovištích nebo se stanoví teoreticky dle parametrů motoru popřípadě za pomoci modelovacích technik. Volbou nezávislé proměnné dělíme charakteristiky na [1]:

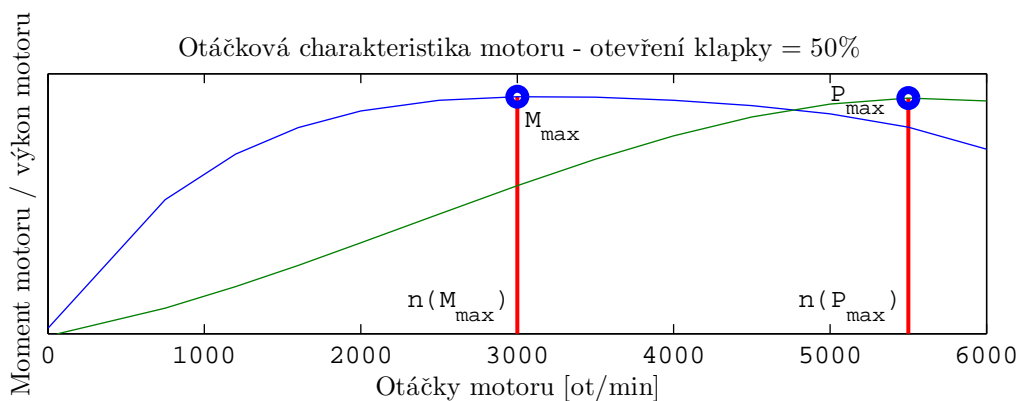
- **Otáčkové charakteristiky** - nezávislou proměnnou jsou otáčky klikové hřídele,
- **Zatěžovací charakteristiky** - nezávislou proměnnou může být točivý moment, tlak nebo další hodnoty, které působí jako odpor pohybu klikové hřídele.

Ve své podstatě nám tyto charakteristiky suplují celkový model motoru. Je zde informace o výkonu, který motor dává při různém množství vstupního paliva. Příklad otáčkové charakteristiky motoru je

3 VYTVOŘENÍ MODELU BENZÍNOVÉHO AUTOMOBILU

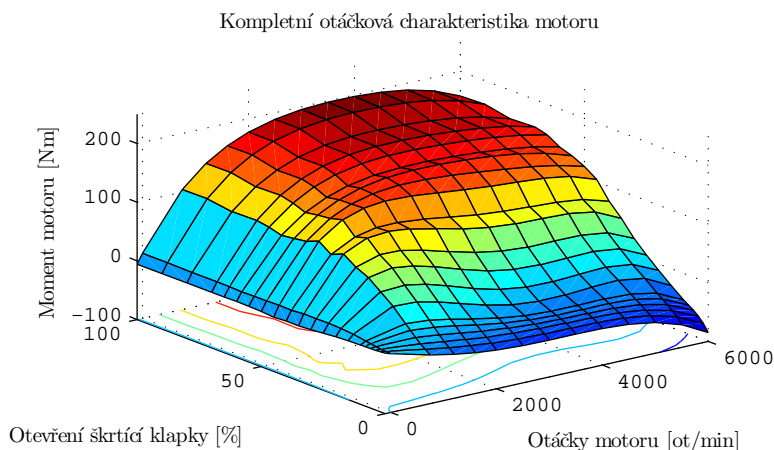
uveden na obrázku č.3.1. Z této charakteristiky lze odvodit vztahy pro otáčkovou a momentovou pružnost. Tyto hodnoty charakterizují elasticitu výkonu různých motorů [1], [2].

$$e_M = \frac{M_{max}}{n(M_{max})}, \quad e_n = \frac{n(P_{max})}{n(M_{max})} \quad (3.1)$$



Obr. 3.1. Otáčková charakteristika motoru

Pokud bychom chtěli zobrazit otáčkovou charakteristiku v trojrozměrném systému, tedy zohlednit jak otevření škrťací klapky tak i moment vyprodukovaný motorem, vypadala by charakteristika stejně jako na obr. 3.2. Díky těmto naměřeným charakteristikám již nebude nutné nahlížet na spalovací motor



Obr. 3.2. Kompletní hnací charakteristika motoru

zcela detailně. Pro řešení našeho problému to bude velmi výhodné, jak se ukáže v dalších částech této práce.

3.2.3 Spojka

Spojka je mechanické ústrojí uložené zpravidla mezi blokem motoru a převodovou skříní. Bude tedy mít dvě části, část hnací a část hnanou. Funkcí spojky je přenos točivého momentu z klikové hřídele na hnací hřídel převodové skříně. Tento přenos momentu může být spojkou přenášen, dávkován nebo přerušen. Tím docílíme možnosti plynulého řazení převodových stupňů, případně stání vozidla při zařazeném rychlostním stupni nebo rozjíždění vozidla. Další funkcí spojky je tlumení torzních kmitů motoru. Spojka tedy nepřenáší moment zcela pevně, ale funguje jako pružný element [4].

Spojky můžeme dle konstrukce rozdělit na:

1. Třecí - suché nebo mokré,
2. Hydraulické,
3. Elektromagnetické.

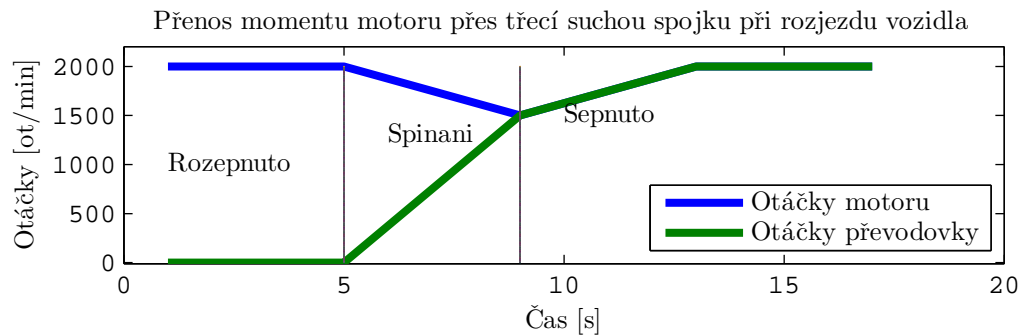
V našem případě se budeme zabývat třecí spojkou suchou, která je nejčastěji osazována do osobních automobilů, obr. 3.3. Hnací část tvoří setrvačnick s přitlačným kotoučem a hnanou část spojková lamela. Obě části jsou k sobě přitlačovány pružinou. Spojka je zde ovládána řidičem, nebo logikou řídicí automatické řazení.

Dle mechanické síly která k sobě přitlačuje hnací a hnanou část je přenášen, díky tření, moment



Obr. 3.3. Příklad přitlačného kotouče, spojkové lamely a přitlačného ložiska [17]

vytvořený motorem. Tento průběh je znázorněn na obrázku č.3.4. S rostoucím časem řidič uvolňuje spojkový pedál, při rozjedu vozidla. Tím vzniká tření a již zmíněný přenos momentu. V určité chvíli dojde k vyrovnání otáček motoru a převodového ústrojí. V tento okamžik přestane vznikat tření mezi oběma částmi.



Obr. 3.4. Vývoj otáček motoru a převodové skříně při rozjezdu

Nejdůležitější pro funkci spojky je tedy síla F , jež tlačí k sobě hnanou a hnací část spojky. Dále součinitel tření mezi těmito plochami μ a plocha S na které toto tření vzniká pod tlakem p . Pro výpočet třecí síly F_t platí vztahy:

$$F_t = F\mu = pS\mu \quad (3.2)$$

Tento vztah si dále upravíme dle účinného poloměru spojky (r_1, r_2 jsou poloměry vymežující styčnou plochu):

$$r_s = \frac{2r_1^3 - r_2^3}{3r_1^2 - r_2^2} \quad (3.3)$$

Přidáme počet styčných ploch i a odvodíme moment přenášený spojkou (celé odvození viz. [4]):

$$M_s = F\mu i \frac{2r_1^3 - r_2^3}{3r_1^2 - r_2^2} \quad (3.4)$$

Ještě je zapotřebí si uvědomit, že tento přenášený moment, musí být určitým způsobem vztažen na hnací charakteristiku motoru. Pro silný motor, je třeba volit spojku s dostatečnými mechanickými vlastnostmi. V našem případě je možné využít podmínku:

$$M_s = 1.5 M_{max} \quad (3.5)$$

Přenosový moment spojky (při uvolněném spojkovém pedálu) by měl být 150%- ní vůči maximálnímu momentu, který je možné získat od motoru.

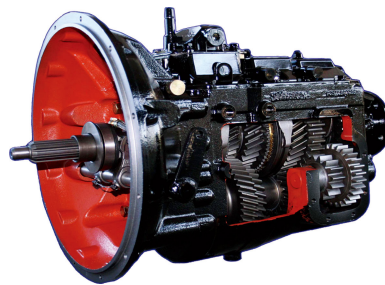
3.2.4 Převodová skřín

Převodová skřín nebo obecněji řečeno převodovka je dalším důležitým prvkem, který je uložen hned za spojkou. Toto zařízení slouží obecně pro změnu (zvětšování/zmenšování) točivého momentu,

popřípadě jeho přerušení (neutrál). Důvodem zavedení převodové skříně je správné zatížení motoru v otáčkách, při kterých má nejvyšší účinnost. Realizace těchto změn točivého momentu se děje díky různým převodovým poměrům, které mezi sebou mají ozubená kola jednotlivých převodových stupňů. Pro změnu těchto převodových stupňů je zde předřazená výše zmíněná spojka, která přeruší točivý moment od motoru a nezatíženým převodovým kolům umožní změnu převodového stupně.

Základní rozdělení převodových skříní je [3]:

- **Stupňové převodovky** - jsou nepoužívanějším druhem převodovek na světě. Nalezneme je ve většině mechanických strojů. Základem je mechanický převod ozubených kol. U osobních automobilů je ještě dále můžeme dělit na manuální a automatické.
- **Plynulé převodovky** - umožňují změnu točivého momentu plynule. Tyto spojky jsou méně rozšířené. Nejznámější aplikace je hydromechanický měnič, který plynule mění moment hnací a hnané části v závislosti na rychlosti proudění kapalin. Dalším hojně využívaným druhem je takzvaný variátor. Zde je změna momentu daná plynule se měnícím poloměrem hnací hřídele řemenu v závislosti na jeho otáčkách.



Obr. 3.5. Příklad manuální vícešupňové převodovky [17]

V osobních automobilech nalezneme nejčastěji stupňovou převodovku, viz obr. 3.5. Každý převodový stupeň je charakterizován převodovým poměrem:

$$i_x = \frac{\text{otáčky hnacího hřídele}}{\text{otáčky hnaného hřídele}} \quad (3.6)$$

Dle tohoto převodového poměru se také změní otáčky motoru na otáčky kol a moment od motoru na moment otáčející koly [1].

$$\begin{aligned} M_{kola} &= i_x M_{motor} \\ \omega_{kola} &= \frac{\omega_{motor}}{i_x} \end{aligned} \quad (3.7)$$

3.2.5 Diferenciál

Posledním mechanickým ústrojím před hnaným kolem automobilu je diferenciál. Jedná se o malé převodové ústrojí, které zajišťuje samočinné vyrovnání rozdílných otáček hnaných kol v zatáčkách. Zároveň převádí moment převodovky a otáčky vystupující z převodovky s určitým převodovým poměrem i_{dif} .

$$\begin{aligned} M_{převodovka} &= i_{dif} M_{kola} \\ \omega_{kola} &= \frac{\omega_{převodovka}}{i_{dif}} \end{aligned} \quad (3.8)$$

Příklad diferenciálu je na obrázku č.3.6.



Obr. 3.6. Příklad diferenciálu [17]

3.2.6 Dynamika automobilu - Newtonovy pohybové rovnice

Předtím než začneme analyzovat dynamiku automobilu je třeba stanovit elementární vztahy, které jsou založeny na Newtonových pohybových rovnicích. Pohyb celého vozu popisujeme translačním a rotačním pohybem [10].

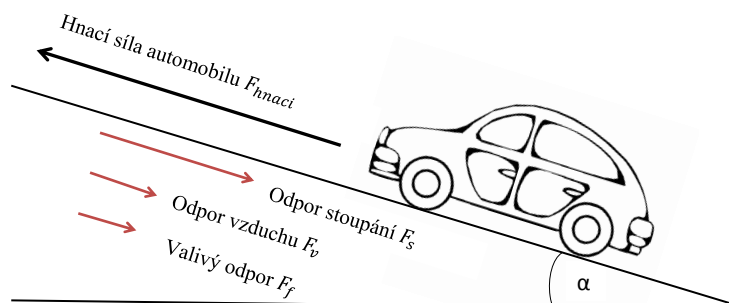
Translační pohyb je založen na pohybu těžiště tělesa po určité trajektorii. Nezajímá nás tedy pohyb jeho jednotlivých částí. Pohybovou rovnici lze tedy definovat dle první impulsové věty: součet všech vnějších sil působících na soustavu hmotných bodů ($F = \sum F_i$) je roven časové derivaci celkové hybnosti ($p = \sum p_i$) soustavy [10].

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(mv)}{dt} = m \frac{d^2r}{dt^2} = ma \quad (3.9)$$

Naopak **rotační pohyb** je založen na druhé impulsové větě: součet momentů vnějších sil působících na soustavu hmotných bodů ($M = \sum M_i$) je roven časové derivaci celkového momentu hybnosti soustavy ($b = \sum b_i$) [10].

$$M = \frac{db}{dt} = J \frac{d\omega}{dt} \quad (3.10)$$

Máme tedy stanoveny vztahy, ze kterých vyjdeme pro výpočet hnacích sil a momentů automobilu. Nyní je třeba definovat odporové síly F_i , které budou působit proti pohybu automobilu, jak je vidět na obr. 3.7.

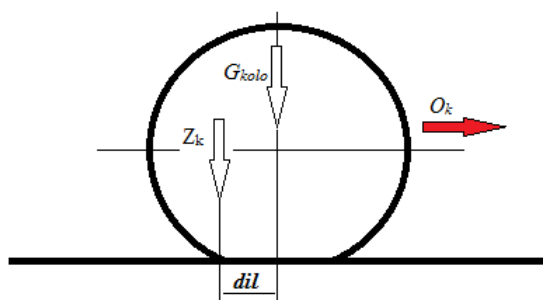


Obr. 3.7. Grafické znázornění odporových sil automobilu

$$F_{\text{celková}} = \sum F_i = F_{\text{hnací}} - F_f - F_v - F_s \quad (3.11)$$

Valivý odpor

Pneumatika automobilu má určitou styčnou plochu s vozovkou. Při tomto styku vzniká nepatrná deformace (záleží na nahuštění pneumatik). Touto deformací se posouvá i radiální reakce vozovky Z_k o úsek dil viz obrázek č. 3.8. Je důležité říci, že radiální reakce Z_k je stejně velká jako zatížení kola.



Obr. 3.8. Odpor valení

Tímto posunem vzniká moment síly $M_f = Z_k dil$, který působí proti pohybu kola. Tento moment vyvolá vodorovnou reakci, tj. sílu, která působí proti hnací síle automobilu. Ve výpočtu je nutné zohlednit také stoupání/klesání. Výsledkem je odporová síla jednoho kola [3] (r je poloměr kola):

$$F_f = Z_k \frac{dil}{r} \cos \alpha \quad (3.12)$$

Člen $\frac{dil}{r}$ je nazýván součinitelem valivého odporu kola f_k . Tento koeficient je možné aproximovat v různých rozmezích pro různé povrchy:

Povrch	f_k	Povrch	f_k
asfalt	0.01 - 0.02	travnatý terén	0.08 - 0.15
beton	0.015 - 0.025	hluboký písek	0.15 - 0.30
dlažba	0.02 - 0.03	čerstvý sníh	0.20 - 0.30
polní cesta - suchá	0.04 - 0.15	bahnitá půda	0.20 - 0.40
polní cesta - mokrá	0.08 - 0.20	náledí	0.01 - 0.02

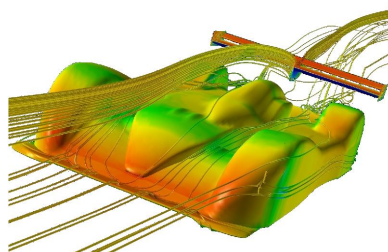
Tab. 3.1. Součinitel valivého odporu pro různé povrchy [3]

Odpor vzduchu

Při pohybu vozidla vzniká odporová síla, způsobená odporem vzduchu, jímž auto při pohybu proniká. Část tohoto vzduchu proudí kolem okolní části karosérie a zbytek se musí protlačit mezi vozidlem a vozovkou. Tyto dvě části proudícího vzduchu se za vozidlem neuzavírají, ale vytvoří tzv. aerodynamický vír. Celkový vzdušný odpor vozidla se určuje z běžného aerodynamického vztahu:

$$F_v = \frac{1}{2} c_x \rho S_x v^2 \quad (3.13)$$

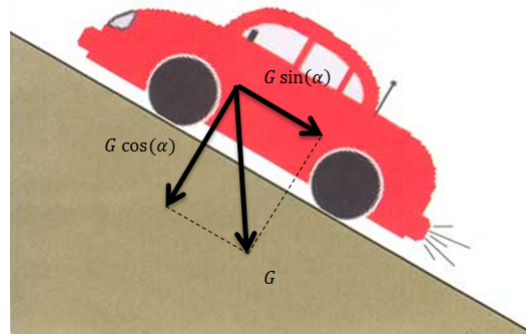
kde, v je rychlost proudícího vzduchu, c_x je součinitel vzdušného odporu, S_x je čelní plocha vozidla a ρ je hustota vzduchu. Příklad proudění vzduchu kolem vozidla je na obr. 3.9. Na tomto obrázku jsou znázorněny proudnice pomyslnými čarami a poté různobarevné plochy automobilu, dle působícího odporu vzduchu. Škála barev je volena od tmavě rudé do světle zelené, tj. od částí s největším odporem vzduchu po části karoserie, které působí méně proti proudícímu vzduchu.



Obr. 3.9. Proudění vzduchu kolem vozidla [17]

Odpor stoupání

Odpor stoupání je způsoben sklonem vozovky, který je dán různým profilem terénu. Jedná se tedy o stoupání nebo klesání. Odporová síla je poté stanovena jako složka tíhové síly vozidla vodorovná s povrchem, viz obr. 3.10.



Obr. 3.10. Složky tíhové síly G při stoupání

Odporová síla stoupání je tedy dána vztahem:

$$F_s = \pm G \sin(\alpha) \quad (3.14)$$

Brzdy

V neposlední řadě je zde důležité zmínit odpor, který je pro náš automobil chtěný. Jedná se o brzdou sílu, která je vyvolaná sešlápnutím brzdového pedálu. Působení této síly pramení z interakce brzdných destiček a kotouče brzdy. Tyto dva elementy jsou přitlačovány k sobě. Vzniká reakční moment, který působí proti momentu přenášeného na kola automobilu.

Ostatní odpory

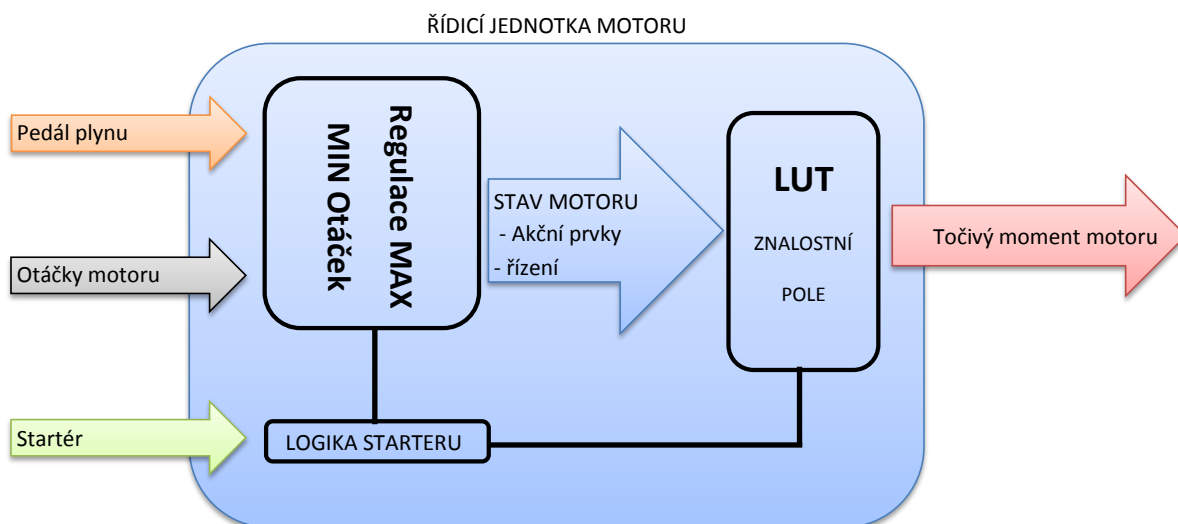
Mezi tyto odpory lze zařadit ještě odpor zrychlení, tření ložisek a další síly působící proti pohybu vozu. V našem případě budeme charakterizovat tyto odpory jednoduchým znalostním polem (LUT).

3.3 Model motoru

Základním stavebním kamenem modelu automobilu je tedy model motoru, který pomocí polohy plynového pedálu vytvoří určitý točivý moment spálením daného objemu paliva. Vytvořený moment samozřejmě závisí na aktuálních otáčkách motoru.

Řídicí jednotka motoru - Engine Control Unit

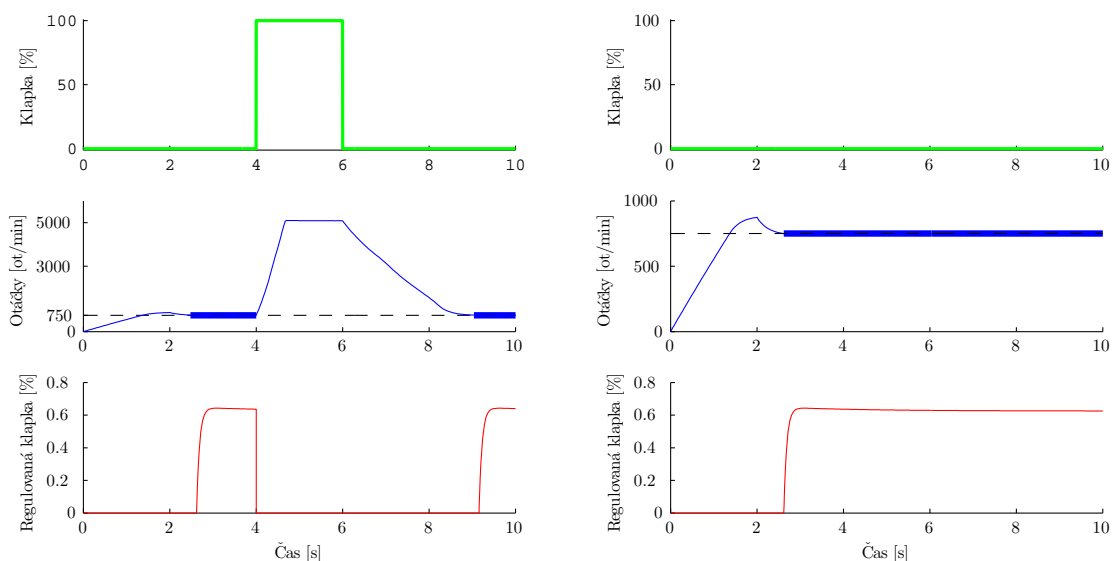
Řídicí jednotka realizuje řízení spalování, které zajišťují správný chod motoru. Kontroluje tlak oleje, provozní teplotu, hladinu oleje a chladicí kapaliny a další důležité provozní hodnoty. Základní vstupy, výstupy a funkce s jejich logickou posloupností jsou zobrazeny na obr. č. 3.11.



Obr. 3.11. Funkční diagram ECU a bloku motoru

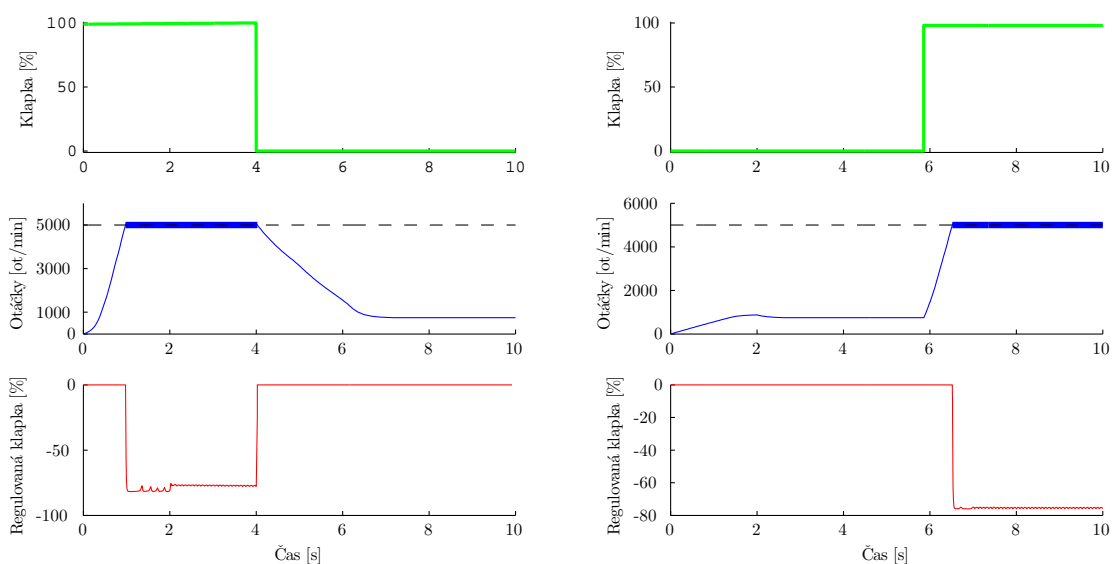
Jednou z funkcí je regulace volnoběžných otáček. Předcházíme tím zastavení činnosti motoru při nulové reakci pedálu plynu. V modelu je implementován PI regulátor. Jeho nastavení lze jen s těžší provést heuristickou metodou, jelikož systém je silně nelineární. Provedli jsme tedy nastavení iterační metodou odhadu (pokus omyl) pro model motoru bez zatížení. Na obr. 3.12 jsou vidět odezvy regulátoru volnoběžných otáček na dva různé vstupy v podobě sešlápnutí pedálu plynu (nesešlápnutý a sešlápnutí podobné pulzu). V obou situacích zareaguje motor na vstup změnou otáček. Nejdříve je zde fáze nastartování a poté dle hodnoty otáček zareaguje regulátor. Jeho reakce je vidět na grafech v posledním řádku. Úsek, ve kterém je regulátor aktivní, je znázorněn tlustou čarou. Ještě je důležité dodat, že výsledek v podobě reakce regulátoru je přičítán k hodnotě otevření škrtící klapky, kterou zvolil uživatel. Jde tedy jen čistě o odezvu regulátoru.

3 VYTVOŘENÍ MODELU BENZÍNOVÉHO AUTOMOBILU



Obr. 3.12. Reakce regulátoru volnoběžných otáček

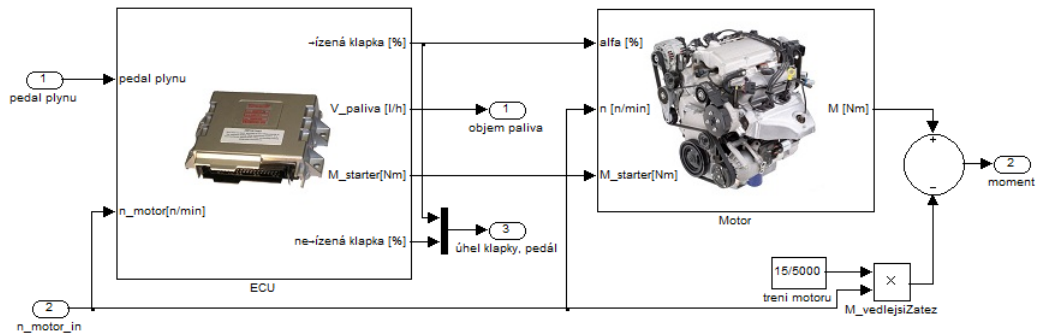
Dále bude ECU zajišťovat regulaci motoru při vysokých otáčkách, při kterých má spalovací motor nižší účinnost a které můžou poškodit jeho konstrukci. Regulátor tedy zajistí, aby nedošlo k překročení otáček motoru nad maximální povolené otáčky, obr. 3.13. Výsledky jsou opět zobrazeny stejně jako výsledky volnoběžného regulátoru. Tlustá čára značí oblast aktivity regulátoru dle jedné ze dvou variant vstupních nastavení.



Obr. 3.13. Reakce regulátoru maximálních otáček

3 VYTVOŘENÍ MODELU BENZÍNOVÉHO AUTOMOBILU

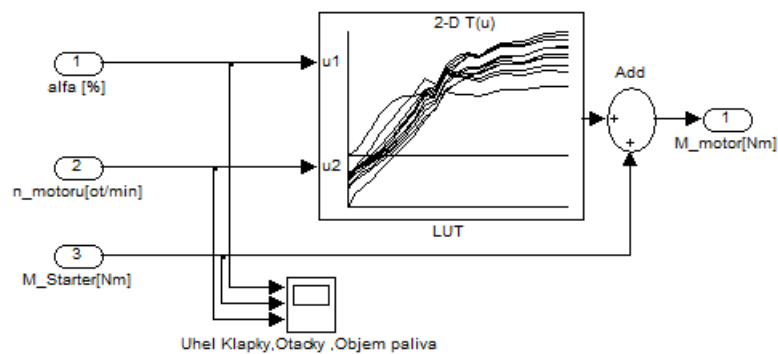
V neposlední řadě se tato jednotka bude starat o logiku nastartování, protože spalovacímu motoru je třeba dodat určitý točivý moment, aby došlo k roztočení. Tento děj můžeme již pozorovat v obr. 3.12, kde dojde nejdříve k roztočení motoru startérem.



Obr. 3.14. Model motoru automobilu

Blok motoru

Blok motoru je v našem případě založen na znalostním poli. Jak již bylo řečeno v předešlých částech práce, realizace spalovacího motoru bude provedena pomocí znalostního pole (viz kapitola o hnacích charakteristikách 3.2.2), které v sobě obsahuje celkovou informaci o spalovacím motoru jako takovém.

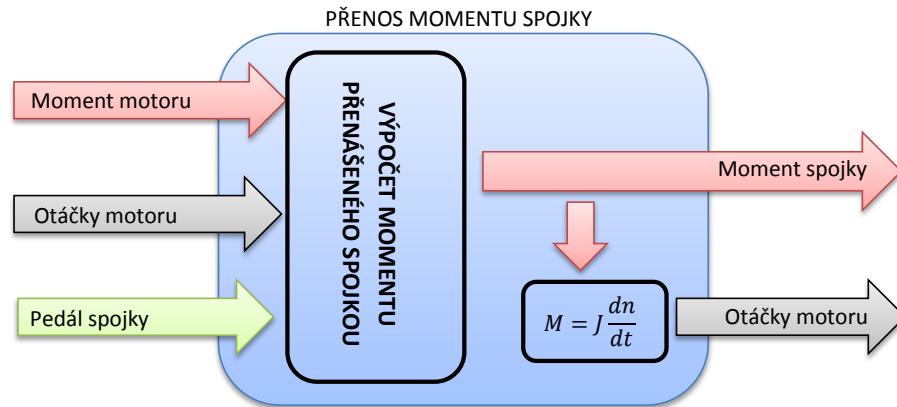


Obr. 3.15. Model bloku motoru

3.4 Spojka

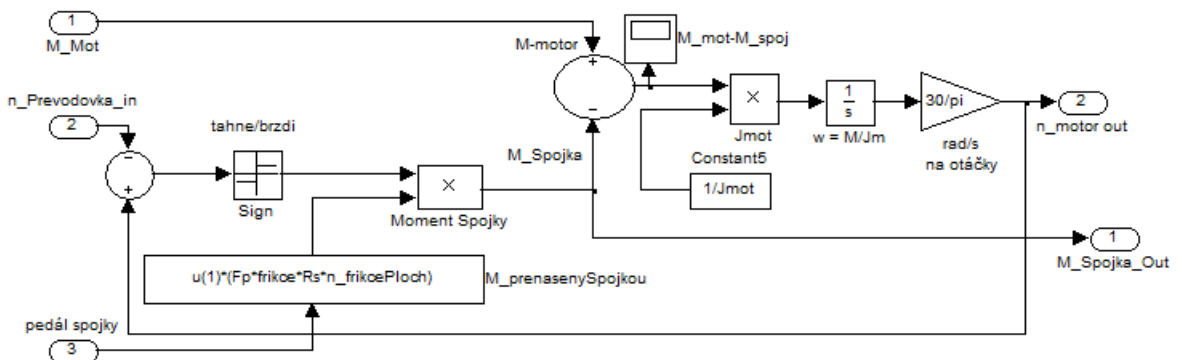
Další částí modelu, do které přichází informace o vytvořeném momentu od bloku motoru, je spojka. Zde záleží na otáčkách před a za spojkou, poté spojka automobil buď žene, či brzdí třením jednotlivých styčných ploch. Velikost třecí síly a tedy i momentu, který spojka přenáší záleží na další vstupní

veličině a to sešlápnutí pedálu spojky. Díky těmto parametrům lze namodelovat jednoduché chování, které je popsáno diagramem na obr.3.16.



Obr. 3.16. Funkční diagram spojky

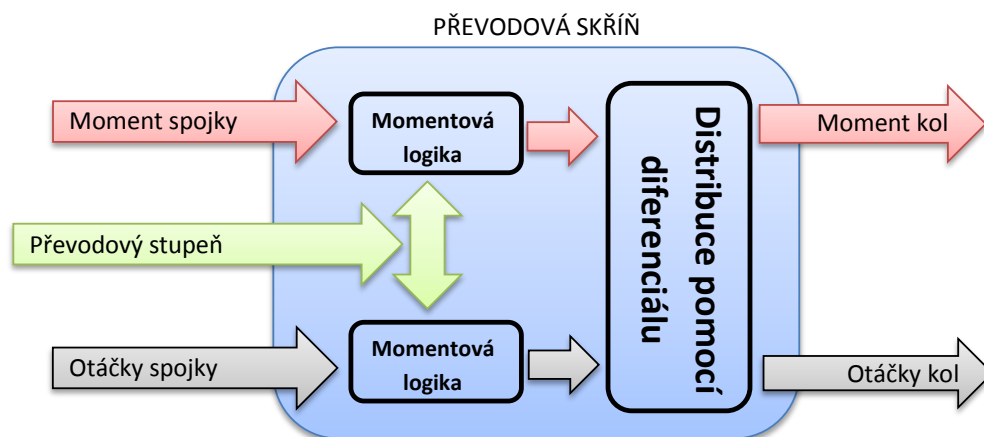
Následná modelová realizace spojky je vidět na obr. 3.17.



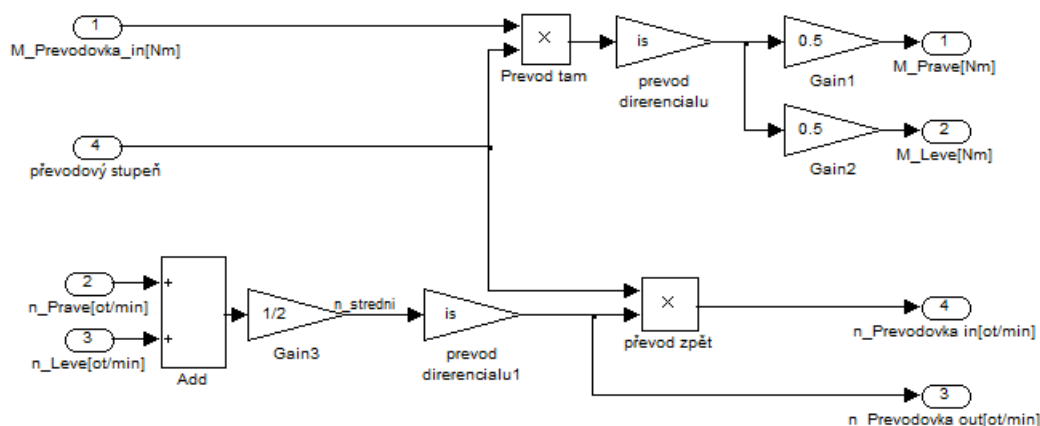
Obr. 3.17. Model spojky

3.5 Převodová skříň a diferenciál

Z teorie víme, že v převodové skříni a v diferenciálu probíhá změna momentu a otáček, dle zvoleného převodového stupně. Diferenciál jsme implementovali spolu s převodovkou, jelikož často bývá přidělán přímo na bloku převodové skříně. Funkční schéma převodovky a následná realizace je vidět na obr.3.18 a 3.19. V tomto modelu prozatím neřešíme automatické řazení jednotlivých stupňů.



Obr. 3.18. Funkční diagram převodovky a diferencálu

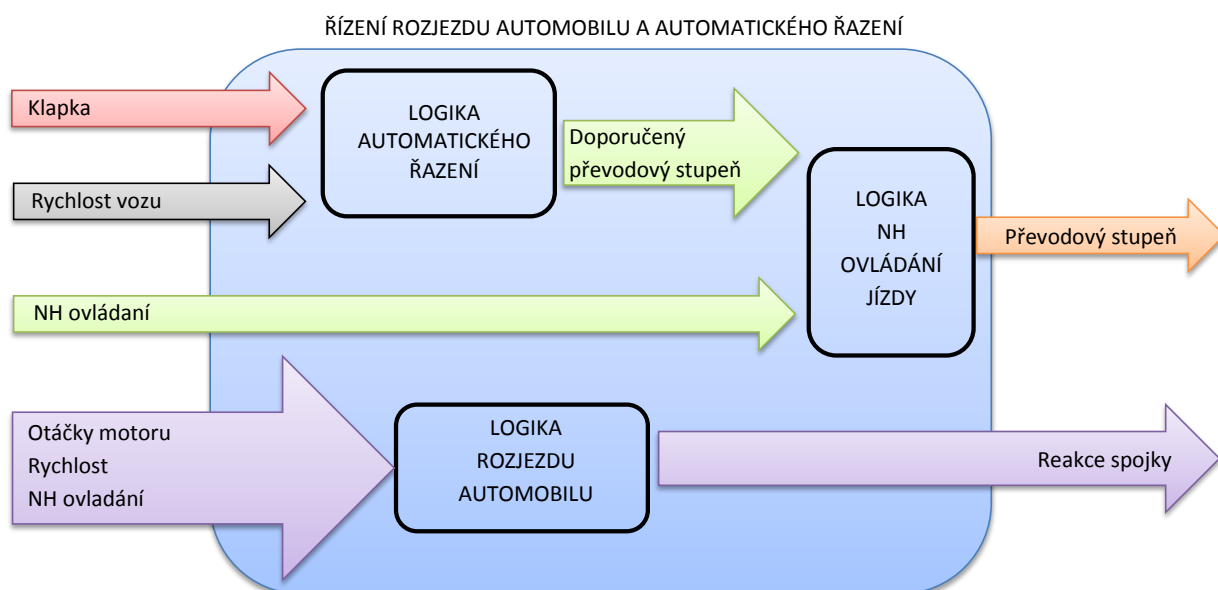


Obr. 3.19. Model převodovky a diferencálu

3.6 Automatické řazení převodových stupňů a řízení rozjezdu

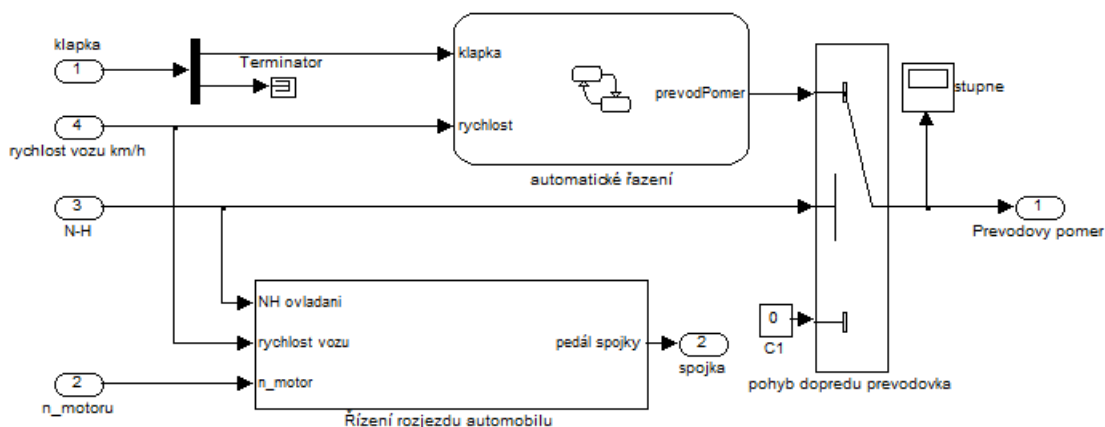
Automatické řazení a řízení rozjezdu nám v modelu velice ulehčí řízení celého automobilu. Modelu automobilu poskytneme prakticky jen informaci zda řidič chce jet a zda chce brzdit nebo přidávat plyn. Poté automatická převodovka vybere převodový stupeň dle logiky, kterou v další sekci rozebereme, a pokud se auto rozjíždí z nulové rychlosti, poté tato automatika zprostředkuje i pomalý rozjezd s postupným spínáním spojky. Funkce této části a jejich chronologická návaznost je popsána na obr. 3.20.

3 VYTVOŘENÍ MODELU BENZÍNOVÉHO AUTOMOBILU



Obr. 3.20. Funkční diagram automatického řazení a řízení rozjezdu automobilu

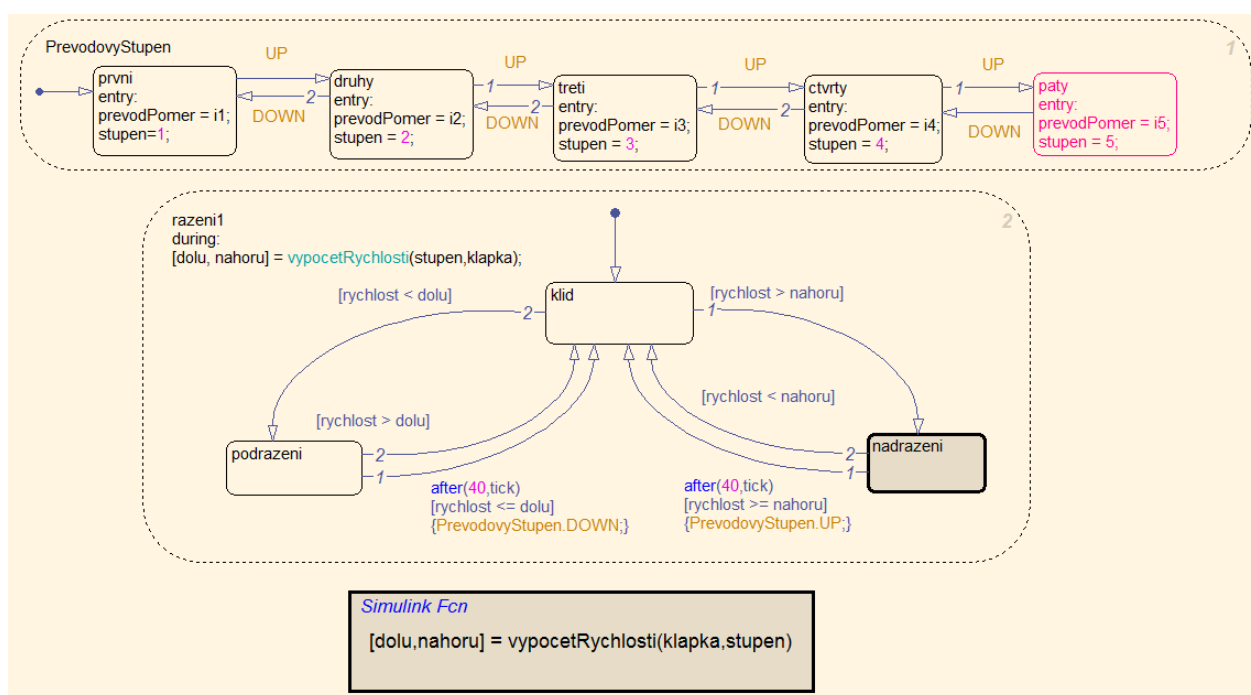
Modelová realizace této části je tvořena ze dvou částí (řízení rozjezdu a jednotka automatické převodovky), viz obr. 3.21.



Obr. 3.21. Modelová realizace automatické převodovky a řízení rozjezdu automobilu

3 VYTVOŘENÍ MODELU BENZÍNOVÉHO AUTOMOBILU

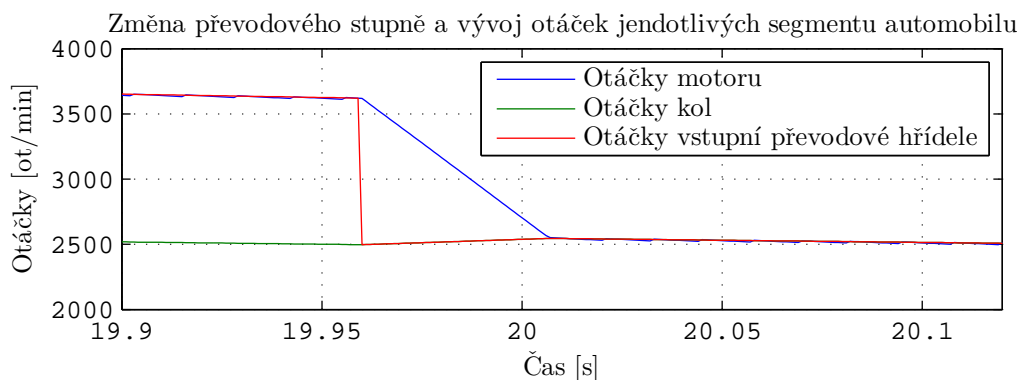
Dalším bodem, kterému se budeme věnovat je **model jednotky automatického řazení**, který jsme realizovali pomocí datových polí a nástroje stavové logiky, viz obr. 3.22. Jednotka má dva vstupy, rychlost a polohu škrtkovací klapky. Dle těchto dvou hodnot se ve znalostních polích nalezne doporučený převodový stupeň (nadřazení nebo podřazení). Pokud tento stav potřeby nadřazení/podřazení setrvává po určitou dobu (nešlo tedy jen o rychlé sešlápnutí pedálu plynu), poté dojde k přeřazení rychlosti.



Obr. 3.22. Model řídicí jednotky automatické převodovky automobilu

Toto je velmi efektivní stavová logika, která je závislá pouze na výše zmíněných datových polích (LUT), které jsme pro daný model zvolili odhadem.

Ještě bychom mohli dodat, že mezi řazením těchto rychlostí již neuvažujeme sepínání spojky. Ke změně převodového stupně dojde skokovitě, to znamená, že se otáčky hnané hřídele převodové skříňe skokově změní. Poté se dle architektury modelu a druhu zvolených výpočtů tento rozdíl otáček srovná, viz obr. 3.23.

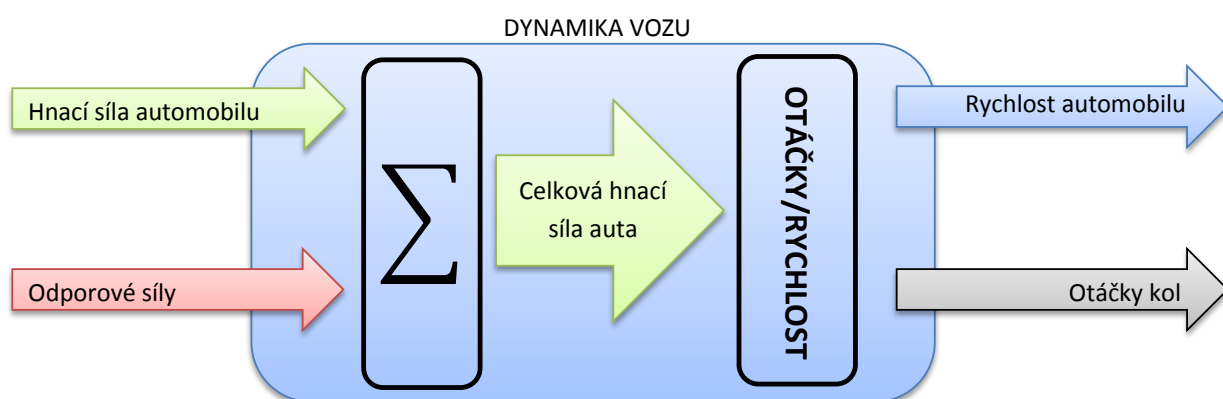


Obr. 3.23. Vývoj otáček při změně převodového stupně

Strojově je tento úkon (u základních automatických převodovek DSG) realizován pomocí dvou spojek (jedna pro liché a jedna pro sudé převodové stupně). To znamená že další převodový stupeň je vždy okamžitě připraven spolu s rozepnutou spojkou [4].

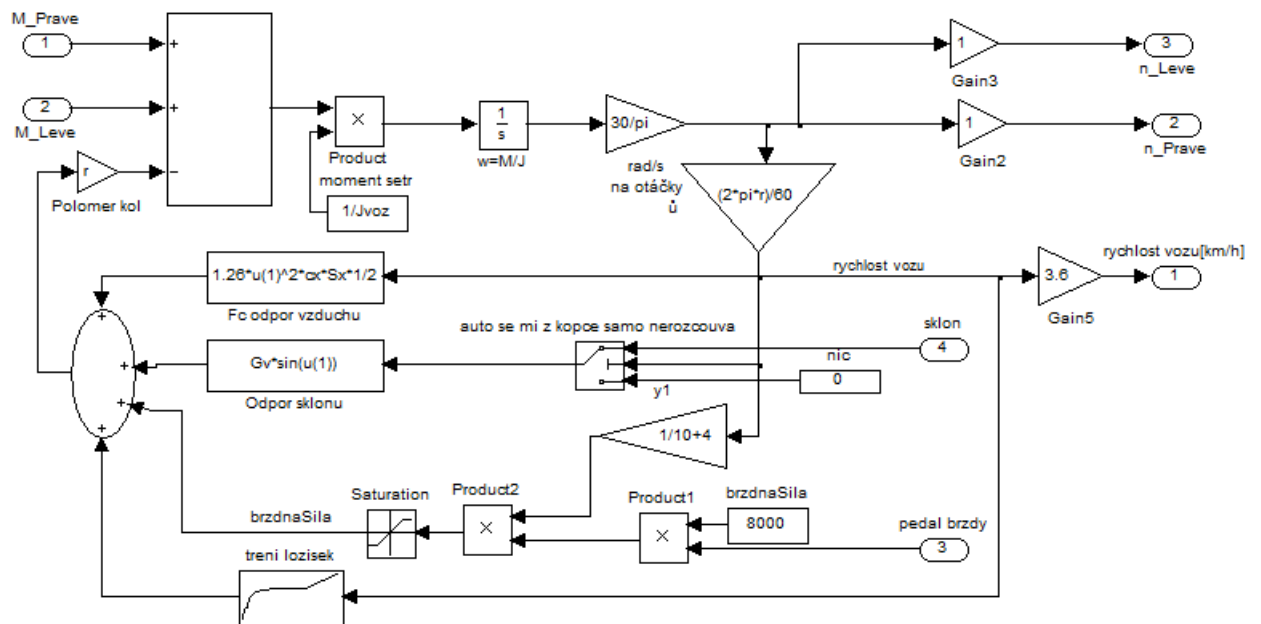
3.7 Dynamika automobilu

Pod pojmem dynamika automobilu si nyní představíme interakci vozu s prostředím, tedy přenos točivého momentu na vozovku a jednotlivé odporové síly které proti pohybu vozu působí. Jmenovitě se jedná o odpor vzduchu, odpor sklonu vozovky, valivý odpor a reakční síla od brzd automobilu. Symbolické zobrazení výpočtu a následná modelová realizace jsou vidět na obr. 3.24. a 3.25.



Obr. 3.24. Funkční diagram pohybu automobilu

3 VYTVOŘENÍ MODELU BENZÍNOVÉHO AUTOMOBILU



Obr. 3.25. Modelová realizace pohybu automobilu

Celkový model automobilu může čtenář nalézt v přílohouvé části na konci práce, viz obr. 8.3. Zde je symbolicky vidět, do jaké hloubky byla zvolena architektura modelu a jakými fyzikálními vazbami jsou spojeny jednotlivé bloky.

Nyní máme předpřipravený matematický model automobilu, který reaguje na vnější a vnitřní vstupní parametry a zároveň nám dostatečnou úrovní popisuje reálné vozidlo pohybující se na silnici.

4 Vytvoření modelu chladicího okruhu

V této části provedeme rozšíření modelu automobilu o jeho termodynamickou část (obecně řečeno chlazení motoru). Naší snahou bude zvolit hloubku a šířku systému tak, aby termodynamický model dostatečně odpovídal reálnému případu.

4.1 Požadavky a omezení modelu

Je třeba si uvědomit do jaké hloubky a šířky bude zapotřebí termodynamický model rozvinout, aby dostatečně odpovídal realitě. V našem případě se zaměříme na hlavní části tepelného systému (velký okruh, malý okruh, termostat a čerpadlo). Zde probíhají nezanedbatelné tepelné procesy, které jsou důležité pro správnou funkčnost automobilu.

Ostatní skutečnosti jako například ztráty způsobené vedením chladicí kapaliny nebo přesná analýza přestupů tepla v jednotlivých částech pomineme. Chladicí systém budeme předpokládat v základním tvaru. Konkrétně tedy velký a malý okruh propojený termostatem a hnaným nuceným čerpadlem.

Zvolíme tedy hlavní tepelné uzly termodynamického systému (čerpadlo, termostat, chladič a topení kabiny) a informační kanály mezi nimi (pryžové hadice vedoucí chladicí kapalinu). Zároveň si tímto předpřipravíme model pro další rozšíření. Jednotlivé tepelné změny vyjádříme takzvaným energetickým tokem, který charakterizuje množství energie ukryté v jednotce chladicího média.

4.2 Analýza architektury termodynamického modelu

Díky omezením termodynamického systému odvodíme potřebné teoretické vztahy. Bude se tedy jednat o systém neizolovaný vůči okolí. Okolí můžeme v tomto konkrétním případě zdefinovat jako okolní vzduch, který bude proudit jednotlivými částmi systému.

Teplo

Teplo je forma přenášené energie mezi jednotlivými částmi systému. Změna přenášeného tepla je vyvolána tepelným rozdílem, mezi jednotlivými prvky a okolím. Množství tepla lze vyjádřit rovnicí pro nekonečně malou změnu teploty systému [11], [12]:

$$\frac{dE}{dt} = mc \frac{dT}{dt} \quad (4.1)$$

Změna energie E [J] vyvolá změnu teploty T [K]. Jednotka c [$\frac{J}{kgK}$] je měrná tepelná kapacita.

První termodynamický zákon

Při teoretických úvahách bychom neměli opomenout hlavní pilíře, na kterých stojí termodynamika a které se v našem modelování zajisté promítnou. Základním je první termodynamický zákon neboli zákon o zachování energie (teplo je rovnocenné mechanické práci). Pokud uvažujeme uzavřený mechanický systém, poté změna vnitřní energie bude způsobena přidáním/odebráním tepla $U[J]$ nebo vykonáním mechanické práce $W[J]$ [11].

$$\Delta E = \Delta U - \Delta W \quad (4.2)$$

Příklad tohoto chování je vidět již v modelu motoru, kde je energie paliva přeměněna na teplo a vykonanou práci. První termodynamický zákon nám tedy vyjadřuje určitou izolovanost z pohledu přenášené energií.

Druhý termodynamický zákon

Druhý termodynamický zákon nám vyjadřuje jakýsi směr těchto přenosů energií. Uvedeme alespoň jednu z několika formulací druhého termodynamického zákona. Nelze sestavit periodicky pracující tepelný stroj, který by trvale konal práci pouze tím, že by ochlazoval jedno těleso a k žádné další změně v okolí by nedocházelo [11].

Dynamika tepelného procesu

Přenos tepla dělíme dle druhu interakce na přenos:

- vedením,
- prouděním,
- sáláním.

Hlavním druhem přenosu tepla, kterým se budeme zabývat, bude přenos pomocí proudění. Jak již bylo řečeno, elementární změna tepla je popsána vztahem 4.1. V této práci budeme prozatím předpokládat, že přenos tepla je stacionární, to znamená, že změna tepla probíhá v celém tělese stejně. Můžeme tedy tepelný prvek systému zadefinovat jako teplotní uzel [11].

Obecně můžeme tedy definovat teplo vyvolané změnou energie jako:

$$\frac{dT}{dt} = \frac{E}{k}, \quad (4.3)$$

kde $T [K]$ je teplota, $E [J]$ je energie a k je obecný parametr teplotních vlastností.

Nyní je třeba vyjádřit jednotlivé tepelné vstupy/výstupy, které do uzlů vstupují/vystupují a následně

je správně kvalitativně a kvantitativně ohodnotit. Zavedeme si tedy energetický tepelný tok vztahem [11], [13]:

$$\phi = \frac{dQ}{dt} \rho c T_{medium}, \quad (4.4)$$

kde Q [$\frac{m^3}{s}$] je průtok, ρ [$\frac{kg}{m^3}$] je hustota látky v daném toku, c [$\frac{J}{kgK}$] je měrná tepelná kapacita a T [K] je aktuální teplota toku resp. média.

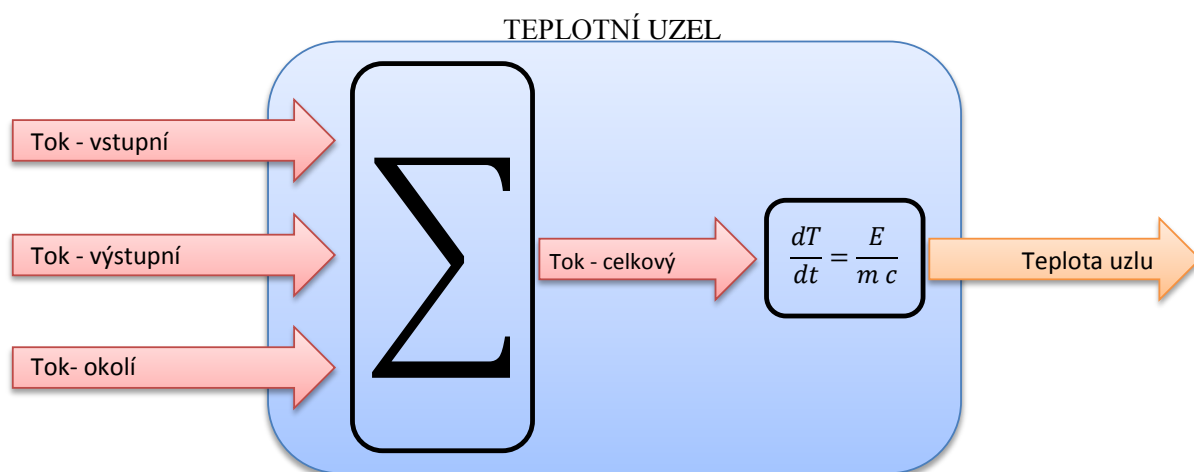
Takto vyjádřený tepelný tok slouží pro přenos energie pomocí určitého homogenního média (v našem případě vody). Pro případ přenosu tepla z okolí do kapaliny a naopak platí [13]:

$$\phi = \lambda S v \rho_{okoli} c_{okoli} |T_{okoli} - T_{medium}| \quad (4.5)$$

Zde je vidět, že průtok Q je specifikován plochou S a rychlostí v . Tato velikost průtoku je vztažena k okolnímu médiu (v našem případě vzduchu). Rozdíl teplot představuje část energie, kterou je možné přivést/odebrat z média. V neposlední řadě koeficient λ je skalární součinitel tepelné vodivosti, který charakterizuje míru přestupu tepla touto cestou.

Obecné schéma teplotního uzlu

V této části se pokusíme popsat obecný teplotní uzel, ve kterém probíhá nezanedbatelný přestup tepla určitým směrem. Příkladem takového teplotního uzlu může být chladič, blok motoru ale i obyčejné potrubní vedení chladicího systému. Každý takovýto uzel bude mít tři základní energetické tepelné toky, vstupní, výstupní a okolní, jak je vidět na obr. 4.1.



Obr. 4.1. Funkční diagram obecného teplotního uzlu

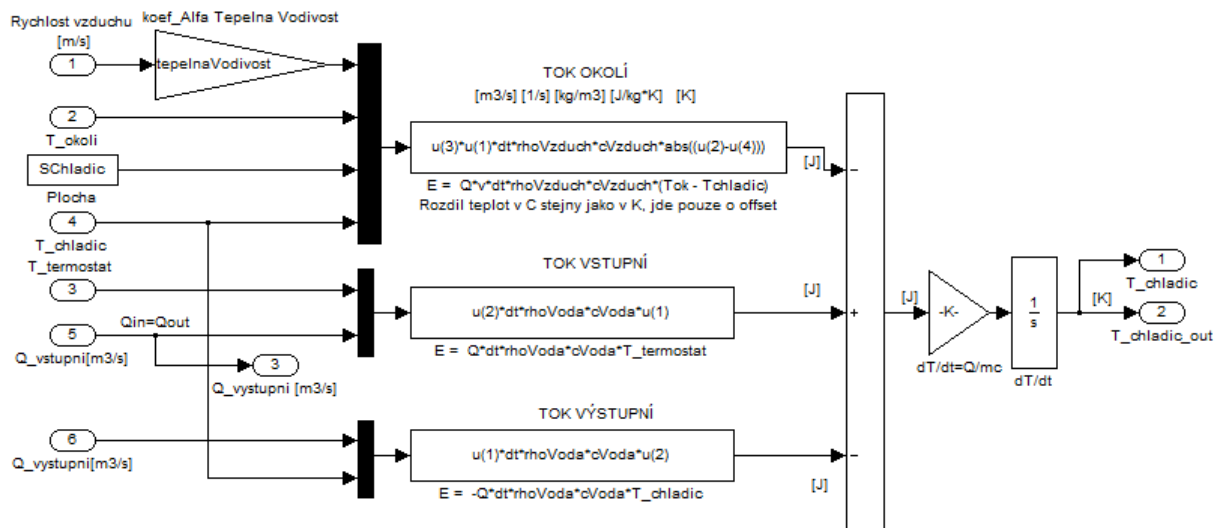
Pro tepelnou bilanci teplotního uzlu platí:

$$\begin{aligned} \frac{dT}{dt} &= \phi_{celkovy} = \phi_{vstupni} + \phi_{vystupni} + \phi_{okoli} = \\ &= \frac{dQ}{dt} \rho c T_{medium} + \frac{dQ}{dt} \rho c T + \lambda S v \rho_{okoli} c_{okoli} |T_{okoli} - T_{medium}| \end{aligned} \quad (4.6)$$

Takto nadefinovaný teplotní uzel můžeme použít prakticky v celém rozsahu termodynamického modelu. Pokud si představíme jednotlivé části, jak bylo řečeno v 2.2, můžeme je všechny ztotožnit s tímto obecným uzlem. Rozdílné budou pouze prvky jako termostat a čerpadlo, které jsou zčásti nejen termodynamickým systémem ale i mechanickým systémem. Zde bude potřeba propojit, jak termodynamickou část tak i mechanickou.

4.3 Chladič/topení kabiny

Jak již bylo řečeno, chladič popřípadě topení kabiny bude mít stejnou funkci jako každý teplotní uzel chladicího systému. Jeho funkci dostatečně popisuje diagram 4.1. Vstupním tepelným tokem rozumíme přívod horké vody, okolní tepelný tok je proud vzduchu, který proniká skrze chladič a odvádí přebytečné teplo, výstupní tok je ve své podstatě zpětná vazba od výstupu chladiče zpět na jeho vstup. U okolního teplotního toku je důležité zmínit ještě ventilátor, který u chladiče odstraňuje možnost přehřátí motoru a u topení kabiny zprostředkovává přívod teplého vzduchu. Dále v modelu předpokládáme, že vstupní průtok je stejný jako výstupní, nedochází tedy k žádným teplotním deformacím chladiče. Jednotlivé teploty jsou ve stupních Kelvina. Model chladiče je vidět na obr. 4.2.

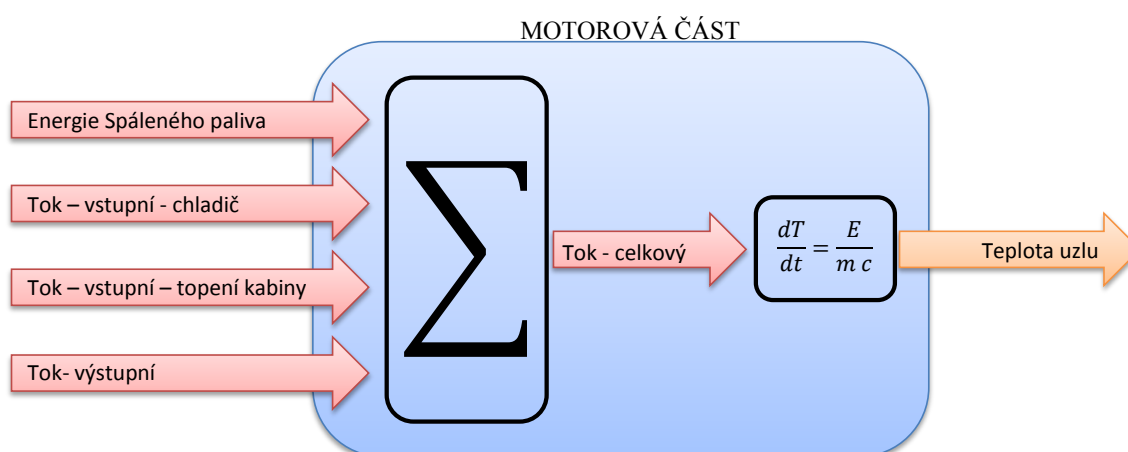


Obr. 4.2. Model chladiče automobilu

Uvádíme zde jen modelové schéma chladiče, jelikož model topení kabiny je zcela stejný, pouze jinak parametrizován.

4.4 Mísení tepelných toků v motorové části

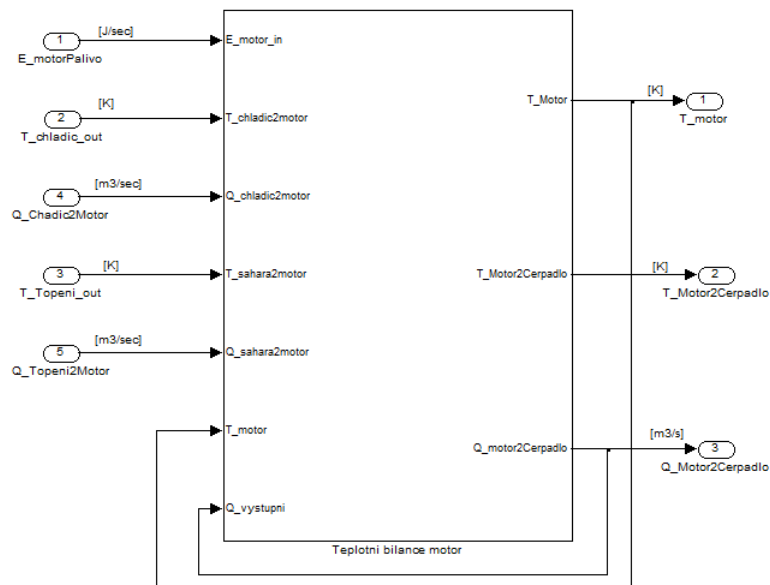
Co se týče motorové části automobilu, opět se bude jednat o teplotní uzel, ve kterém se budou mísit tepelné toky od chladiče, topení kabiny a od paliva které bylo spáleno. Samozřejmě se jedná jen o poměrnou část tepla, které bylo palivem vytvořeno, zbytek odejde spalinami nebo se přemění na hnací sílu motoru. Funkční diagram motorové části je vidět na obr.4.3.



Obr. 4.3. Funkční diagram termodynamické části motoru

Následná modelová realizace na obr.4.4 znázorňuje pouze vnější podobu modelu. Vnitřní podoba výpočtu je opět analogicky stejná jako u modelu chladiče. Jedná se tedy opět o modifikovaný teplotní uzel.

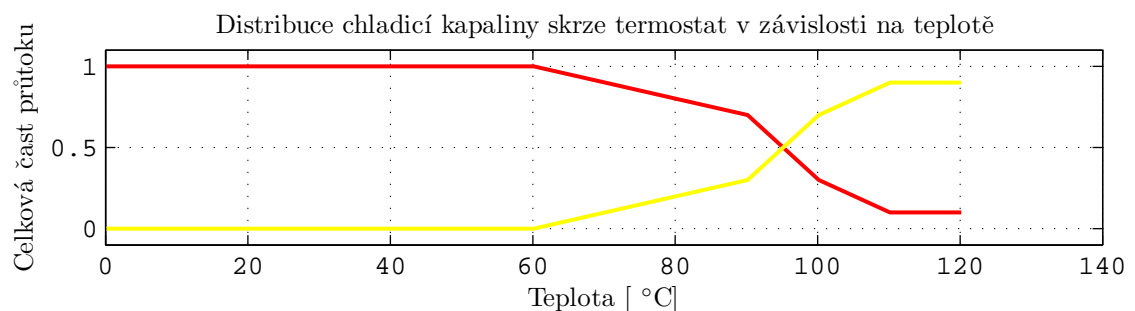
4 VYTVOŘENÍ MODELU CHLADICÍHO OKRUHU



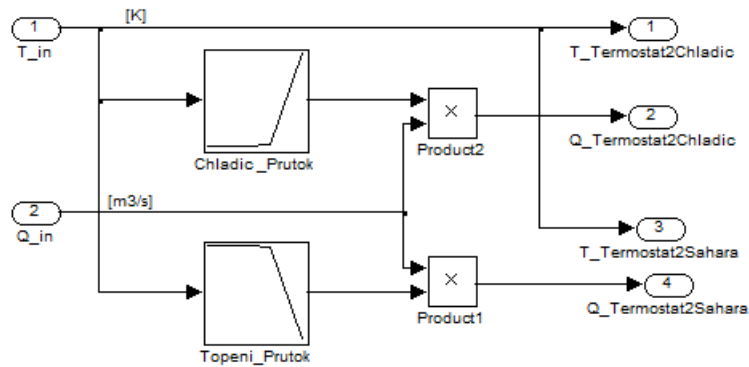
Obr. 4.4. Termodynamický model části motoru

4.5 Termostat

Funkce termostatu je dělit proud chladicí kapaliny mezi velký a malý okruh (mezi chladič a topení kabiny). Prozatím uvažujeme pouze obyčejné mechanické čerpadlo, bez jakéhokoliv řízení. Realizaci tedy můžeme provést pomocí dvou znalostních polí, které budou charakterizovat distribuovaný průtok do jednotlivých částí, zobrazení této charakteristiky je vidět na obr. 4.5. Nezávislou proměnnou zde bude teplota vstupní kapaliny. Modelová realizace termostatu je vidět na obr. 4.6.



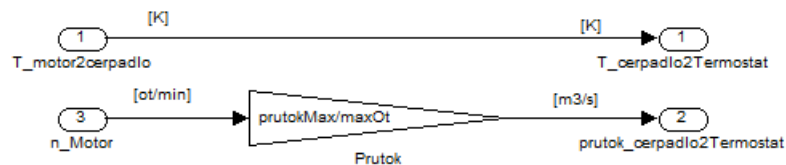
Obr. 4.5. Průtoková charakteristika termostatu



Obr. 4.6. Model termostatu

4.6 Čerpadlo chladicí kapaliny

Pro úplnost chladicího systému ještě chybí doplnit čerpadlo chladicí kapaliny. Prozatím doplníme obyčejné nucené čerpadlo, které je závislé na otáčkách klikové hřídele (je s ní mechanicky spojeno). Jeho realizace bude velmi jednoduchá. Posléze by se tento model měl stát naším středem zájmu a dalšího zkoumání při implementaci sofistikovanějšího přístupu při řízení čerpání. Modelová realizace je vidět na obr. 4.7.



Obr. 4.7. Model nuceného čerpadla

Konečný model chladicího systému a celkového systému (automobil a chladicí systém) je umístěn , kvůli své velikosti, v přílohouvé části, viz obr. 8.2, 8.1.

Nyní máme vše připraveno pro ověření celkové funkčnosti modelu. Bude třeba ověřit, zda zvolený model dostatečně popisuje realitu a zda jeho chování odpovídá předpokládanému chování. Pokud bude vše verifikováno a model splní naše předpoklady, bude možné pokusit se o implementaci sofistikovanějšího řízení čerpadla chladicí kapaliny a termostatu.

5 Ověření funkčnosti modelů v různých pracovních situacích

Modely jsme se snažili vytvořit tak, aby co nejlépe popisovaly reálnou situaci. Pro následnou verifikaci modelu automobilu a chladicího systému bude nutné nastavit mnoho proměnných, které popisují reálné chování řidiče automobilu (brzdový pedál a plynový pedál) a jízdní podmínky, ve kterých se automobil pohybuje (sklon vozovky, okolní teplotu atd.). Tyto hodnoty bude třeba volit systematicky, abychom zohlednili všechny provozní situace. Ostatní parametry, které se týkají velikosti a vlastností automobilu a chladicího systému jsou voleny ve zdrojovém kódu, viz. 8.4 a 8.5.

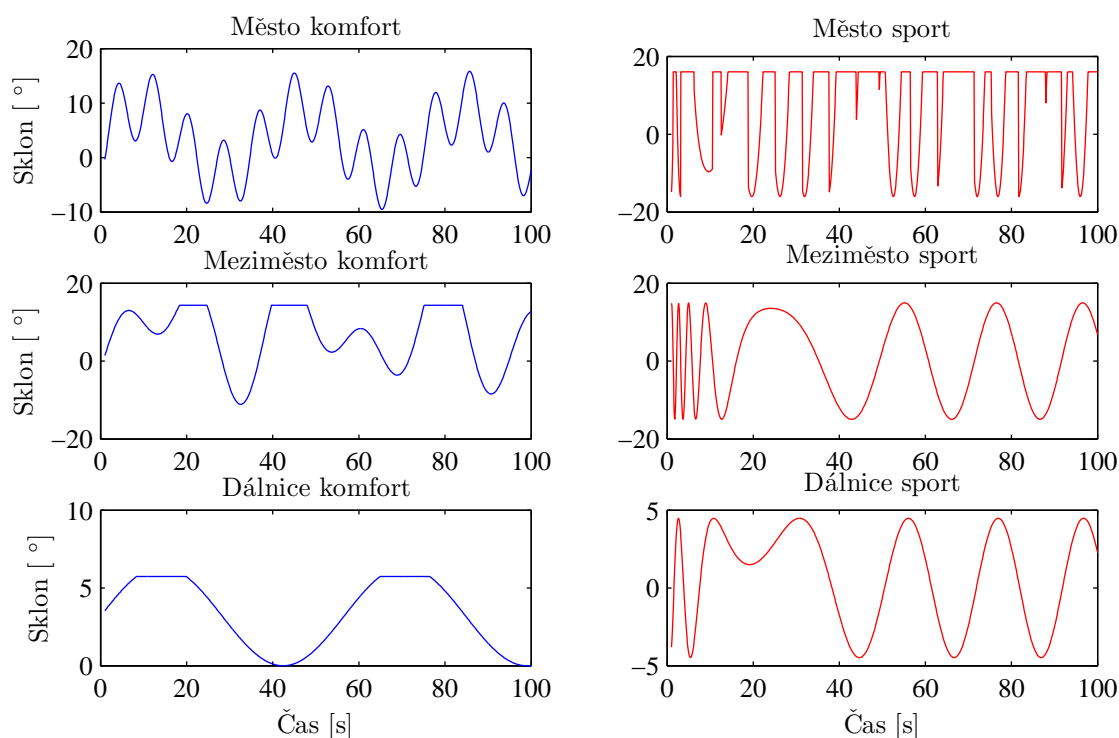
5.1 Vytvoření uživatelského rozhraní

Bude tedy vhodné připravit si scénáře pro jednotlivé pracovní situace. Tyto scénáře budou charakterizovat průběh jednotlivých jízdních parametrů v závislosti na čase. Pro přehlednost vytvoříme pro tyto scénáře uživatelské rozhraní, skrze které se simulace modelů bude spouštět. Pracovní situace jsme rozdělili do několika skupin dle vlastností řidiče a místa, kde se automobil pohybuje, viz část uživatelského rozhraní obr. 5.1.

Obr. 5.1. Uživatelské rozhraní - volba scénáře

5.1.1 Pracovní situace - profil trasy

Profil trasy je jedním z nejdůležitějších parametrů pro náš model. Různé sklony vozovky zatíží automobil odlišně. Na obr. 5.1 jsou profily trasy, které jsme zvolili. Nabídkou těchto profilů jsme pokryli nejrůznější situace, ve kterých se může automobil ocitnout. Nesmíme opomenout i poslední profil *Rovne*, který charakterizuje pohyb po rovině.



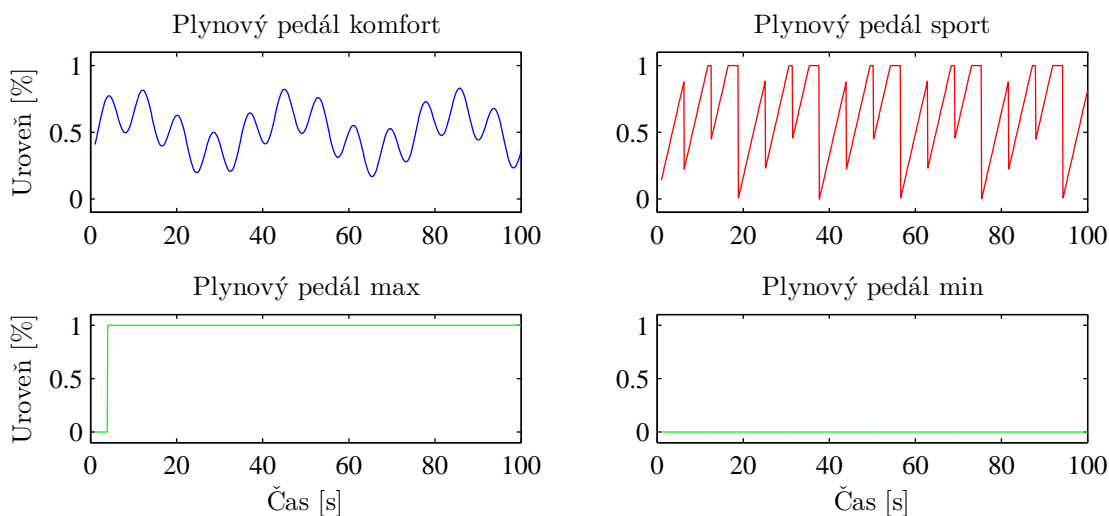
Obr. 5.2. Profily trasy

Naprostu přesně nelze říci, jaký je průměrný sklon vozovky na určitém území, proto jsme zvolili cestu odhadu. Předpokládáme, že v kopcovitých pasážích se může sklon pohybovat až okolo 16%. U dálnic bude tato hodnota samozřejmě menší. Můžeme také říci, že více proměnný a kopcovitý terén je pro testování našeho modelu užitečnější. Model automobilu se tak dostane do krajních situací (pohyb okolo maximálních povolených otáček, větší zahřívání motoru a tím i zatěžování chladicího systému).

5.1.2 Pracovní situace - plynový pedál

Můžeme říci, že sešlápnutí brzdového pedálu je úměrné výkonu motoru a vytvořenému teplu. Díky tomu dosáhneme různých výsledků pro různé typy řidičů. V našem případě jsme zvolili řidiče s agresivním stylem jízdy *Sport* a řidiče s klasickým stylem jízdy *Komfort*, dále zde ještě máme dva profily *Max*, *Min*, viz obr. 5.3. Tyto dva profily slouží pro otestování krajních situací (celou dobu maximálně sešlápnutý plynový pedál a nečinný pedál).

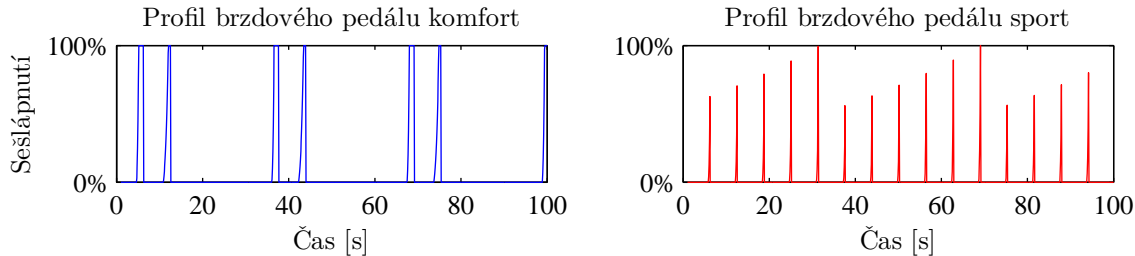
Hlavní profily *Sport* a *Komfort* jsou rozdílné v úrovni a délce sešlápnutí pedálu 5.4. Ve sportovním profilu řidiče je pedál sešlápnut až "na zem" a je zde držen po určitou dobu, po které následuje prudké uvolnění pedálu. Rozdílem oproti sportovnímu profilu řidiče je komfortní profil řidiče, kde je pedál plynule sešlapován a uvolňován, průběh je hladší.



Obr. 5.3. Plynový pedál

5.1.3 Pracovní situace - brzdový pedál

Dalším vstupem, který ovlivní chování celého systému, je brzdový pedál. Profily jsou opět zvoleny dle stylu jízdy řidiče na *Komfort*, *Sport* a *Nebrzděno*.

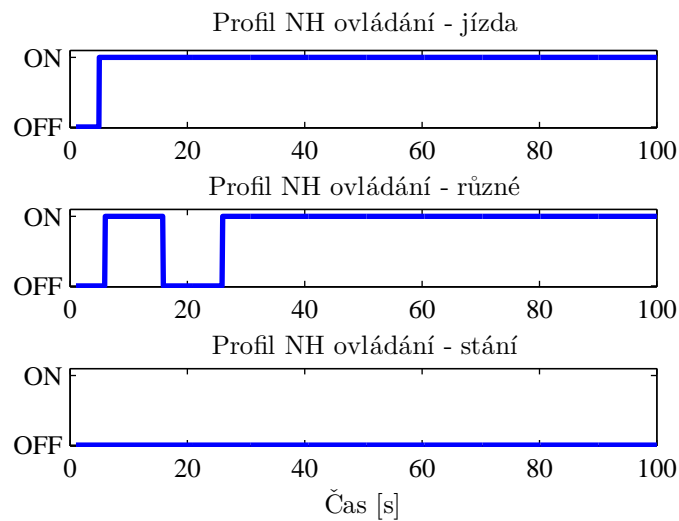


Obr. 5.4. Brzdový pedál

U komfortního profilu dochází k delším a méně důrazným brzdným úsekům. Naopak u sportovního profilu dochází k silným a krátkým brzdným úsekům.

5.1.4 Pracovní situace - NH ovládání

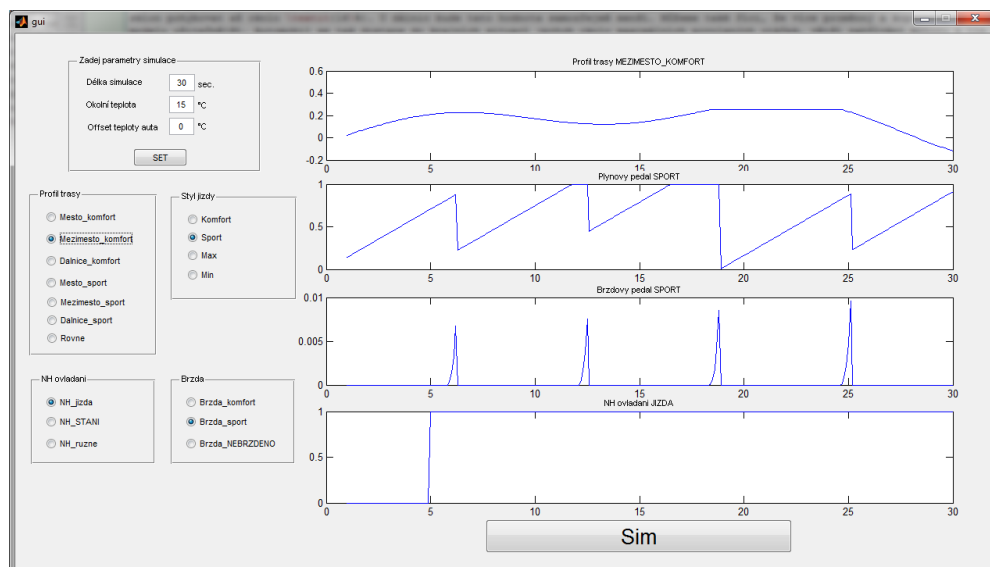
Jak již bylo řečeno v předchozích částech práce, NH ovládání je vstupem do modelu, který informuje pouze o pokynu řidiče k jízdě či k stání.



Obr. 5.5. NH ovládání

5.2 Uživatelské rozhraní

Ovládání rozhraní je zcela intuitivní, stačí zvolit délku simulace a ostatní parametry simulace (teplota okolí a offset teploty automobilu) a poté nastavit požadované druhy scénářů jízdy, které se objeví v grafech na pravé straně.

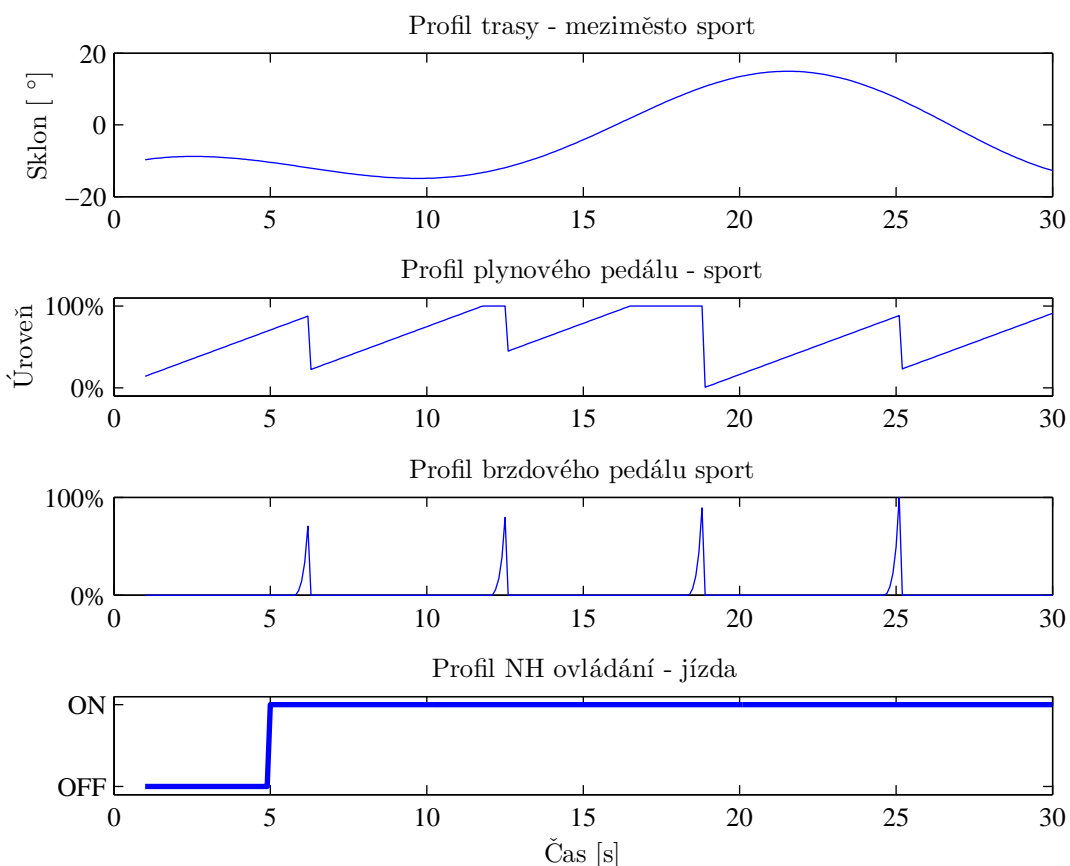


Obr. 5.6. Uživatelské rozhraní

Nyní máme vše připravené pro následné spuštění simulace a ověření funkčnosti modelů.

5.3 Simulace celkového modelu - varianta č.1

Simulaci obou modelu provedeme pro scénář jízdy mezi městy sportovní jízdou (profil brzdy i plynu). Pro lepší orientaci rozdělíme výsledky do jednotlivých grafů, které se pokusíme podrobně popsat. Pro ilustraci uvádíme nastavení vstupních parametrů na obr. 5.7.



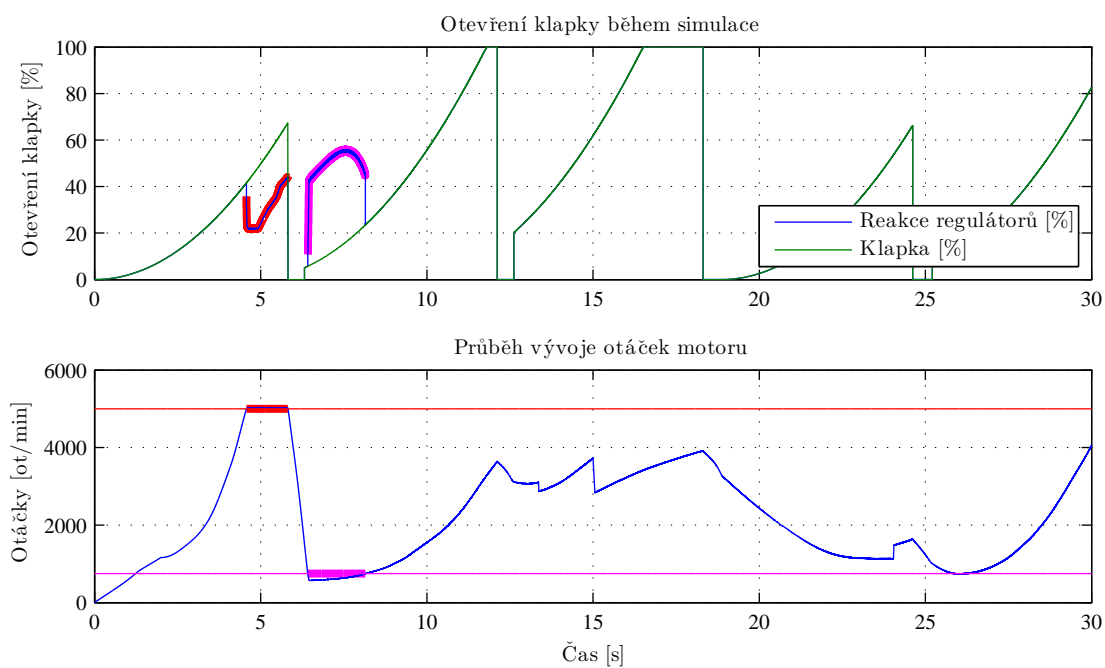
Obr. 5.7. Nastavení vstupních parametrů varianta 1

Simulaci provedeme pouze pro časový úsek 30s. Dynamika automobilu je v porovnání s dynamikou termodynamického modelu chladicího systému rychlá. Díky tomu se většina funkčních vlastností modelu (řazení, regulace otáček, vliv sklonu atd.) projeví rychle.

5.3.1 Simulace modelu automobilu

Na následujícím grafu je popsán vývoj otevření klapky v čase 5.8. Celkem jsou zde dvě křivky. První z nich popisuje reakci regulátorů, tedy absolutní hodnotu, která je již zpracována regulátorem volnoběžných otáček (750 ot/min) a regulátorem maximálních otáček (5000 ot/min). Zásah těchto regulátorů je vidět v grafu, kde je popsán zásah jak při překročení maximálních otáček (červený

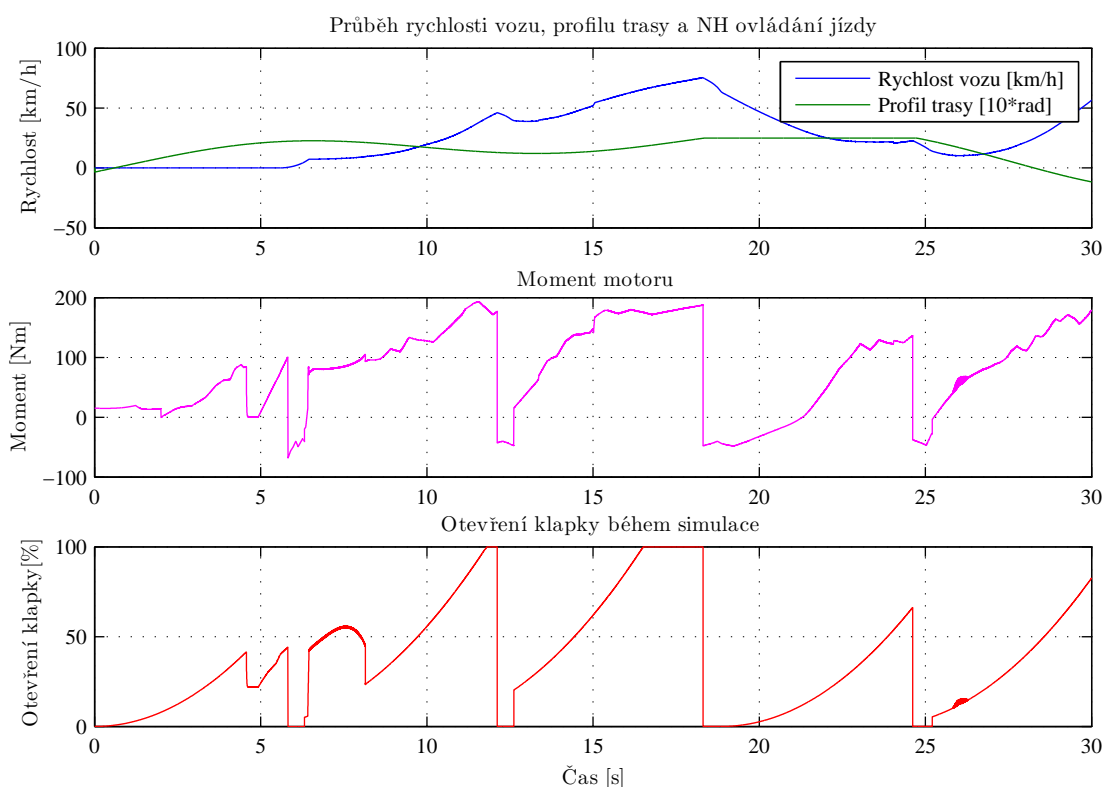
pás) tak při překročení volnoběžných otáček (fialový pás). Druhá křivka popisuje požadavek na otevření klapky, který je dán sešlápnutím plynového pedálu řidičem. V několika částech můžeme také pozorovat, že požadavek na otevření klapky je nulový jak od řidiče tak od regulátorům. Tento fakt je způsoben předřazenou logikou, která dovoluje řidiči sešlápnout buď brzdový pedál nebo plynový pedál.



Obr. 5.8. Výsledky simulace modelu automobilu - vývoj otevření klapky

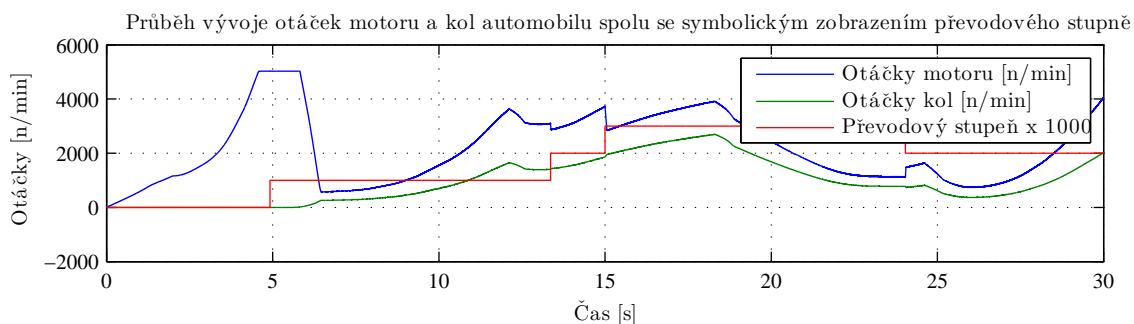
5 OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI MODELŮ V RŮZNÝCH PRACOVNÍCH SITUACÍCH

V dalších výsledcích je zobrazen vývoj rychlosti vozu, profilu trasy, otevření klapky a momentu, který vyprodukuje motor, viz obr. 5.9. Pokud srovnáme časový úsek sešlápnutí plynového pedálu (sešlápnutí odpovídá vytvoření určitého momentu) a záporného profilu trasy (v radiánech), je vidět, že automobil zvyšuje značně rychlost. Opačný jev nalezneme v časovém okamžiku, kdy není sešlápnutý plynový pedál (moment motoru je záporný, motor takzvaně "brzdí") a na automobil působí odpor stoupání, v tuto chvíli auto výrazně zpomaluje.



Obr. 5.9. Výsledky simulace modelu automobilu - průběh jízdy

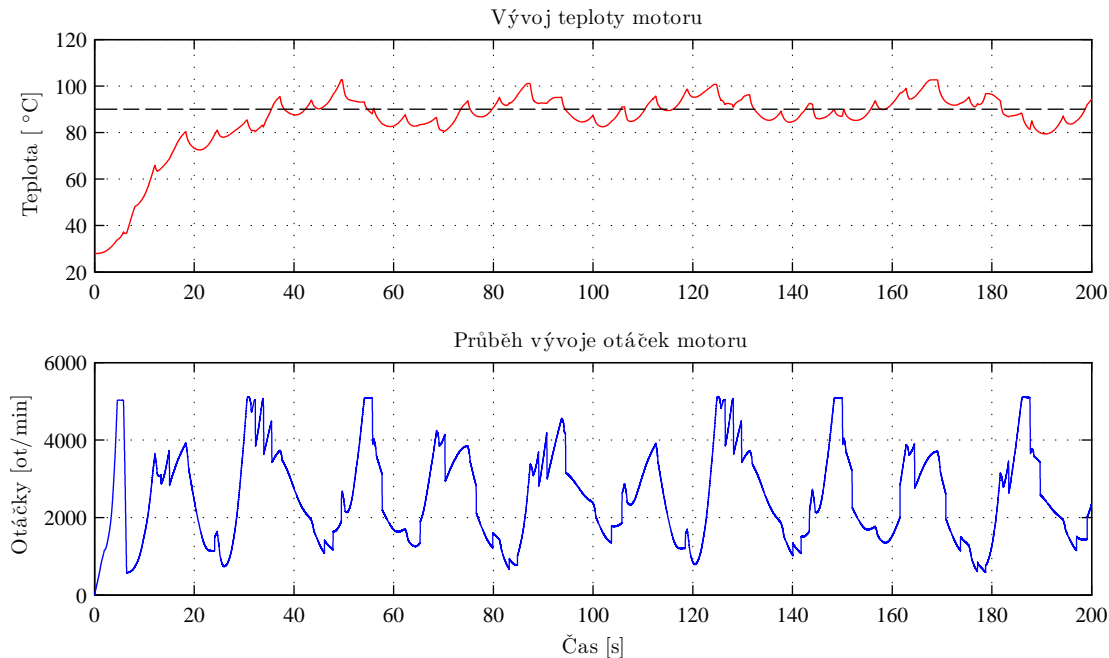
Na grafu dále je znázorněn vývoj otáček motoru a kol a rychlostní stupeň, viz obr. 5.10. Otáčky motoru a kol jsou v lineární závislosti a řídí se dle převodového poměru. V časových okamžicích, kdy je zařazen čtvrtý převodový stupeň se ukazuje, že převodový poměr je rovný jedné, protože se otáčky kol i motoru překrývají. Znázornění převodových stupňů je pouze informativní a je seřazeno od nulové hodnoty otáček vzestupně.



Obr. 5.10. Výsledky simulace modelu automobilu - vývoj otáček jednotlivých částí

5.3.2 Simulace modelu chladicího systému

Dalšími výsledky jsou vývoje termodynamických veličin z modelu chladicího systému. Opět provedeme simulaci pro určitý scénář jízdy ve městě sportovním stylem a sledujeme vývoj parametrů. Nutné je ještě podotknout, že náš termodynamický systém má velkou setrvačnost, zvolíme tedy větší délku simulace. Na prvním grafu je popsána teplota motoru a otáčky motoru, viz obr. 5.11. Tato teplota by se měla pohybovat okolo provozní teploty.

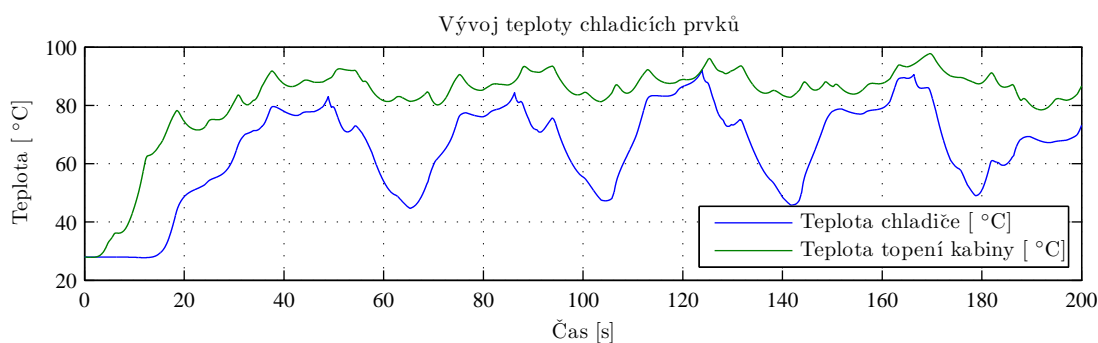


Obr. 5.11. Výsledky simulace termodynamického modelu - vývoj teploty motoru

Záchvěvy, které jsme zmiňovali, jsou způsobeny také různým průtokem malého a velkého chladicího okruhu. Změnou tohoto průtoku dochází i k různým tepelným výměnám. Tento efekt bude vysvětlen dále.

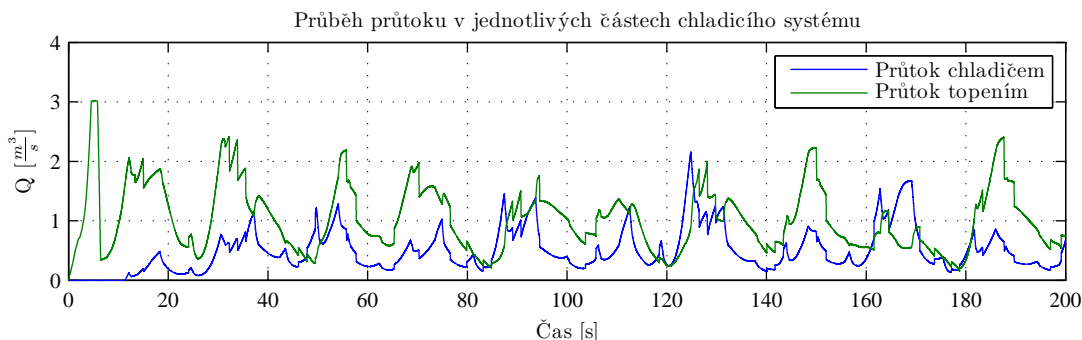
Z grafu 5.11. je zcela znatelné, že provozní teplota motoru se pohybuje v rozmezí až dvaceti stupňů Celsia. Motor je tedy střídavě zahříván a chlazen. Tento efekt má neblahý vliv na životnost jednotlivých mechanických součástek a na spotřebu paliva. Cílem naší práce je tento efekt odstranit.

Na dalším grafu jsou znázorněny vývoje teplot v chladiči a v topení kabiny 5.12. Tyto obě teploty jsou opět závislé na množství tepla vytvořeného při spalování. Zároveň jsou tyto teploty závislé na průtoku, který je distribuován do jednotlivých částí pomocí termostatu. Je tedy znatelné, že čím více roste teplota v topení kabiny, tím více se "otevřívá" termostat a zvětšuje se průtok chladicí kapaliny do chladiče a tím se i zvyšuje jeho teplota.



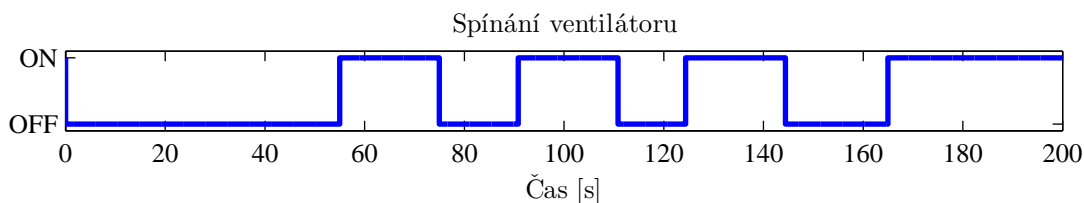
Obr. 5.12. Výsledky simulace termodynamického modelu - vývoj teplot v chlazení

Na grafu, viz 5.13, jsou vyobrazeny průtoky jednotlivými částmi systému. Tyto průtoky jsou řízeny termostatem, který dle teploty rozhodne o distribuci chladicí kapaliny. Závislost průtoku kapaliny chladičem a topením kabiny je znázorněna na obr. 4.5. Pokud tyto průtoky srovnáme s teplotami, je vidět, že interakce mezi teplotními toky fungují. Různá množství různě zahřáté kapaliny vyvolají odlišné teplotní změny. Zvláště tak můžeme pozorovat při otevírání termostatu pro průtok skrze chladič, který má větší teplotní kapacitu (díky většímu objemu) než topení kabiny.



Obr. 5.13. Výsledky simulace termodynamického modelu - průtoky jednotlivými částmi

Tento výsledek značí, že nebude nutné řídit pouze čerpadlo chladicí kapaliny, ale i termostat. Jelikož jeho otevírání a přivírání přináší do systému poruchu, jež bude zapotřebí odfiltrovat. Jedním z dalších faktorů, který silně ovlivňuje chování termodynamického modelu je ventilátor umístěný na chladiči. Tento ventilátor je zde umístěn z důvodu přehřívání celého motoru. Pokud teplota stoupne nad maximální povolenou teplotu 105°C ventilátor se zapne na daný časový interval a ochladí médium obsažené v chladiči. Průběh spínání ventilátoru je vidět na obr. 5.14.



Obr. 5.14. Výsledky simulace termodynamického modelu - spínání ventilátoru

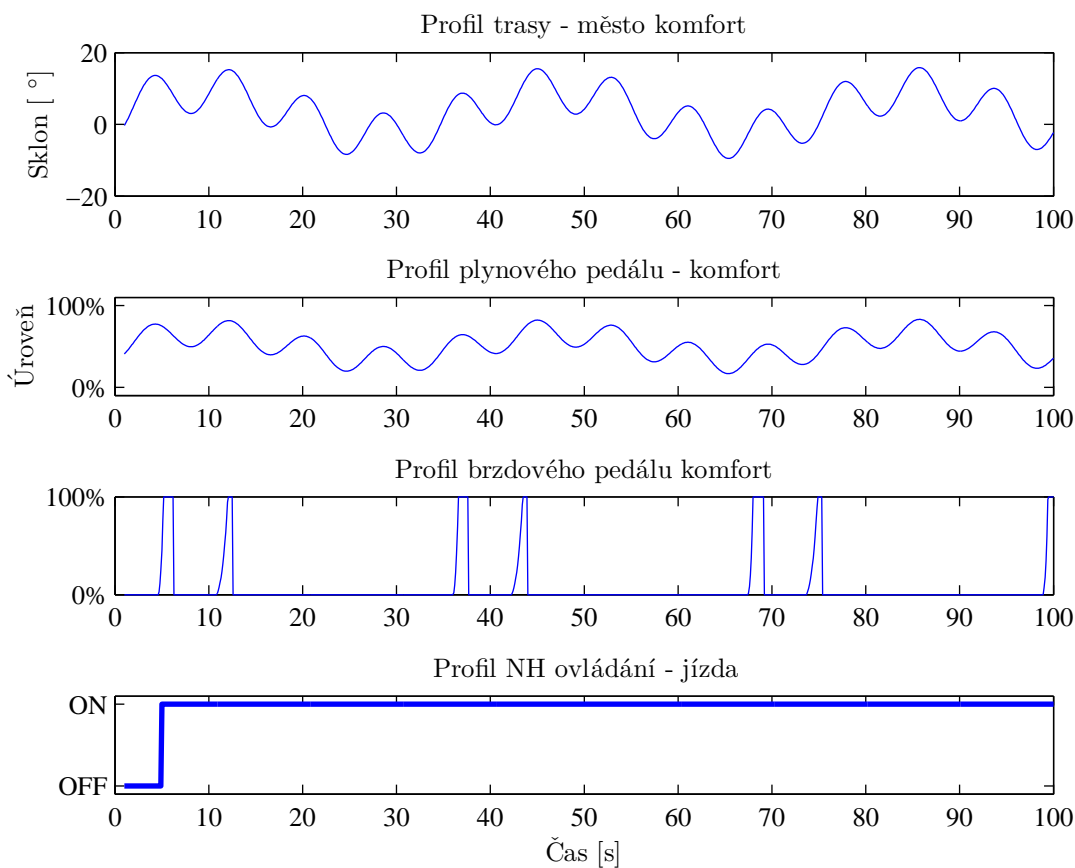
Jak je vidět, ventilátor interaguje s teplotou motoru dle její hodnoty je spínán.

5.3.3 Zhodnocení simulace

Každý z jednotlivých výsledků a grafů jsme se snažili popsat a zároveň jsme zhodnotili jeho výhody a nevýhody. U každého výsledku bylo možné pozorovat určitou funkčnost daného segmentu (řazení, chlazení, spínání spojky, regulace otáček, řízení teplot a průtoků atd.). Celkový systém se tedy chová tak, jak jsme předpokládali. Můžeme prohlásit, že model automobilu a chladicího systému odpovídá realitě na námi nadefinované úrovni.

5.4 Simulace celkového modelu - varianta č.2

Nyní uvedeme ještě jednu variantu simulace, kde je znázorněná celá sada výsledků najednou 5.16, 5.17. Jedná se o komfortní jízdu ve městě, viz obr. 5.15. Řidič se rozjede a poté se pohybuje po méně členité trase než jsou scénáře jízdy ve městě.

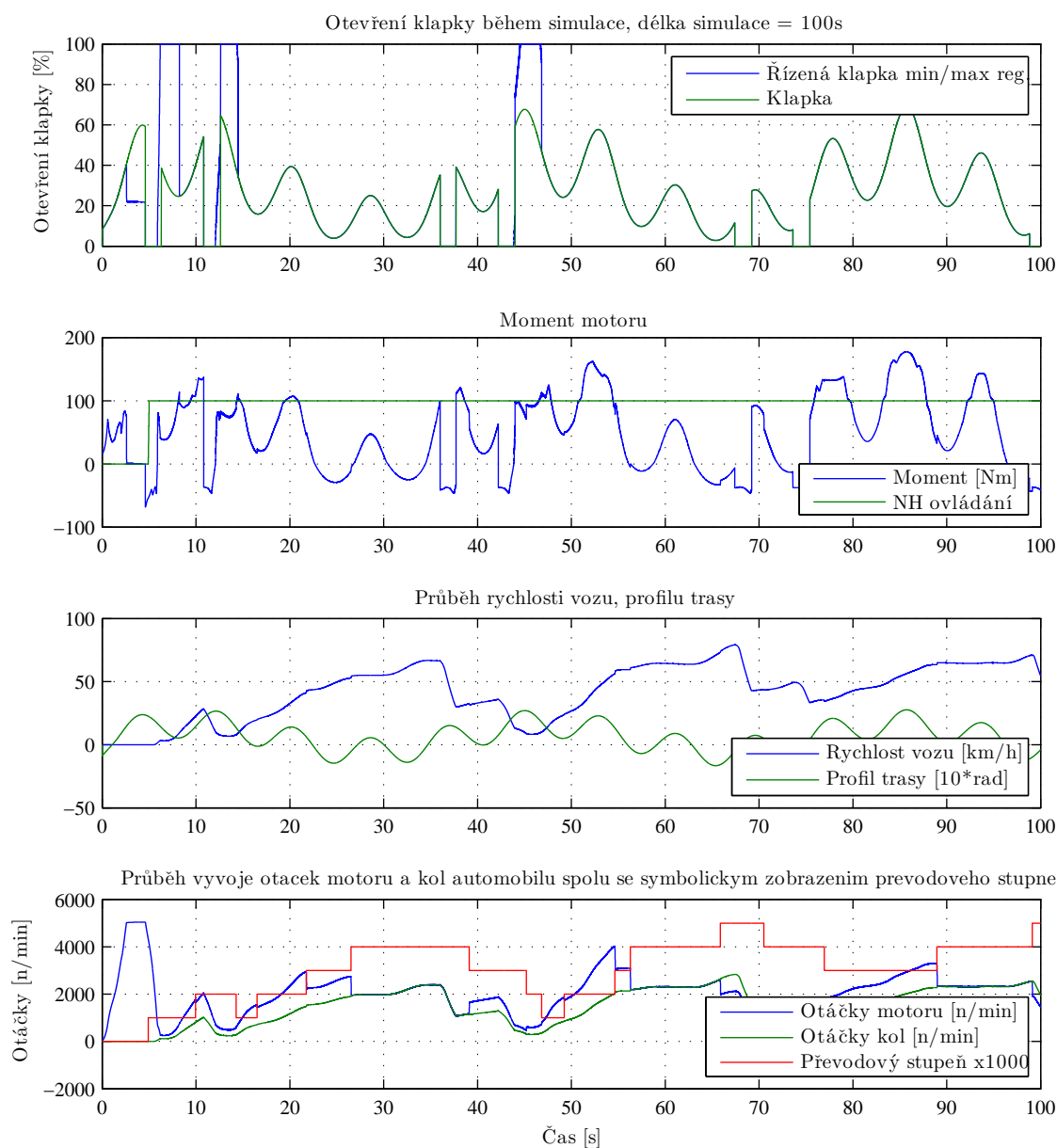


Obr. 5.15. Scénář pro simulaci varianty č. 2

Na tomto grafu je, ve své podstatě, vidět souhrnné grafické znázornění vstupních hodnot, které jsme v průběhu všech simulací používali.

5.4.1 Simulace modelu automobilu

Na následujícím grafu jsou znázorněny nejdůležitější provozní parametry modelu automobilu (otevření škrticí klapky, moment motoru, rychlost, profil trasy, převodový stupeň a otáčky jednotlivých segmentů).

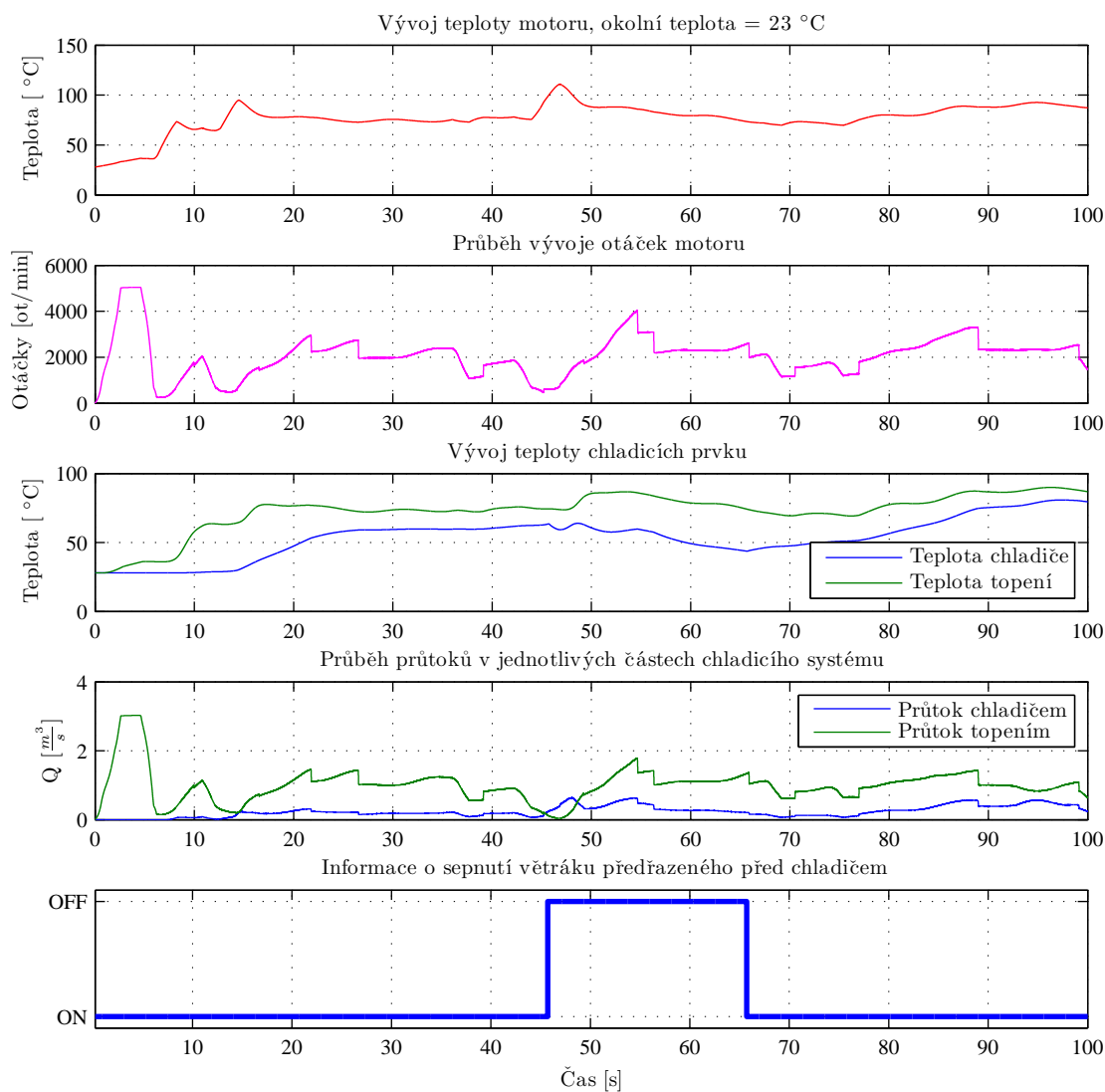


Obr. 5.16. Výsledky simulace modelu automobilu

Výsledky jsou uvedeny takto souhrnně, jelikož podrobné komentáře k jednotlivým grafům byly provedeny v předešlé kapitole.

5.4.2 Simulace modelu chladicího systému

Opět ještě uvedeme kompletní sadu výsledků, která byla stanovena dle scénáře pro druhou variantu, viz obr. 5.17. Tato varianta se liší pozvolnějšou jízdou. Předpokládáme tedy, že i chladicí systém bude na tento styl jízdy reagovat odlišně.



Obr. 5.17. Výsledky simulace termodynamického modelu

Opět jsou výsledky uvedeny jako kompletní sada grafů. Díky tomu je možné jednodušeji srovnat teplotní děje v jednotlivých časových úsecích.

5.4.3 Zhodnocení situace

Je vidět, že model automobilu opět reaguje na odlišný scénář vstupních parametrů, probíhá zde regulace volnoběžných a maximálních otáček, regulace škrticí klapky a řazení jednotlivých převodových stupňů. Mírné skokovité poklesy/pilové zuby v rychlosti vozu způsobuje záporný moment motoru. Tento moment má za následek řidič, protože místo pedálu plynu sešlápne pedál brzdy. Brzda je také nastavena na komfortní chování, tedy delší a méně razantní podbrždění.

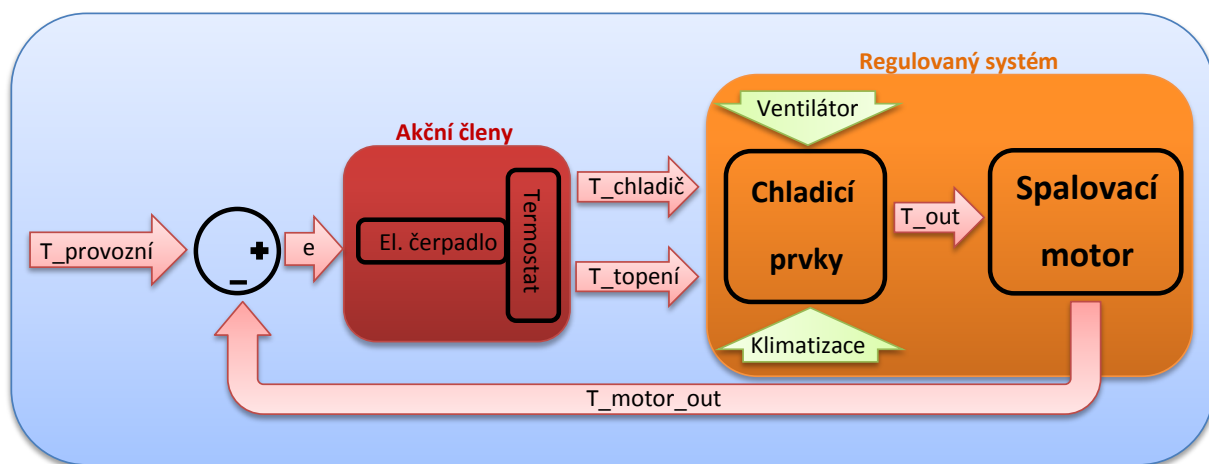
V modelu chladicího systému je vidět nejdůležitější efekt v čase, kdy se motor dostane k provozní teplotě se začne pozvolně uvolňovat termostat a malý okruh se začne mísit s velkým okruhem. Nyní je vidět jakási stagnace nárůstu teploty motoru. Průtoky v jednotlivých částech se mění a velký okruh, do kterého začala proudit více zahřátá kapalina začne zvyšovat svou teplotu. Při překročení maximální povolené teploty motoru se zapne ventilátor. Velký okruh se ochladí a odvede tím teplo i z motoru a malého okruhu.

6 Doplnění modelu o elektricky ovládané čerpadlo

Myšlenka implementace elektrického čerpadla je založena na faktu, že velikost průtoku nebude již závislá na otáčkách motoru. Čerpadlo tedy nebude mechanicky napojeno na klikovou hřídel a nebude nadále působit odporem proti točivému momentu motoru. Nejdůležitějším předpokladem je, že díky nezávislosti čerpadla na otáčkách bude možné udržovat motor přesněji v okolí provozní teploty. Tím se zlepší chod motoru a sníží spotřeba paliva, která je velice závislá právě na aktuální teplotě motoru. Nejdříve rozebereme možné způsoby řízení elektročerpadla a poté se pokusíme jeden z nich navrhnout, modelově implementovat a ověřit jeho funkčnost.

6.1 Princip regulace

Elektročerpadlo chladicí kapaliny spalovacího motoru bude mít stále stejnou funkci jako nucené čerpadlo. Čerpat chladicí médium skrze chladicí systém a regulovat teplotu motoru na provozní teplotu. Pro řízení můžeme využít velké množství pomocných proměnných, které je možné v motoru měřit. Zároveň máme informaci o požadované hodnotě resp. o regulační odchylce. Můžeme tedy aplikovat základní typy řízení jako například PI regulátor, fuzzy řízení nebo datová pole. Schéma, regulovaného systému je vidět na obr. 6.1.



Obr. 6.1. Regulační schéma chladicího systému automobilu

Jak je vidět z regulačního schématu, do akčních členů jsme zahrnuli i termostat, který svou distribucí značně ovlivňuje vývoj teploty motoru. Podobnými prvky jsou i ventilátor a klimatizace. Ze systému odčerpávají energii a tím jej ochlazují, proto se pokusíme zohlednit i jejich chování.

6.2 Návrh a realizace regulace elektročerpadla

Pro regulaci elektročerpadla jsme zvolili datové pole s dvěma nezávislými proměnnými, rychlost vozu v a teplotu motoru T , a dále závislou proměnnou, průtok elektročerpadla Q . Samozřejmě je možné zvolit více nezávislých proměnných. Bohužel s rostoucí dimenzí datového pole roste i jeho komplikované vytvoření a proto jsme zvolili pouze tyto dvě proměnné, které nejvíce ovlivňují teplotu motoru.

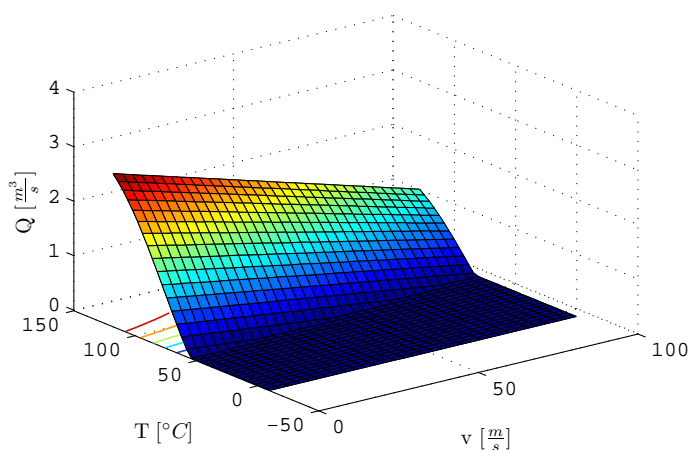
Datové pole jsme stanovili formou kvalifikovaného odhadu. Postupovali jsme dle určitých kritérií či pracovních bodů, které zohledňují rychlost automobilu a teplotu chladicí kapaliny a vyvodí z nich relativní výkon elektrického čerpadla P , viz 6.1.

Tyto hodnoty jsou stanoveny odhadem a je tedy nutné brát v potaz, že nejde o optimální nastavení.

Relativní teplota	Relativní rychlost	Relativní výkon
vysoká teplota	vysoká rychlost	70 %
vysoká teplota	nízká rychlost	100 %
nízká teplota	nízká rychlost	20 %
nízká teplota	vysoká rychlost	0 %
provozní teplota	vysoká rychlost	30 %
provozní teplota	nízká rychlost	60 %

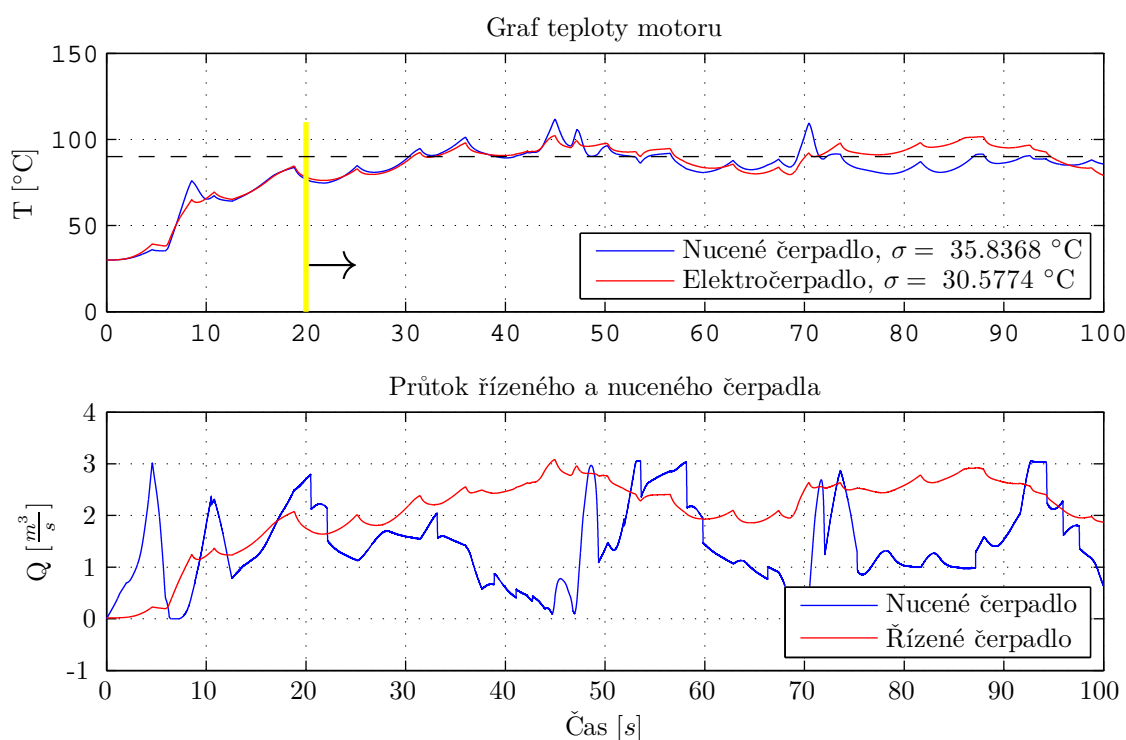
Tab. 6.1. Tabulka pracovních bodů elektročerpadla

Trojrozměrné zobrazení realizovaného datového pole je vidět na obr. 6.2.



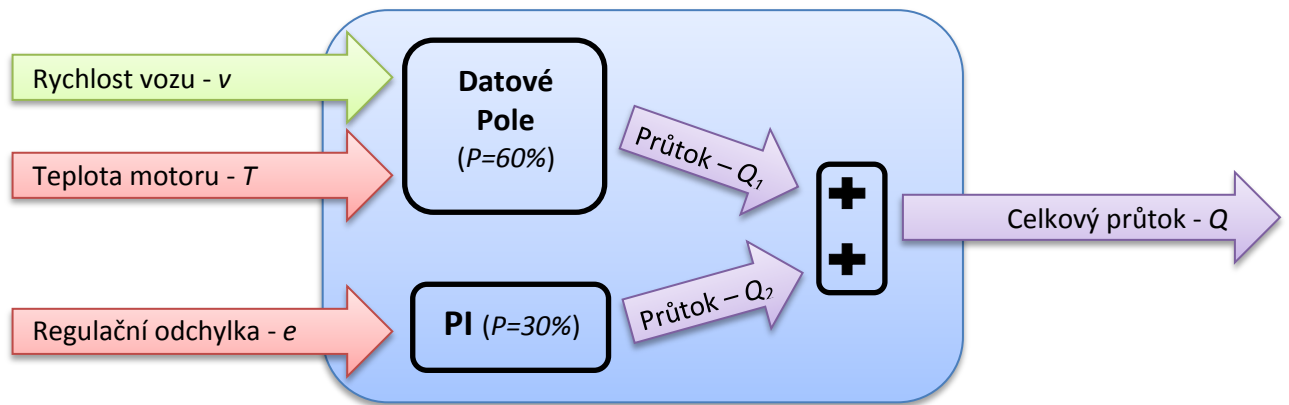
Obr. 6.2. 3D LUT elektročerpadla

Při první implementaci takto navrženého datového pole jsme nebyli s výsledkem spokojeni, viz obr. 6.3. Kolísání průtoku bylo částečně odstraněno, ale rozptyl teploty motoru (po fázi zahřátí) se změnil pouze nepatrně (viz legenda horního grafu). Datové pole reaguje dle nezávislé proměnné, avšak nezohledňuje zcela přesně regulační odchylku od provozní teploty. Příznivým faktem je, že tento druh řízení dává chladicímu systému plynulou dynamiku díky průtoku nezávislému na otáčkách. Odstraňuje tedy takzvaná "hluchá místa", ve kterých je motor velice zahřátý ale bez dostatečného průtoku chladicím systémem nebo naopak místa, kde je motor pod provozní teplotou a průtok čerpadla je vysoký.



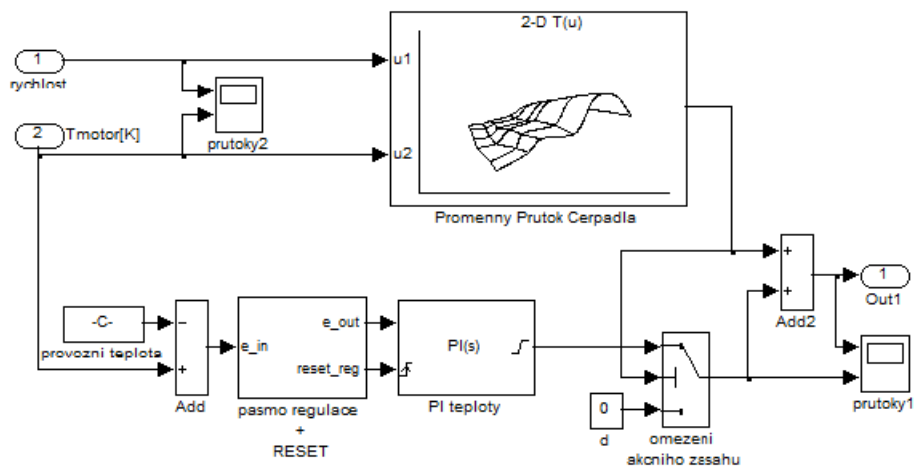
Obr. 6.3. Srovnání vývoje teploty motoru při použití nuceného čerpadla a elektročerpadla

Rozhodli jsme se tedy implementovat k datovému poli ještě paralelně PI regulátor, který bude přesně pracovat s regulační odchylkou e a bude ovládat cirká 30% relativního výkonu elektročerpadla. Tím dosáhneme regulace části průtoku přesně dle regulační odchylky. Zohledníme ještě pásmo regulace, protože PI regulátor nebude nutné zapínat pokud nebude motor dostatečně zahřátý (PI regulátor byl nastaven iterační metodou odhadu). Schéma zapojení je vidět na obr. 6.4.



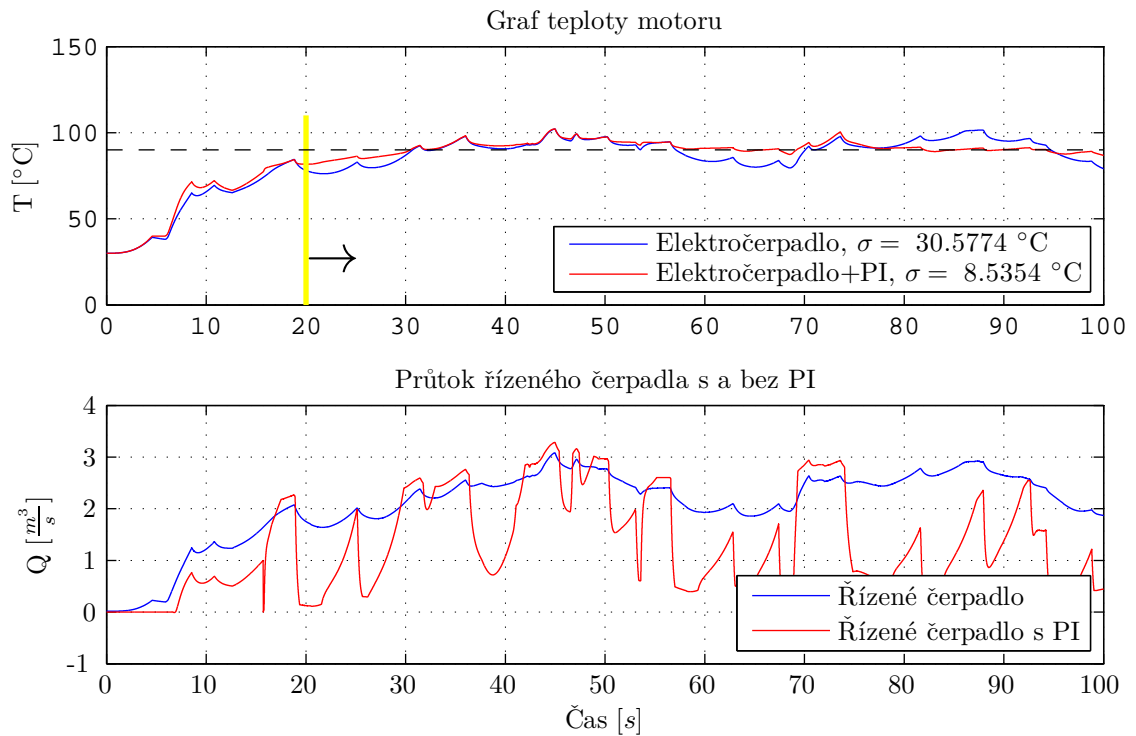
Obr. 6.4. Zapojení datového pole a PI regulátoru

Pro úplnost uvedeme ještě modelovou realizaci, viz obr. 6.5. Bloky před a za *PI* regulátorem slouží pro realizaci pásma regulace a omezení minimálního průtoku.



Obr. 6.5. Modelová realizace paralelní regulace

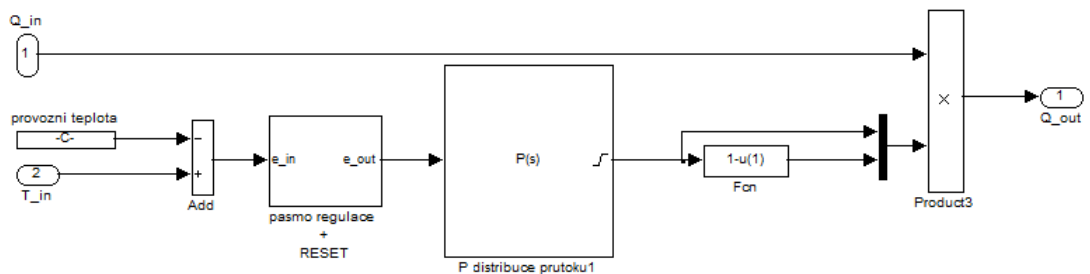
Navržené řízení jsme implementovali do modelu a ověřili jeho funkčnost, jak je vidět na obr. 6.6. Rozptyl teploty se rapidně snížil. Bohužel na úkor průtoku, který je nyní proměnlivější než v předešlém řešení.



Obr. 6.6. Srovnání vývoje teploty motoru při použití datového pole a *PI* regulátoru

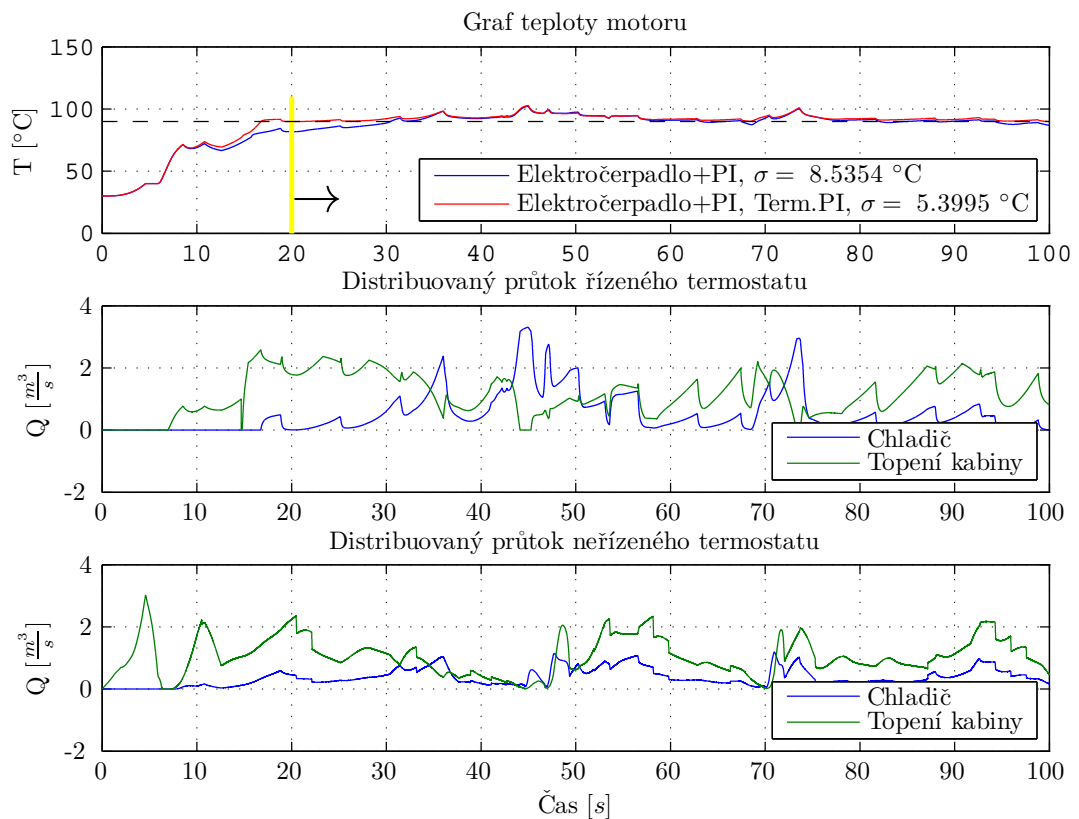
6.3 Návrh a realizace regulace termostatu

Dalším členem chladicího systému, který značně ovlivňuje kolísání teploty je termostat. Důvod zavedení regulace je rozdíl mezi ztrátami tepla v malém a velkém okruhu. Doposud jsme jej realizovali jako mechanickou součástku bez sofistikovanější metody řízení. Nyní si představme, že jeho funkci, dělení průtoku, budeme realizovat pomocí jednoduchého *P* regulátoru, který bude opět funkční pouze v určitém pásmu teplot. Tím můžeme zvýšit jeho reakční dobu a přesnost regulace na požadovanou hodnotu. Realizační schéma je vidět na obr. 6.7.



Obr. 6.7. Modelová realizace regulace

Výsledek simulace pro stejnou pracovní situaci je vidět na obr. 6.8.



Obr. 6.8. Srovnání vývoje teploty motoru při použití řízeného a mechanického termostatu

Rozptyl teploty motoru ještě klesl. Jde tedy ještě o efektivnější způsob řízení chladicího systému. Poslední nejistota, která je do tohoto systému vnesena, je bezpečnostní ventilátor, který při svém spuštění vnese do systému jakousi poruchu. Na tuto teplotní poruchu v podobě prudkého ochlazení velkého okruhu je třeba nějakým způsobem zareagovat.

6.4 Návrh regulace ventilátoru

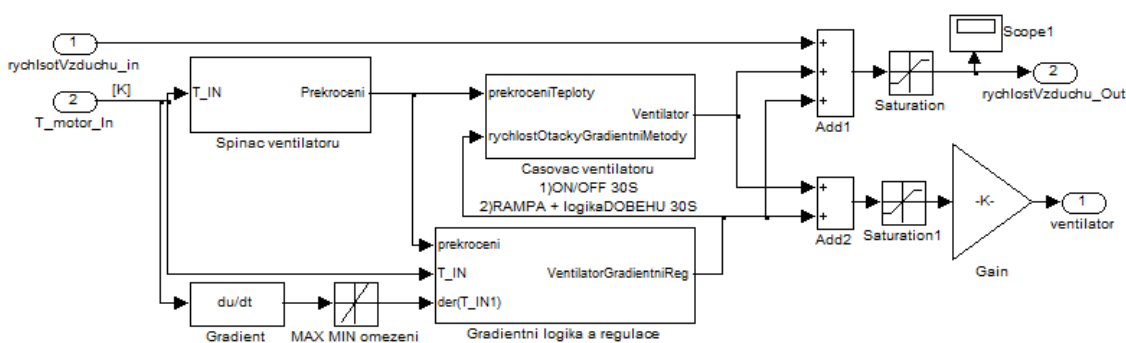
Při hlubším rozboru možností regulace ventilátoru jsme dospěli k zjištění, že tento problém bude velmi těžké vyřešit. Ventilátor je v chladicím systému v pozici bezpečnostního prvku, který se aktivuje až když je to nezbytně nutné. Využít jej tedy k regulaci znamená využít jej ještě před mezní teplotou pro jeho sepnutí.

Jedním z námi realizovatelných řešení je zohlednění **gradientu nárůstu a poklesu teploty motoru** v okolí teploty, při které je ventilátor spuštěn. Musíme si však uvědomit, že může nastat i taková provozní situace, při které bude regulace ventilátoru působit zbytečně či nadbytečně. Tento moment

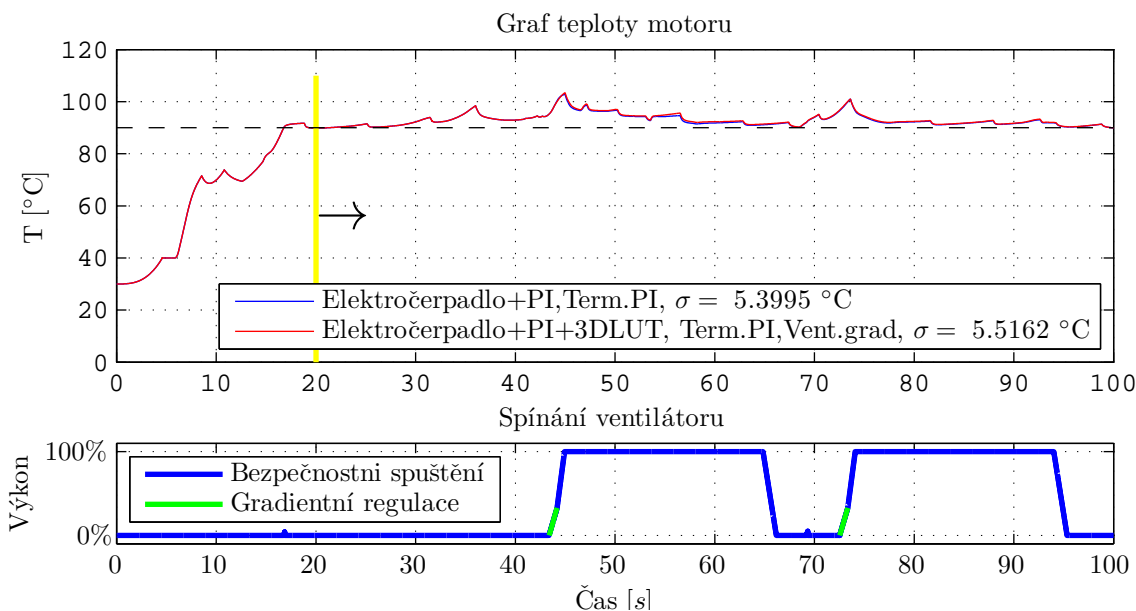
6 DOPLNĚNÍ MODELU O ELEKTRICKY OVLÁDANÉ ČERPADLO

nastane hlavně při sportovní jízdě, kdy se teplota motoru bude pohybovat těsně pod mezní teplotou sepnutí bezpečnostního ventilátoru.

Model ventilátoru máme prozatím vytvořen jako ideální zdroj větru. Jeho zapnutí a vypnutí je charakterizováno jako obdélníkový pulz. Přirovnáme tedy model ventilátoru k reálné situaci to znamená, že zde bude zpoždění náběhu a doběh ventilátoru. Dále implementujeme logiku, jenž rozhodne o překročení gradientu teploty motoru v pásmu regulace od 93°C . Stanovení mezní hodnoty gradientu jsme provedli odhadem. Na motor jsme aplikovali všechny mezní situace a z nich stanovili maximální a minimální gradient. Toto omezení aplikujeme kvůli předpokládanému šumu měření, který velice gradientní přístupy ovlivňuje. Modelová realizace a výsledky simulace jsou vidět na obr. 6.9 a 6.10.



Obr. 6.9. Modelová realizace gradientní regulace regulátoru



Obr. 6.10. Srovnání vývoje teploty motoru s řízeným ventilátorem pomocí gradientního přístupu

Z grafu je vidět, že se křivky prakticky překrývají, tento fakt je vidět i na jednotlivých rozptylech. Můžeme tedy konstatovat, že spuštění ventilátoru s "předstihem" pomocí gradientní regulace před mezní teplotou nám pomůže, naopak realizace náběhu a doběhu ventilátoru má opačný efekt. Tím se obě interakce částečně vykompenzují.

Na ventilátoru jsme taktéž vyzkoušeli kratší interval spuštění. Ovšem jak již bylo řečeno, je to bezpečnostní prvek, který se zapne pouze v situacích, kdy nestačí proudící vzduch ochladit médium v chladiči. Dále je nutné podotknout, že pokud zkrátíme interval spuštění, kapalina ve velkém okruhu se dostatečně neochladí a nevznikne tak dostatečná tepelná kapacita na další zahřívání. Ventilátor tak bude spouštěn častěji.

6.5 Ostatní typy regulace

Předešlou analýzou regulace chladicího systému jsme odhalili jen jednu z mnoha cest, kterými je možné se vydat. Náš případ jsme založili na **datovém poli**, které ovládalo elektrické čerpadlo. Jednalo se pouze o třírozměrné datové pole. Tento způsob regulace je velmi využívaný. Datová pole se mohou definovat vícerozměrná, zohlední tedy velké množství provozních parametrů.

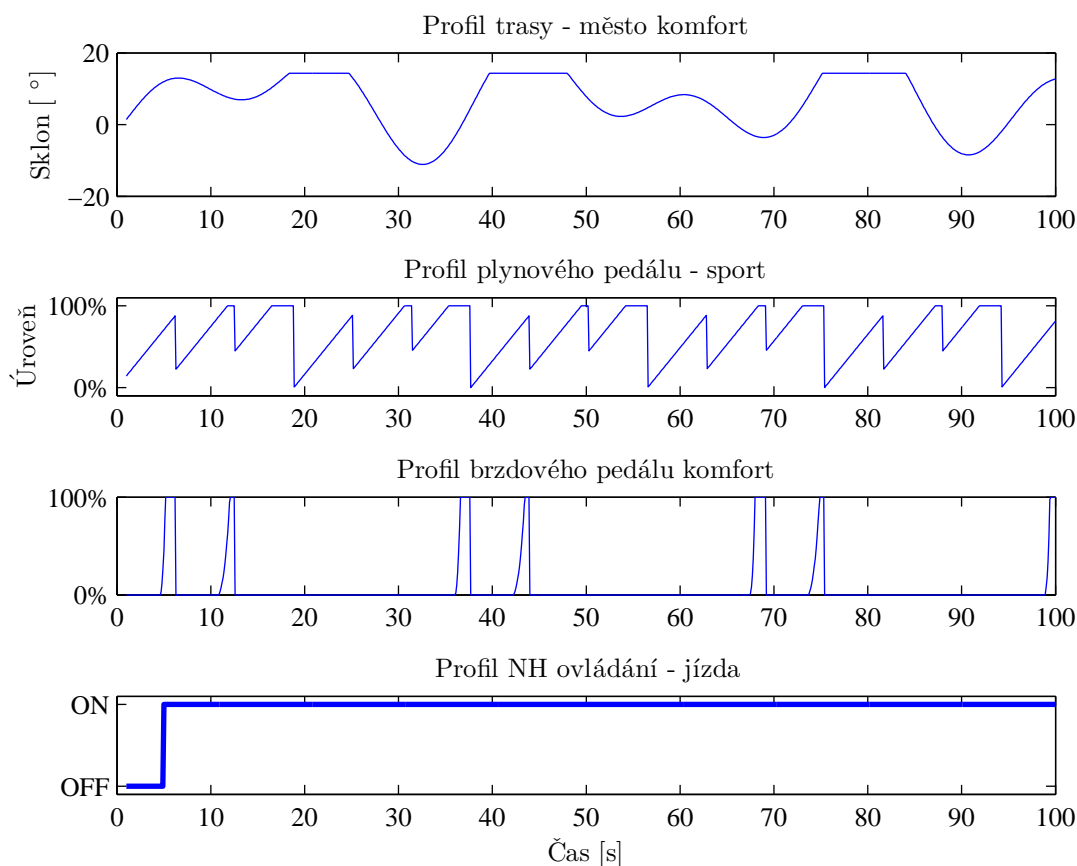
Podobný způsob regulace je řízení pomocí **fuzzy množin**. Jednotlivé provozní situace čerpadla a termostatu bychom v tomto případě rozdělili do množin, které jsou stanoveny na základě hodnot provozních parametrů. Spolu s těmito množinami bychom definovali určitou neurčitost, která definuje jakou mírou náleží provozní situace do určité množiny. Následnými výpočty bychom stanovili nejpravděpodobnější a tím i nejúčinnější akční zásah z množiny. V dnešní době je možné najít fuzzy logiku v automobilech například u brzdových systémů ABS.

Samozřejmě nesmíme opomenout použití **P, PI a PID regulátorů**. Tyto regulátory jsou hojně využity už v naší práci, pro řízení volnoběžných a maximálních otáček motoru i chladicího systému.

V neposlední řadě je nutné říci, že řízení ventilátoru pomocí kratších intervalů spuštění by bylo vhodné zkombinovat s datovým polem, které by zohlednilo jízdní situaci vozu a tím vybralo správný interval spuštění. Takovéto kombinované řízení by určitě pomohlo při vysokých teplotách motoru a proměnlivé jízdě automobilu.

7 Simulace chladicího systému s implementovanou regulací

Provedeme ještě jedno simulační ověření námi navrženého modelu. Zvolíme scénář jízdy mezi městy, plynový pedál - sport, brzdový pedál - komfort, jak je vidět obr. 7.1. Okolní teplota je 25°C a rozdíl okolní teploty a teploty automobilu je 6°C .

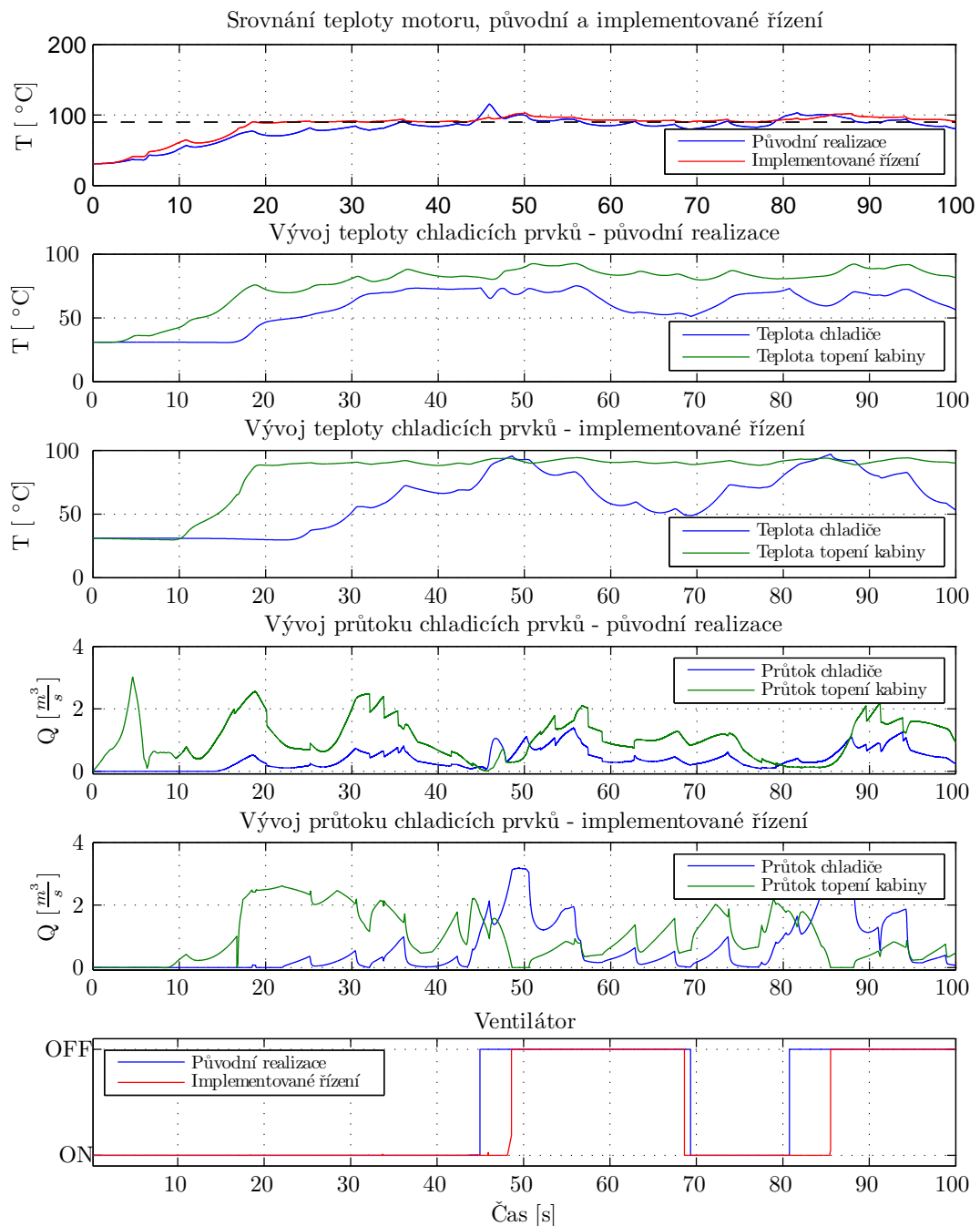


Obr. 7.1. Scénář pro simulaci chladicího systému

S tímto zvoleným scénářem jízdy provedeme simulaci nejdříve pro klasickou realizaci nuceného čerpadla a mechanického termostatu a poté pro realizaci s implementovanou regulací. Výsledky jsou vidět na obr. 7.2.

7.1 Výsledek simulace

V této části uvedeme pouze sadu výsledků pro model chladicího systému s a bez implementovaného řízení.



Obr. 7.2. Srovnání vývoje provozních parametrů původní realizace a realizace s implementovanou regulací

7.2 Zhodnocení simulace

Vývoj jednotlivých parametrů byl již podrobně popsán v předešlé kapitole. Zde tedy pouze shrneme základní fakta. Nejdůležitější provozní hodnotou je rozptyl teploty motoru, který klesl z původních $\sigma_1 = 44.9^\circ C$ na $\sigma_2 = 10.1^\circ C$. Dále je vidět rozdíl na grafech teplot v jednotlivých částech chladicího systému. V původní realizaci nebyla zcela využita tepelná kapacita chladiče až po mezní hodnotu zapnutí bezpečnostního ventilátoru. V realizaci s implementovanou regulací je tato zbytková kapacita mnohem více využita, oba chladicí prvky se tedy zahřejí na větší teplotu a tím i zpozdí zapnutí ventilátoru. Může nastat i provozní situace při které se ventilátor, díky využití větší tepelné kapacity chladicích prvků, vůbec nezapne.

8 Zhodnocení výsledků

V této diplomové práci bylo rozebráno základní rozdělení spalovacích motorů a typů jejich chlazení. Dále byl namodelován model automobilu, který byl zvolen na takové úrovni, aby svými výstupními parametry poskytoval dostatečnou informaci pro následné připojení chladicího systému. Poté co byl tento model vytvořen, bylo možné realizovat model chladicího systému a napojit jej na model automobilu. Oba modely byly verifikovány pomocí vytvořeného uživatelského rozhraní. Následovala část s návrhem řízení akčních prvků termodynamického systému tak, aby bylo dosaženo přesnější regulace provozní teploty motoru. Výsledný regulovaný systém jsme opět podrobili simulaci.

Hlavním cílem této práce, byla optimalizace činnosti chladicího systému pomocí napojeného elektrického čerpadla. Bylo tedy zapotřebí stanovit si určitý typ chladicího systému, se kterým budeme pracovat. V našem případě jsme zvolili základní dvouokruhový systém s jedním čerpadlem a jedním termostatem. Tento systém je prozatím nejvíce rozšířen v osobních automobilech a jeho zlepšení by mělo největší úspěch v globálním měřítku.

Samozřejmě je nutné uvědomit si, že takovýto chladicí systém je možné řídit mnoha způsoby. Je zde několik akčních členů (elektrické čerpadlo, termostat a ventilátor topení kabiny a chladiče), které spolu navzájem interagují.

V našem případě jsme se rozhodli začít u elektrického čerpadla. V první fázi jsme implementovali datové pole, které nám v závislosti na rychlosti a teplotě motoru říkalo, jaký bude průtok. Tato implementace přinesla malé zmenšení rozptylu aktuální teploty. Problémem datového pole byl, že nepracovalo zcela přesně s regulační odchylkou, naopak výhodou byl plynulý průtok bez závislosti na otáčkách klikové hřídele. Rozhodli jsme se tedy paralelně integrovat do řízení elektročerpadla ještě *PI* regulátor, který bude řídit určitou procentuální část průtoku. Výsledek simulace se markantně zlepšil. Rozptyl aktuální teploty motoru od optimální provozní teploty klesl. V tuto chvíli jsme prohlásili regulaci elektročerpadla za dostatečnou a přesunuli jsme se k dalšímu akčnímu členu a to k termostatu. Funkčnost tohoto prvku byla od počátku založená na datových polích, která charakterizovala otevírání obyčejného mechanického termostatu. Rozhodli jsme se tento mechanický prvek nahradit *P* regulátorem pracujícím s regulační odchylkou od provozní teploty motoru. Opět jsme pozorovali značné zlepšení souladu aktuální teploty a provozní teploty motoru na úkor proměnlivosti průtoku v obou okruzích. Chladicí systém také dosahoval lepšího využití volné tepelné kapacity v chladiči a topení. Posledním akčním prvkem je bezpečnostní ventilátor. Tento prvek ovšem nezasahuje přímo do regulace teploty motoru, ale je uveden do činnosti pouze při překročení kritické teploty. V modelu byl prozatím charakterizován obdélníkovým pulzem. Rozhodli jsme se jej přirovnat k reálnému ventilátoru a přidali jsme "rozběh" a "doběh". Dále jsme aplikovali gradientní metodu, která v pásmu teploty okolo sepnutí ventilátoru rozhodne, zda teplota motoru stoupá tak, že bude nutné spustit ventilátor s

předstihem. Po implementaci se rozptyl teploty motoru od provozní teploty skoro nezměnil. Přirovnání ventilátoru k reálnému případu a gradientní metoda předčasného spuštění vykompenzovaly rozdíly v rozptylu teploty.

Z jednotlivých simulací řízeného systému můžeme pozorovat, že rozptyl teploty motoru od provozní teploty klesl cirká o 70% (z $\sigma_1 = 44.9^\circ C$ na $\sigma_2 = 10.1^\circ C$).

Výhodou takto implementovaného řízení chladicího systému je nezávislost průtoku na otáčkách motoru, odstranění mechanických ztrát při pohonu nuceného čerpadla, přesnější regulace teploty motoru na provozní teplotu, využití větší tepelné kapacity jednotlivých chladicích prvků, snížení spotřeby motorového paliva atd. Naopak nevýhodou je složitější a dražší implementace než u původní realizace a stejná proměnlivost průtoků jednotlivými částmi.

Způsob řízení procesu chlazení spalovacího automobilového motoru, rozpracovaný v předložené diplomové práci, představuje jednu z perspektivních možností vedoucí ke zlepšení provozně-ekonomických parametrů moderních automobilových motorů. Zejména jde o snížení opotřebenění teplotně namáhaných součástí a s tím související zvýšení životnosti motoru.

Použitá literatura

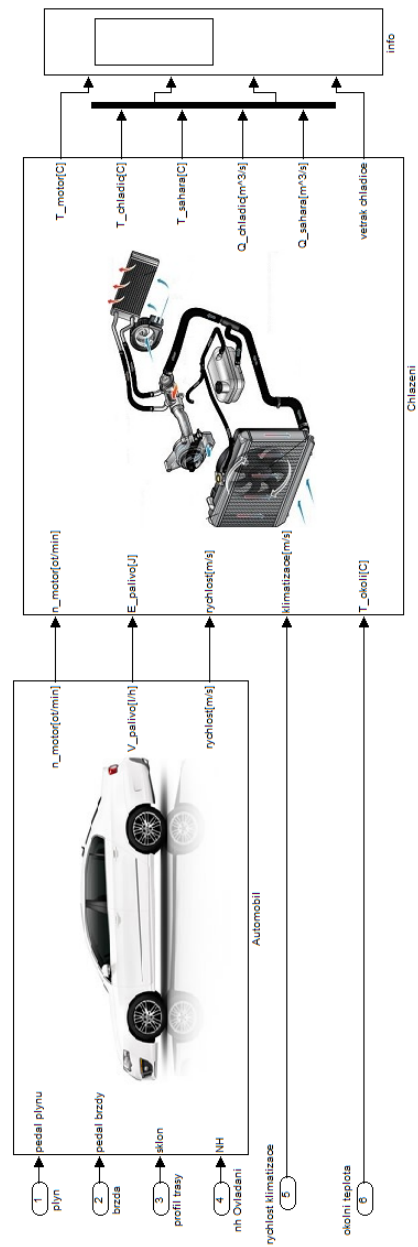
- [1] *Vlk, F.: Vozidlové spalovací motory*
1.vydání, Brno 2003, (ISBN 80-238-8756-4)
- [2] *Vlk, F.: Příslušenství vozidlových motorů*
1.vydání, Brno 2002, (ISBN 80-238-8755-6)
- [3] *Vlk, F.: Dynamika motorových vozidel*
2.vydání, Brno 2003, (ISBN 80-239-0024-2)
- [4] *Vlk, F.: Převodová ústrojí motorových vozidel*
2.vydání, Brno 2003, (ISBN 80-239-0025-0)
- [5] *Boháč, P.: Návrh a realizace řídicího systému spalování alternativního paliva v automobilovém vznětovém motoru*
Bakalářská práce, Plzeň 2011
- [6] *Jan, Z., Ždánský, B.: Automobily 2 - převody*
2.vydání, Brno 2001,
- [7] *Hromádka, J., Honig, V., Miler, P.: Spalovací motory*
1.vydání, GRADA, Praha 2011, (ISBN 978-80-247-3475-0)
- [8] *Kameš, J.: Spalovací motory*
2.vydání, Česká zemědělská univerzita 2010, (ISBN 80-213-0895-8)
- [9] *Vlk, F.: Paliva a maziva motorových vozidel*
2.vydání, Brno 2006, (ISBN 80-239-6461-5)
- [10] *Kratochvíl, C., Slavík, J.: Mechanika těles - Dynamika*
Akademické nakladatelství - VUT Brno 2007, (ISBN 978-80-214-3446-2)
- [11] *Středa, I.: Základy rovnovážné termodynamiky*
Technická univerzita v Liberci 2008, (ISBN 978-80-7372-459-7)
- [12] *Hemzal, K.: Přenosové jevy v technice prostředí*
Vydavatelství ČVUT 2004, (ISBN 80-01-02924-7)
- [13] *Paul, K.: Řízení víceparametrové tepelné soustavy pomocí zpětných vazeb od stavových proměnných*
Diplomová práce ČVUT 2006

POUŽITÁ LITERATURA

- [14] *Collier, P., Horowitz, D.: Fordové*
Nakladatelství Jan Kanzelsberger, Praha 1995 (ISBN 80-85387-29-8)
- [15] *Branko Remek: Automobil a spalovací motor : historický vývoj*
Grada 1.vydání, Praha 2012 (ISBN 978-80-247-3538-2)
- [16] *Boháč, P.: Využití a vliv spotřeby standartních a alternativních paliv ve světovém hospodářství*
Semestrální práce, ZČU - FEK 2011
- [17] *Obrázky ze serveru GOOGLE, vyhledávání klíčových slov: části automobilu*
<https://www.google.cz/search>,
navštíveno: 2.2.2013
- [18] *Materiály a historická data pístových termodynamických strojů*
<http://www.imysli.cz/ilearning/disertacka/>,
navštíveno: 2.4.2013

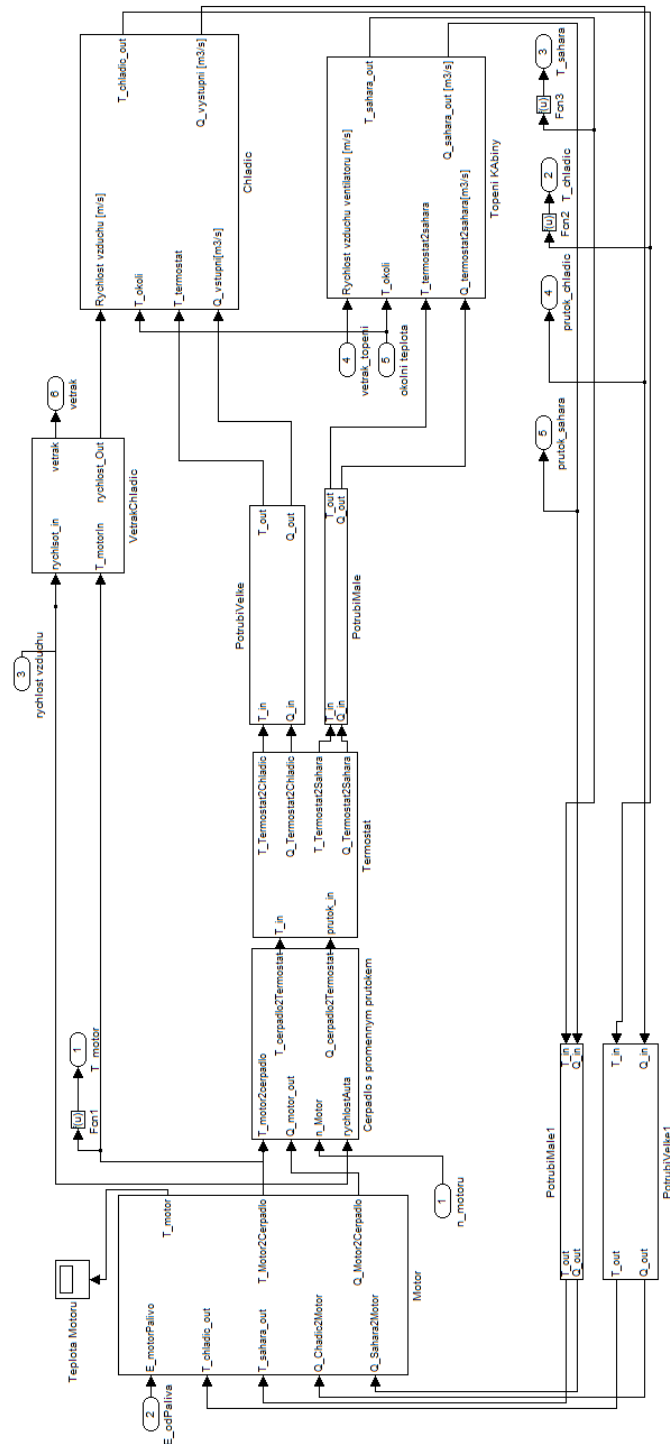
Přílohová část

Výsledný model automobilu a chladicího systému



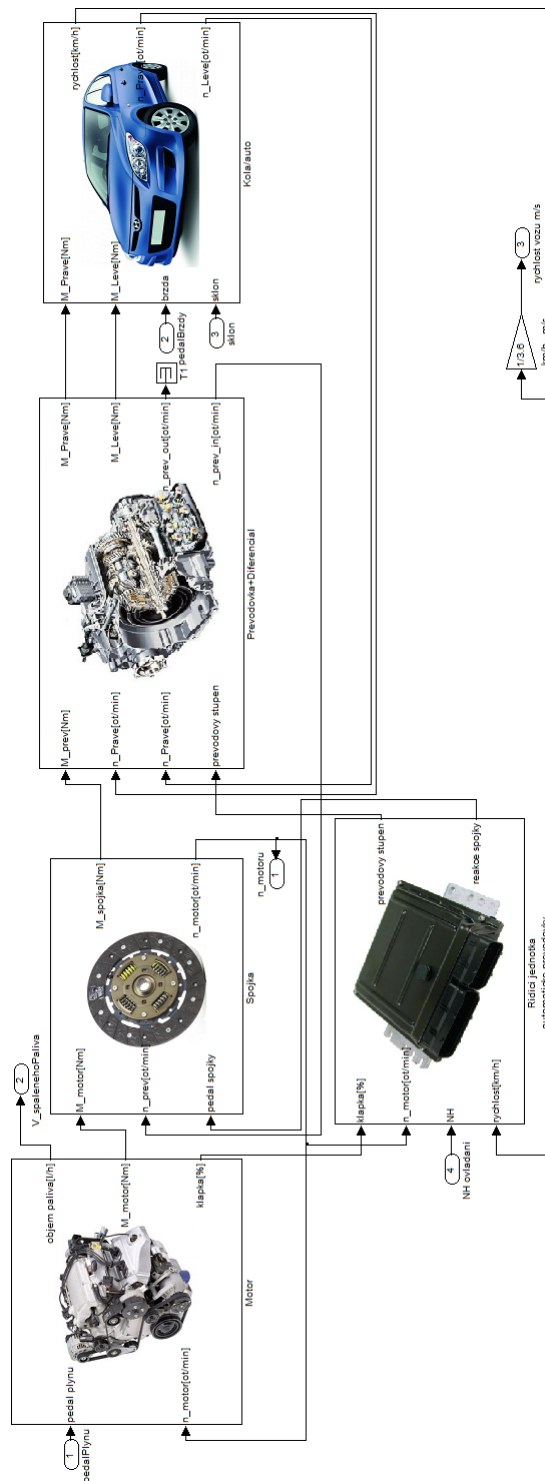
Obr. 8.1. Celkový model automobilu a chladicího systému

Výsledný model chladicího systému



Obr. 8.2. Celkový model chlazení automobilu

Výsledný model automobilu



Obr. 8.3. Celkový model automobilu

Zdrojový kód parametrizace modelů

```

%% Pavel Boháč - Diplomová práce
clc;clear all;close all;
bdclose all
set_param(0,'CharacterEncoding','windows-1252')
%% Inicializace
load 'data.mat';           % znalostni pole motoru
load 'autoTransmission.mat'; % znalostni pole prevodovka
load 'spojkaPar.mat';     % parametry spojky
%% Parametrizace modelu
global simC;               % delka simulace
dt=0.001;                 % krok simulace
%% Parametrizace modelu automobilu
i1=2.2;                   % prevodove pomery
i2=2;
i3=1.45;
i4=1;
i5=0.75;
prevod=[0 i5 i4 i3 i2 i1];
ucinnost=0.95;           % ucinnost prevodoveho ustroji
g=9.81;                   % tihove zrychleni
is=2.7;                   % staly prevod diferencialu
r=0.20;                   % polomer kola
f=0.012;                  % odpor valení
Sx=1.7;                   % plocha celniho prurezu
cx=0.35;                  % soucinitel odporu vzduchu
sigma=1.1;                % soucinitel odporu zrychleni
mv=1000;                  % hmotnost vozidla
Gv=mv*g;                  % tiha vozidla
alfa=0;                   % sklon povrchu
Jvoz=30;                  % moment setrvacnosti kol
Jmot=0.25;                % moment setrvacnosti motoru
maxOt=5000;               % maximalni otacky
%% Parametrizace modelu automobilu / spojka
Fp = 6022;                 % Pritlacna sila spojky
frikce = 0.056;           % soucinitel treni
Rs = 0.055;               % Ucinny polomer spojky
n_frikcePloch=30;
%% Parametrizace modelu chladiciho systemu
prenosMotor_Voda=0.4;    % prenos tepla mezi do chladiciho
systemu
V = 6;                    % objem
Vsahara = 1;              % objem topeni kabiny
spalneTeplo = 33580000;   % Spalne Teplo J/l benzinu
tepelnaVodivost=15;      % KOEF PRENOSU TEPLA MEZI CHLADICEM
VZDUCHEM
cVoda = 4180;              % merna tepelna kapacita vody
rhoVoda=1000;             % Hustota vody

cVzduch=1003;             % merna tepelna vzduchu
rhoVzduch=1.2;           % Hustota vzduchu

okolniTeplota = 15+273.15; % teplota okoli
offSetTeplotyAuto= 0;    % rozdil teploty okoli-automobil
provozniTeplota=90;      % provozni teplota automobilu
% Look up table pro NUCENNE CERPADLO
teplotaCerpadlo = [0 10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110];
teplotaCerpadlo=teplotaCerpadlo+273.15;

```

Obr. 8.4. Parametrizace modelů

POUŽITÁ LITERATURA

```
cerpadloPrutok = [0 0 0 0.01 0.04 0.08 0.1 0.25 0.3 0.4 0.5
0.6];
% Look up table pro TERMOSTAT
teplota=[0 20 30 40 50 60 70 80 90 100 110 120];
termostatMaly=[1 1 1 1 1 1 0.9 0.8 0.7 0.3 0.1 0.1];
termostatVelky=1-termostatMaly;
teplota=teplota+273.15;
%Chladic
mChladic = 2; % hmotnost media v chladici
mMotor = 2; % hmotnost media v motoru
SChladic = 1; % plocha stycna
%Topeni kabiny
SSahara = 0.3; % plocha stycne plochy
mSahara = 1; % hmotnost media v topeni kabiny
% ventilator chladice
teplotaSepnutiVetraku=100; % kriticka teplota sepnuti ventilat
rychlostVetraku=100;
% PotrubiMale
SPotrubiMale = 0.4;
mPotrubiMale = 0.3;
tepelnaVodivostPotrubiMale=2;
% PotrubiVelke
SPotrubiVelke= 0.6;
mPotrubiVelke = 0.5;
tepelnaVodivostPotrubiVelke=5;
%% Cerpadlo parametry / nucene cerpadlo
maxPrutok=3; % max prutok cerpadla
%% Regulace cerpadla / elektrocerpadlo
maxPrutokCerpadla=maxPrutok;
% parametry znalostniho pole
offset=0.1;
maxPrutokCerpadla=maxPrutokCerpadla-offset;
rychlostAutoLUT = [0:63:1008];
teplotaCerpadloLUT = [0 5 10 20 30 40 50 60 70 75
80 85 90 95 100 110 120];
rychlostAutoLUT = [0:3:96];
teplotaCerpadloLUT = [-10:4:118];
teplotaCerpadloLUT=teplotaCerpadloLUT+273.15;
[X,Y]=meshgrid(rychlostAutoLUT,teplotaCerpadloLUT);
% funkce znalostniho pole
Z=(maxPrutokCerpadla.*((190-
X)/190))*maxPrutokCerpadla.*((sin(pi*3)*...
((Y-350)/320))+1.3)/2)/maxPrutokCerpadla+(1-((110-
Y)/110));
Z=Z-4;
idx1=Z<0;
Z(idx1)=0;
%% Ovladani scenaru / uzivatelske rozhrani
global P %Profil trasy
global Pl %Profil plynoveho pedalu
global Br %Profil brzdoveho pedalu
global NH %NH ovladani
global odRychlost
global doRychlost
```

Obr. 8.5. Parametrizace modelů - pokračování