



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

**Fakulta dopravní
Ústav dopravní telematiky**

**Pokročilý adaptivní tempomat s využitím protokolů ADASIS
Horizon 2020**

**Advanced Adaptive Cruise Control using Horizon 2020
ADASIS protocols**

diplomová práce

Studijní program: Technika a technologie v dopravě a spojích
Studijní obor: Inteligentní dopravní systémy

Vedoucí práce: Ing. Dmitry Rozhdestvenskiy
Ing. Martin Langr, Ph.D.

Bc. Jan Štěřba

Praha 2017



K620..... Ústav dopravní telematiky

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Jan Štěřba

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – IS – Inteligentní dopravní systémy

Název tématu (česky): **Pokročilý adaptivní tempomat s využitím protokolů
ADASIS Horizon 2020**

Název tématu (anglicky): **Advanced Adaptive Cruise Control using Horizon 2020
ADASIS protocols**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Shromáždění informací o projektu Horizon 2020 a ADASIS protokolu
- Přehled současných aktivních projektů založených na ADASIS protokolu
- Vyhledání a shromáždění informací o moderních a nejpokročilejších systémech adaptivního tempomatu (ACC)
- Sestavení požadavků na strukturu dat a frekvenci obnovení nově navrhovaného systému
- Vyvinutí algoritmů a regulátorů pro nový adaptivní tempomat v programovacím jazyce Modelica
- Testování a hodnocení vlastností vyvinutého systému z hlediska energetické účinnosti a bezpečnosti provozu

- Rozsah grafických prací: Dle pokynů vedoucího diplomové práce
- Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)
- Seznam odborné literatury: Giancarlo Genta: Motor vehicle dynamics. Modeling and Simulation, World Scientific, 1997
Rajesh Rajamani: Vehicle Dynamics And Control, Springer Science & Business Media, 2011
Peter A. Fritzson: Principles of object-oriented modeling and simulation with Modelica 3.3, J. Wiley & Sons, 2015

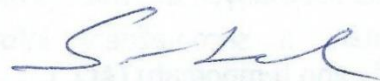
Vedoucí diplomové práce: **Ing. Dmitry Rozhdestvenskiy**
Ing. Martin Langr, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: **30. července 2016**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **30. listopadu 2017**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

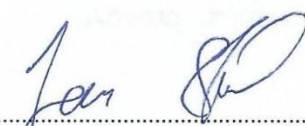


doc. Ing. Pavel Hrubeš, Ph.D.
vedoucí
Ústavu dopravní telematiky



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.



Bc. Jan Štěrbá
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....1. června 2017

Prohlášení

Tímto prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně a použil jsem pouze podklady uvedené v seznamu použité literatury.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

Praha, Listopad 2017

Bc. Jan Štěřba

Poděkování

Rád bych na tomto místě poděkoval svým vedoucím Ing. Dmitry Rozhdestvenskiymu a Ing. Martinu Langrovi, Ph.D. za vedení a připomínkování mé diplomové práce z oboru vývoje vozidlových systémů. V neposlední řadě chci poděkovat své rodině a přítelkyni za morální i materiální podporu, které se mi dostávalo po celou dobu zpracování této práce.

Abstrakt

Předmětem práce je analýza současné nabídky na trhu ADAS systémů a představení nového protokolu ADASIS v2, včetně jeho specifikací a možných implementací. Cílem práce je s využitím získaných poznatků navrhnout nový systém adaptivního tempomatu. Navržený systém má optimalizovat spotřebu paliva, zvýšit komfort a autonomii jízdy. Řešený systém bude namodelován v jazyce Open modelica language. Cílem práce je také celý model systému simulovat v několika vytvořených scénářích a představit získané výsledky.

Klíčová slova

ADASIS, ADAS, ADAS Horizon, e-Horizon, vozidlová aplikace, adaptivní tempomat, GM nonlinear model, Gazis model, Pipes model, Forbes model, Chandler-Hermann-Montroll model, Open modelica

Abstract

The topic of this master thesis is the analysis of current ADAS market offer. Moreover, this thesis should describe and analyse the new ADASIS v2 protocol. The main objective is, based on the acquired knowledge, to design a new ADAS system working as an adaptive cruise control application. The designed system should bring fuel savings, a higher level of comfort and autonomy. The subjected system will be designed in Open modelica language. Another objective of this thesis is running a simulation of the whole designed system on several chosen scenarios.

Key words

ADASIS, ADAS, ADAS Horizon, e-Horizon, in-vehicle application, adaptive cruise control, GM nonlinear model, Gazis model, Pipes model, Forbes model, Chandler-Hermann-Montroll model, Open modelica

Obsah

Obsah	5
Seznam zkratek a symbolů	8
1. Úvod	9
2. ADASIS Forum	11
2.1. Cíle ADASIS Fora	11
2.2. Členové	13
2.3. Koordinace a vedení.....	14
2.4. Financování a podpora ITS projektů.....	15
2.4.1 Podpora Evropské unie projektům v dopravě.....	15
2.4.2 Financování a podpora ADASIS	17
2.5. Spolupráce a implementace produktů ADASIS Fora	18
2.5.1 Využitelnost platformy ADASIS.....	18
2.5.2 Kooperace	18
2.5.3 Implementace ADASIS protokolu v praxi.....	19
3. Platforma ADASIS	21
3.1. Základní koncept.....	21
3.1.1 ADASIS platforma a její součásti.....	21
3.1.2 Základní architektura	21
3.2. ADAS Horizon.....	22
3.2.1 Co tvoří ADAS Horizon?	23
3.2.2 Poskytované informace.....	25
3.2.3 Struktura ADAS Horizon.....	27
3.3. Rozhraní ADASIS v2.....	28
3.3.1 Konektivita.....	28
3.3.2 Tvar zpráv	29
3.4. Současné a předchozí verze ADASIS	30
3.4.1 Verze v1	30
3.4.2 Verze v2.....	31
3.4.3 Verze v3.....	31
4. Adaptivní tempomat pro silniční vozidla	33
4.1. Přehled současně dostupných tempomatů v silničních vozidlech.....	33
4.1.1 Tempomat	33

4.1.2	Adaptivní tempomat	33
4.1.3	Pokročilý adaptivní tempomat	34
4.2.	Struktura adaptivních tempomatů a rozhodovací logika.....	34
4.2.1	Nadstandardní snímače	34
4.2.2	Algoritmy a softwarové modely	35
4.2.3	Pipes model.....	36
4.2.4	Forbes model.....	37
4.2.5	Chandler-Herman-Montroll model	37
4.2.6	Gazis model	38
4.2.7	GM nonlinear model	38
4.2.8	Optimal velocity model	39
5.	Inovativní vozidlový systém.....	40
5.1.	Základní námět.....	40
5.2.	Koncept systému	40
5.2.1	Cíle aplikace	40
5.2.2	Využitelnost systému	41
5.2.3	Podmínky použití	41
5.3.	Základní parametry a funkce.....	42
5.3.1	Základní funkce	42
5.3.2	Externí subsystém výpočtu doporučené rychlosti	43
5.3.3	Komponenty.....	44
5.3.4	Režim ACC.....	45
5.3.5	Režim CC.....	48
5.3.6	Modul výběhu	48
5.3.7	Modul šetrného rozjezdu	49
5.4.	Požadavky	52
5.4.1	Požadavky na vozidlovou techniku	52
5.4.2	Požadavky na ADASIS.....	54
6.	Model pokročilého adaptivního tempomatu.....	56
6.1.	Návrh modelu.....	56
6.1.1	Programovací prostředí.....	56
6.2.	Systémová logika	57
6.2.1	Architektura	57

6.2.2	Model vozidla	58
6.2.3	Model přepínače jízdních režimů	60
6.2.4	Modul udržování odstupu – ACC	62
6.2.5	Model udržování rychlosti – CC.....	62
6.2.6	Model komponenty aktivující zrychlení/brzdění	63
6.2.7	Model komponenty zrychlení	65
6.2.8	Model komponenty brzdění	65
6.3.	Simulační model jízdy.....	66
6.3.1	Stanovené podmínky.....	66
6.3.2	Základní parametry vozidla	67
6.3.3	Simulační scénáře	68
6.4.	Výstupy simulací.....	70
6.4.1	Scénář č.1	71
6.4.2	Scénář č.2.....	72
6.4.3	Scénář č.3.....	73
6.4.4	Scénář č.4.....	74
6.5.	Možnosti nadstavby a rozšíření.....	75
7.	Závěr.....	77
8.	Seznam použité literatury	80
9.	Seznam obrázků.....	83
10.	Seznam Tabulek.....	85
11.	Seznam příloh	86
12.	Přílohy.....	88

Seznam zkratek a symbolů

ACC	Adaptive cruise control
ADAS	Advanced driving assistance systems
ADASIS	Advanced Driving Assistance Systems Interface Specifications
ASR	Adaptive Speed Recommendation
CAN	Controller Area Network
CC	Cruise control
CNG	Compressed Natural Gas
DPH	Daň z přidané hodnoty
GM	General Motors
GPS	Global positioning system
H2020	Horizont 2020
HAD	Highly Automated Driving
ITS	Intelligent transport systems
LPG	Liquified Petroleum Gas
PID	Proporcionální, integrační a derivační regulátor
POI	Points of interest
RDS-TMC	Radio Data System-Traffic Message Channel
V2V	Vehicle to Vehicle
V2I	Vehicle to Infrastructure

1. Úvod

Automobilové elektronické systémy jsou jádrem všech moderních vozidel a nemalá část výrobců dnes investuje do získávání know-how právě v této oblasti. Budoucí trendy vývoje bez pochyb stojí právě na inteligentních systémech v dopravních prostředích. Výrobci nabízejí veliké množství různých asistenčních systémů, jejichž cílem je zvýšit komfort řidiče, bezpečnost provozu, zvýšit efektivitu a snížit náklady provozu a v neposlední řadě přispět k plynulosti provozu na pozemních komunikacích. Souhrnně lze tyto systémy označit anglickou zkratkou ADAS – *advanced driving assistance systems*.

V trendu vývoje automobilových asistenčních systémů je možné pozorovat celkové směřování k plně autonomnímu řízení vozidel, tedy schopnost vozidel plně převzít řízení vozidla na pozemní komunikaci a odpovědnost za toto vedení vozidla. V nabídce lze dnes běžně nalézt systémy udržování rychlosti, systémy vedení vozidla v jízdním pruhu, systémy zastavení před překážkou a zabránění nehody, systém objíždění pevné překážky, systémy monitorování únavy řidiče a další. Nejrozšířenějším systémem, který zvyšuje autonomii vozidla z pohledu řidiče, je v současné době systém adaptivního tempomatu. Adaptivní tempomat udržuje rychlost vozidla na nastavené hodnotě, zároveň ji ale přizpůsobuje provozu ve svém okolí, tedy zejména vozidlům před sebou či případným překážkám.

Nedílnou součástí současného průlomu v automobilových systémech je právě řešení problematiky získávání informací. Senzory, obzvláště ty s vysokou přesností, jsou poměrně drahou součástí v porovnání k ceně vozidla. Vývojově je tak snaha využít i dalších zdrojů dat a informací, nikoliv proto, aby senzory nahradily, ale z důvodu získání většího množství informací a zpřesnění údajů získaných pomocí sensoriky. Nejdiskutovanějším způsobem získání více využitelných dat je v tomto oboru možnost sdílení informací mezi vozidly, jež se obecně označuje termínem kooperativní systémy či V2V (vehicle to vehicle) a V2I (vehicle to infrastructure) komunikace. Problematikou všech kooperativních systémů či aplikací fungujících na bázi sdílení informací je především interoperabilita a kompatibilita. Je tedy vhodné v ideálním případě využít jednotnou platformu pro sdílení těchto dat. Celá problematika zahrnuje dvě části, část zabývající se komunikací mezi vozidly a část zabývající se integrací a sdílením dat uvnitř vozidel. Problematiku komunikace a standardizaci přenosu dat k jednotlivým aplikacím uvnitř vozidla řeší nově vznikající platforma ADASIS.

Právě možnost využití jednotné platformy a vznikajících kooperativních, V2V a V2I systémů nabízí možnost navrhnout nový ADAS systém a pokusit se ho implementovat do současné automobilové techniky.

V této práci se budeme soustředit na tu část, která se zabývá komunikací v rámci vozidla. V současné době je v Evropě ve vývoji jednotná platforma pro sdílení dat ve vozidla a této platformě, označené ADASIS, se budeme v následujících kapitolách podrobně věnovat. V první kapitole bude představen celý projekt vývoje, včetně sdružení na něm se podílejících. Bude pečlivě analyzováno plnění cílů operačních programů Evropské unie včetně programu H2020 a současné metody financování, spolupráce a sdílení. V druhé kapitole budou představeny parametry a funkce nově vznikající platformy včetně specifikací protokolu pro přenos dat v rámci vozidla. Důležitou součástí je i zhodnocení možností implementace této platformy v praxi.

Ve čtvrté kapitole této práce bude věnován prostor podrobné analýze existujících tempomatů a možnostem návrhu adaptivního tempomatu s využitím platformy ADASIS.

Vývoj každého systému vyžaduje nejen hlubokou analýzu současných technických a softwarových prostředků. Je nutné sestavit rozsáhlý soubor požadavků na tento systém a následně systém navrhnout tak, aby byly všechny požadavky splněny s využitím dostupných technických a softwarových prostředků. Cílem páté kapitoly, která se bude zabývat návrhem takového systému, bude rozebrat jednotlivé požadavky na pokročilý adaptivní tempomat a následně celý systém navrhnout. Systém bude sestaven tak, aby těmto požadavkům vyhověl, právě s využitím platformy ADASIS. Ve stejné části budou představeny veškeré funkce systému a jeho možnosti implementace v praxi včetně jeho cílů a výhod.

V šesté kapitole práce bude prezentován navržený model systému. Vyvíjený systém bude modelován s využitím programovacího jazyku Modelica language. Posledním cílem práce je provedení simulace chodu systému spolu se stanovením podmínek, za jakých bude systém testován. V této kapitole budou uvedeny i výsledky takto proběhlého testu, stejně jako komentář a závěr z nich vyplývající. Nedílnou součástí je i analýza možných nedostatků, rozšíření či doplnění navrženého systému.

2. ADASIS Forum

ADASIS Forum je sdružení společností, které mají společný zájem na tvorbě nové jednotné platformy umožňující kompatibilní sdílení dat využitelných v silniční dopravě v rámci vozidlových inteligentních systémů. [1] Zmíněná data jsou zpravidla kombinací mapových podkladů s velkým množstvím upřesňujících a doplňujících informací. [2]

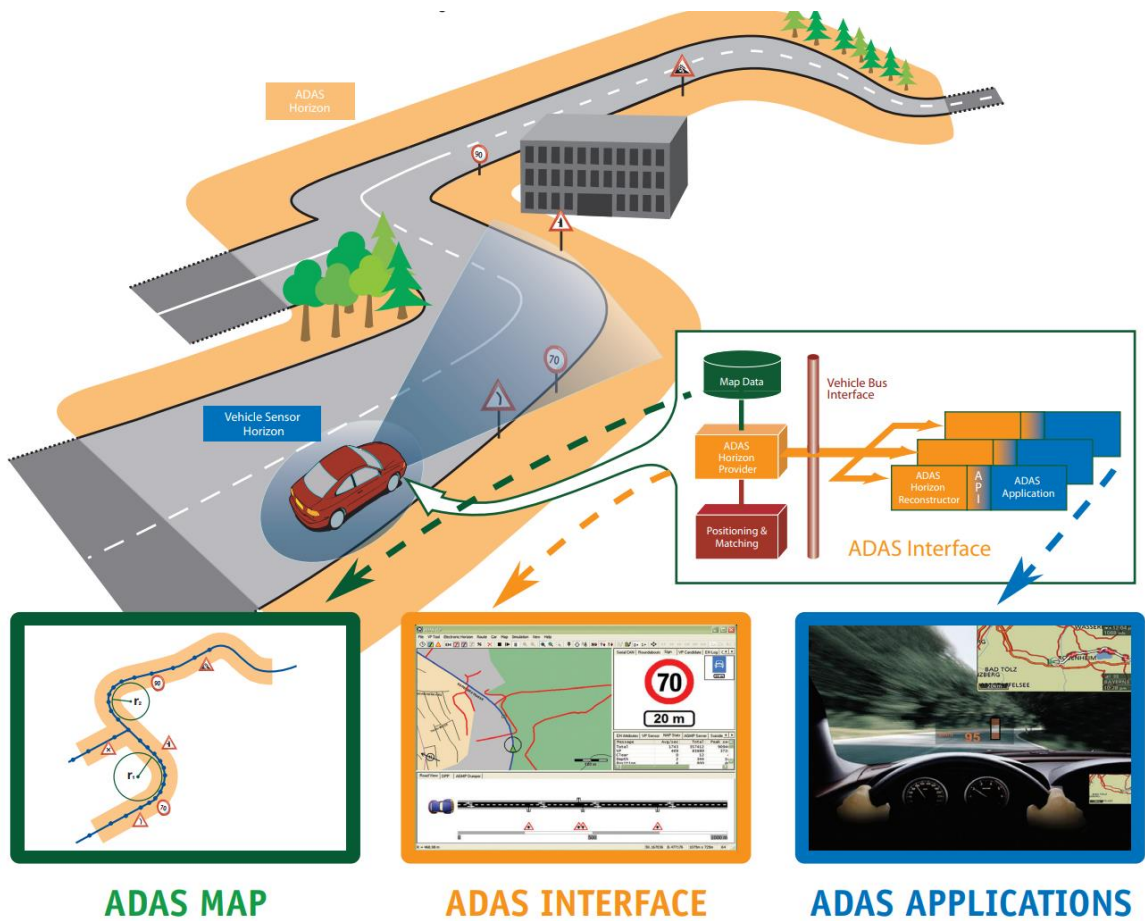
Sdružení ADASIS Forum vzniklo v roce 2001 spoluprací několika výrobců vozidel, vývojářů vozidlových systémů a společností dodávající mapy. Jejich prvotním cílem byla tvorba jednotného rozhraní pro přístup do statických map vozidlovými systémy. Během let 2002-2004 se ze spolupráce stalo samostatné sdružení, vstoupilo pod zkušeného koordinátora a začalo pracovat na prvních projektech pro plnění svých cílů, například účasti na projektu PReVENT. [32] Projekt se zabývá rozhraním komunikace mezi ADAS s digitální mapou.

2.1. Cíle ADASIS Fora

V současné době jsou mapové podklady v silničních vozidlech k dispozici především pro účely navigace, ať statické či dynamické a tato mapová data nejsou primárně nijak sdílena jinými aplikacemi či zařízeními. Přístup k těmto informacím má tak zejména navigační zařízení ve vozidle a informační panel řidiče. Nejčastější využití map je v navigačních aplikacích k určení jízdní trasy k požadovanému cíli ručené nastavenému řidičem, vyhledávání těchto cílů a určování vlastní polohy, informování řidiče o maximální povolené rychlosti skrz informační panel případně podávání místních informací řidiči. Tyto funkce jsou ve většině případů podpořeny informacemi o poloze z přijímače GPS, základními informacemi z vozidlové sběrnice a případně informacemi o provozu z RDS-TMC zdroje. [8] ADASIS Forum [1] má za cíl umožnit přístup k mapovým podkladům a datům s nimi souvisejícími dalším inteligentním vozidlovým aplikacím ADAS. Ve své podstatě se tak jedná o myšlenku poskytnutí mapových podkladů jako zdroj informací pro jednotlivé ADAS aplikace, kde by navigační systém mohl být pouze jedním z jeho uživatelů. Další vozidlové subsystémy by k těmto informacím měly rovněž přístup, ať už se jedná o bezpečnostní či antikolizní systémy, infotainment panely či zmíněné ADAS aplikace podporující řízení.

Prvním řešením, na kterém sdružení pracuje, je definice a tvorba otevřeného standardizovaného datového modelu a jeho struktury. Tento model má sloužit k reprezentaci

dat pocházejících z mapových podkladů. Mapové podklady mohou být v tomto případě poskytovány prostřednictvím navigačního systému či přímo z datového úložiště. Celý koncept je označován jako eHorizon nebo ADAS horizon. Reprezentace získaných dat z mapových podkladů v závislosti na poloze vozidla tak umožňuje obdržet informace o okolí vozidla, zejména pak z prostředí před vozidlem. Jinak řečeno, tímto lze vozidlovým systémům, respektive řidiči rozšířit obzor viditelnosti podstatně dále, než dosahují současné detekční prostředky a zařízení, jak znázorňuje obrázek 1.



Obrázek 1: Získané informace skrze ADASIS rozhraní [36]

Jeden ze základních požadavků při sdílení jakýchkoliv dat je unifikace formy těchto dat a standardizace prostředí, ve kterém jsou data sdílena. Tyto požadavky jsou značně zvýrazněny cílem ADASIS Fora umožnit přístup k těmto podkladům různým aplikacím od různých výrobců v různých státech, a to i nezávisle na výrobcu vozidla samotného. Jinak řečeno standardizace parametrů prostředí je jedním z hlavních cílů tohoto sdružení. Pro sdílení těchto dat a přístupu k ADAS Horizonu ADASIS Forum vyvinula jednotnou platformu ADASIS s jasně danými parametry, zvanou Advanced Driving Assistance Systems Interface Specifications. [6]

2.2. Členové

Sdružení je otevřené, a členem se může stát kdokoli, kdo splní podmínky členství. Základní podmínky kladené na členy ADASIS Fora jsou zejména podpora cílů sdružení, podání přihlášky a zaplacení členských a vstupních příspěvků. Například v roce 2015 byl vstupní příspěvek 15000€ bez DPH a členský roční příspěvek 1500€ bez DPH. [6]














Členové, kteří se účastní ADASIS Fora, se dělí na čtyři základní skupiny. První skupinou jsou výrobci automobilů. Do této skupiny patří v současné době významné automobilky se silným postavením na trhu či jejich dceřiné společnosti zabývající se výzkumem v oblasti automotive. Přehled současných členů je patrný z tabulky 1.

Tabulka 1: Přehled členů z oblasti automobilek – Zdroj: Vlastní zpracování dle [1]

Výrobci vozidel			
BMW		Groupe Renault	
Daimler	DAIMLER	Toyota	
Ford		Volkswagen	
Honda		Volvo	
Hyundai motor group		Volvo Group	
Jaguar		CRF	
Nissan		Ford Otosan	
Adam Opel			

Druhou skupinu tvoří dodavatelé ADAS systémů či subsystémů. V tomto případě zde najdeme společnosti, které jsou ve většině případů vývojářem nových inteligentních systému pro silniční dopravu. Přehled zúčastněných ADAS dodavatelů najdeme v následující tabulce:

Tabulka 2: Přehled členů z oblasti dodavatelů ADAS – Zdroj: Vlastní zpracování dle [1]

ADAS dodavatelé			
Continental		MAGNA	
CTAG		MAGNETTI MARELLI	
DENSO		NOVERO	
dSPACE		TRW	
Hitachi		Valeo	
ibeo		Autonomous	
ipg			

Třetí skupinou členů sdružení jsou výrobci a dodavatelé navigačních systémů. Do této skupiny v současnosti patří společnosti uvedené v tabulce 3.

Tabulka 3: Přehled členů z oblasti výrobců navigačních systémů – Zdroj: Vlastní zpracování dle [1]

Výrobci navigačních systémů			
AISIN		MXNAVI	
ALPINE		NNG	
Autoliv		Panasonic	
BOSCH		Telenav	
Elektrobit		Mitsubishi Electric	
Garmin		Fujitsu	
Harman		Mappers Co	

Čtvrtou a poslední skupinu členů ADASIS Fora tvoří dodavatelé map a mapových databází. Tato skupina členů přináší nejen mapy samotné, ale také cenná data, která v souvislosti s reprezentací reality v mapách můžeme ve vozidlech využít. Tato data mohou být výškový profil terénu, databáze POI, informace o dopravní infrastruktuře či mnoho dalších. Přehled současných dodavatelů nalezneme v tabulce 4.

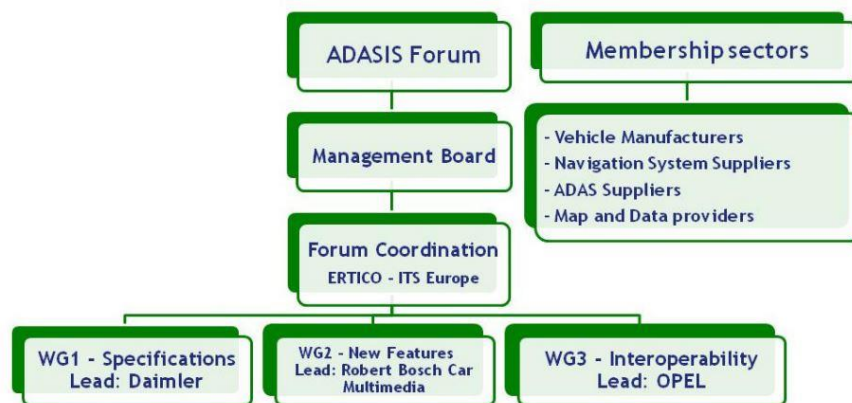
Tabulka 4: Přehled členů z oblasti dodavatelů map – Zdroj: Vlastní zpracování dle [1]

Dodavatelé map a mapových databází			
LG		TomTom	
AND		Kotei	
Autonavi		Zenrin	
HERE		BAIDU	
Navinfo			

Členství umožňuje podílet se na vývoji a standardizaci platformy, čerpat data a informace a v neposlední řadě se podílet na vedení sdružení samotného.

2.3. Koordinace a vedení

ADASIS Forum je sdružení, jehož nejvyšší orgánem je valné shromáždění, které tvoří všichni členové sdružení. Vedením sdružení je pověřena správní rada, do té jsou jednotliví členové voleni na roční funkční období valným shromážděním. [12] Architektura sdružení je patrná z obrázku 2.



Obrázek 2: Architektura ADASIS Fora

Hlavním manažerem pověřeným koordinací celého sdružení a plnění jeho cílů je koordinátor. Koordinátorem ADASIS Fora je společnost ERTICO – ITS Europe. Role společnosti ERTICO je v tomto případě vedení celé administrativy spojené s existencí sdružení, hostování ročních shromáždění, organizace mítinků a správa financí.

2.4. Financování a podpora ITS projektů

2.4.1 Podpora Evropské unie projektům v dopravě

Jedním z cílů Evropské komise je podpora výzkumu a vývoje v rámci udržitelného rozvoje a rozvoje evropské společnosti. Evropská komise takto podporuje výzkum, který směřuje k řešení zásadních otázek a problémů, s nimiž se potýká evropská společnost. Podpora oblasti společenských výzev probíhá skrze program Horizont 2020(H2020). [27] Horizont 2020 je největší evropský dotační program pro výzkum, vývoj a inovace s rozpočtem téměř 80 bilionů euro. Jednou z oblastí podporovaných společenských výzev programem H2020 je inteligentní, ekologická a integrovaná doprava, tedy i ITS (intelligent transport systems). [29]

Cíle H2020 ve zmíněné oblasti dopravy jsou shrnuty do tří základních témat. [30]

- Udržitelná mobilita (Mobility for growth)
- Automatizovaná silniční doprava (Automated road transport)
- Evropská iniciativa ekologických vozidel (European green vehicles initiative)

První téma, udržitelná mobilita, se dělí na osm oblastí zájmu. Jsou jimi letectví, vodní doprava, bezpečnost, městská doprava, logistika, ITS, infrastruktura a socio-ekonomický, behaviorální výzkum a aktivity určující budoucí politiku

Každá z oblastí zájmu má své přesně dané cíle a výstupy, které by měly z projektů pod ni spadajících plynout. Pro účely této práce a tématu inteligentních dopravních systémů je vhodné přiblížit především témata oblasti ITS. V tomto případě požaduje Evropská komise, aby výzkum v této oblasti přinesl zlepšení v rámci integrace intermodální dopravy, bezešvé propojené dopravní prostředí jak ve světě osobní, tak nákladní dopravy a vnímání dostupné mobility jako služby. Celkově se jedná o propojení dopravní infrastruktury, dopravních prostředků, osob, zboží, komunikačních prostředků a regulačního prostředí, což dohromady vytváří funkční, optimalizované a efektivní dopravní prostředí. Podporované jsou cíle jako elektronické prostředí pro jízdní doklady cestujících v rámci integrované dopravy, komunikační systémy v dopravě a integrovaný přenos aktuálních informací nebo efektivní management dopravy a využití infrastruktury vedoucí k zvýšení kvality prostředí pro jeho uživatele. Cíle jsou pochopitelně širší, a jejich detailní studie není hlavním cílem této práce.

Automatizovaná silniční doprava je v tomto případě téma, v němž nalezneme cíle související s autonomními vozidlovými systémy a jejich benefity. Hlavní cíle jsou zde podpora současného trendu automatizace osobních i nákladních vozidel a využití výhod, které z automatizace plynou. Pod zmíněné výhody mimo jiné patří snížení energetické náročnosti dopravy, snížení emisí CO₂, a tedy zvýšení kvality ovzduší, zlepšení komfortu a kvality přepravy pro řidiče i cestující, snížení intenzity a množství dopravních kongescí a v neposlední řadě rozvoj bezpečnosti vozidel. Evropská komise zde vidí jako výstup implementaci či alespoň představení vozidel s autonomním řízením třetí úrovně (automatické řízení s občasným požadavkem na zásah člověka. [33]) od roku 2020 a tímto udržení Evropy jako lídra automobilového trhu.

Třetí téma, ekologická vozidla, v sobě nese cíle vývoje v oblasti alternativních paliv a pohonů a s tím související výrobu vozidel na zemní plyn (CNG), propan-butan (LPG), etanol, vodík a elektrických vozidel. V souvislosti s rozvojem alternativních pohonů je cílem i rozvoj a dostupnost infrastruktury zajišťující doplnění těchto paliv a nabíjení baterií a akumulčních článků elektrických vozidel. S elektromobilitou tak souvisí i vývoj nových efektivních a velkokapacitních elektrických článků, superkapacitorů a jiných médií umožňující efektivní ukládání elektrické energie. V neposlední řadě si Evropská komise

dotováním této oblasti skrze program H2020 slibuje vývoj v oblasti energetiky a materiálů, které přímo souvisí s výrobou a implementací v silniční dopravě.

Jak bude dokázáno v následujících kapitolách, ADAS systémy včetně ADASIS platformy přesně protínají aktuální cíle a témata evropské společnosti.

2.4.2 Financování a podpora ADASIS

Důležitou roli pro celé ADASIS Forum hraje společnost ERTICO – ITS Europe. Společnost Ertico je sdružením více jak 100 společností zabývajících se moderními technologiemi, výzkumem a inovacemi v nejrůznějších odvětvích, jako například telekomunikace, vývoj, doprava, data a informace apod. V neposlední řadě jsou jejich členy i univerzity, autokluby či kraje a regiony evropských zemí. Společnost Ertico je partnerstvím firem a vytváří společné projekty a témata mezioborové spolupráce v rámci současných evropských trendů vývoje a výzkumu. Hlavním cílem společnosti je tak podpora vývoje nových technologií a řešení ve sféře ITS.

Výhodou, kterou Ertico přináší do ADASIS Fóra a která je jednou z jejích hlavních náplní, je zajištění financování těchto projektů a společných aktivit. Společnost Ertico vytváří takové projekty, které splňují evropské vývojové rámce, což umožňuje efektivním způsobem čerpat evropské dotace pro výzkum prováděný v daných oblastech. Vzhledem k tomu, že ITS řešení mohou mít pozitivní dopad na mnoho aspektů současné pozemní dopravy, využívání evropských fondů se tak daří na rozsáhlé množství projektů, které Ertico zastřešuje. Evropská komise vypisuje značné množství projektů majících za cíl zvýšit ekologii a efektivitu pozemní dopravy v Evropě. [23] Příkladem může být čerpání z evropského dotačního programu Horizont 2020 (H2020) v rámci projektu Aeolix [24] nebo projektu ITS Observatory [25]. Dalším projektem, který bezpochyby stojí za představení je projekt Imperium, který přináší společnost Ricardo. Jedná se o projekt financovaný programem H2020 a názorným způsobem v sobě kříží jak zájem o využití ITS systémů, tak snahu o ekologii nákladních vozidel. Bližší představení tohoto projektu je v kapitole 2.5.2. [35]

Kromě financování z Evropských fondů skrze společnost Ertico lze za finanční zdroj pro administrativu sdružení považovat i členské příspěvky a vstupní příspěvky vybírané od nových i stávajících členů.

2.5. Spolupráce a implementace produktů ADASIS Fora

Platforma ADASIS je novým inovativním prvkem ve vozidlových systémech. Jeho nejvyšší potenciál spočívá v propojení platformy s dalšími vozidlovými.

2.5.1 Využitelnost platformy ADASIS

Vzhledem k tomu, že platforma ADASIS poskytuje model okolí vozidla a definuje protokol pro jeho přenášení aplikacím ve vozidle, otevírá tento koncept nové možnosti pro nejrůznější vozidlové aplikace. Využití této platformy je možné všude tam, kde je nutné znát jakkoliv část okolí před vozidlem či okolí celé. Platforma se tak může stát poskytovatelem těchto informací pro jakékoliv aplikace. Množina cílů těchto aplikací už může být velmi rozsáhlá, například to mohou být aplikace sloužící ke zvýšení bezpečnosti provozu informováním řidiče v dostatečném předstihu o situaci před vozidlem, o dopravním značení či o jiných omezeních, aplikace sloužící ke snížení spotřeby paliva tím, že znají situaci před vozidlem v dostatečném předstihu a dokáží optimalizovat jízdu či aplikace podílející se na autonomním či částečně autonomním řízení vozidla.

Mimo aplikací souvisejících bezprostředně s řízením vozidla samotného to ale mohou být aplikace takzvaného infotainment systému, tedy zábavně informačního systému pro řidiče či posádku vozidla. V tomto případě jde například o aplikace informující o bodech zájmu v okolí vozidla či jiné navigační aplikace, systémy umožňující plánování spotřeby paliva či mnohé další systémy.

2.5.2 Kooperace

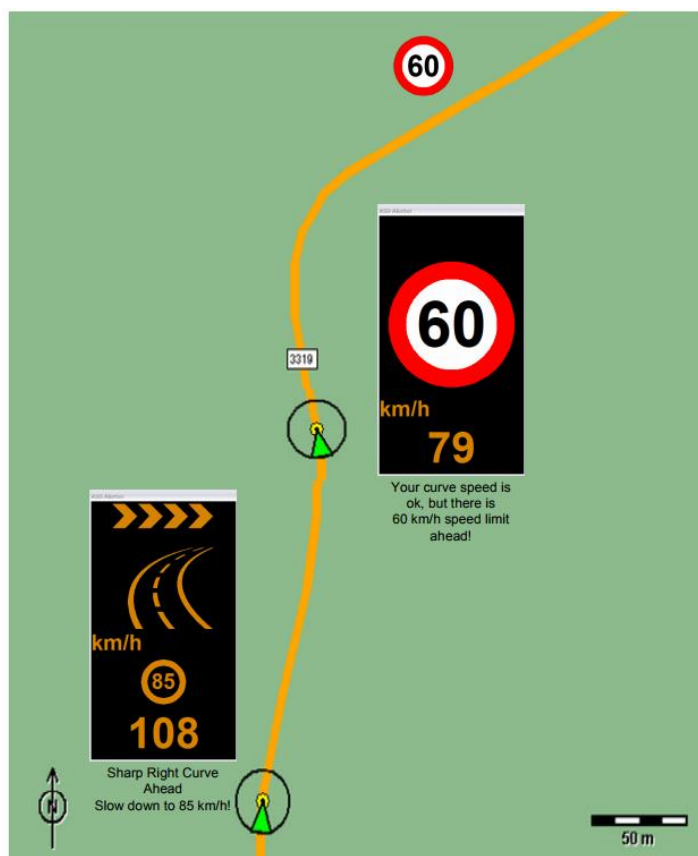
ADASIS Forum také spolupracuje s ostatními projekty, ať už podporovanými společností ERTICO či nikoliv. Spolupráce na jiných ITS projektech přináší do ADASIS nové poznatky.

V roce 2010 například ADASIS Forum spolupracovalo s projektem eCoMove. Tento projekt je jedním z projektů přímo financovaných z dotačních programů Evropské unie a zabývá se inteligentním řešením pro čistší a ekologičtější silniční dopravu v EU. V rámci spolupráce obou projektů byly vyzdvihnuty nové požadavky, které vznikly při tvorbě aplikací v rámci projektu eCoMove. Tyto požadavky jsou pro ADASIS nejen informativní předlohou, ale přímo cílem tak, aby byla platforma ADASIS v eCoMove aplikacích využitelná. [26] Je to tedy jedna z prvních implementací protokolu ADASIS, v tomto případě bude využit v rámci konceptu eCoMove aplikací. Pro konkretizaci, tento koncept je založen na komunikaci

vozidlo-vozidlo (V2V) nebo vozidlo-infrastruktura (V2I) a pomocí sdílení provozních dat, informací ohledně provozu v reálném čase či využitelných dat z infrastruktury je dosaženo snížení spotřeby paliva a tvorby emisí a je také umožněno efektivnější řízení dopravy.

2.5.3 Implementace ADASIS protokolu v praxi

Vzhledem k tomu, že protokoly ADASIS a veškeré související specifikace jsou vždy k dispozici výhradně členům ADSIS Fora, implementovat systémy využívající tuto platformu do testovacího provozu mohou především členské automobilky. V tomto ohledu jeden prototyp systému, který byl v praxi implementován, je ASR (Adaptive Speed Recommendation) od společnosti BMW. Jedná se o systém, který dokáže na základě dat z ADAS Horizonu informovat řidiče o maximální doporučené rychlosti v úseku, kde se vozidlo nachází. Informace je řidiči zobrazována jako dopravní značka typu B20a s maximální povolenou rychlostí, a to na navigačním panelu, případně i na head-up displeji, jak je patrné z obrázku 3. Doporučená rychlost je v tomto případě vypočítávána z geometrie oblouků, maximálních povolených rychlostí, prezencí křižovatek či kruhových objezdů. Informace je řidiči sdělována s předstihem, a to v rozmezí 50-300 metrů před začátkem samotného úseku se sníženou doporučenou rychlostí. Vzdálenost závisí především na aktuálním jízdním stylu, jinak řečeno na zrychlení a rychlosti vozidla. [31]



Obrázek 3: Náhled systému ASR od automobilky BMW [32]

Další pilotní projekty, ve kterých byl protokol ADASIS využit v rámci implementace prototypu určitého systému nejsou veřejně přístupné. Ve většině případů má jít o prototypy, které ještě nejsou plně vyvinuté a vhodné k marketingové implementaci. Takové projekty podléhají utajení vývojových společností a z pochopitelných důvodů nejsou veřejnosti k nahlédnutí. Nicméně existují projekty, které s tímto protokolem nepracují, ale jeho využití by bylo nanejvýš výhodné či možné. Jedním z takovýchto projektů je projekt společnosti Ricardo, a to projekt Imperium. Tento projekt si klade za cíl využít dynamické modelování spolu s využitím elektronického horizontu, tedy modelu okolí vozidla. Pomocí fúze těchto dvou systémů pak má dojít k inteligentnímu řízení dynamiky jízdy vozidla a tím ke snížení emisí výfukových plynů a spotřeby paliva. [35] Protokol ADASIS by v tomto případě bylo možno s vysokou efektivitou implementovat do systému jako poskytovatele zmíněného elektronického horizontu.

3. Platforma ADASIS

3.1. Základní koncept

Důvody, proč sdružení ADASIS Forum vyvíjí platformu a její jednotný přenosový protokol, byly již naznačeny. V této kapitole detailně rozebereme, co platforma obsahuje a jakým způsobem pracuje. [2]

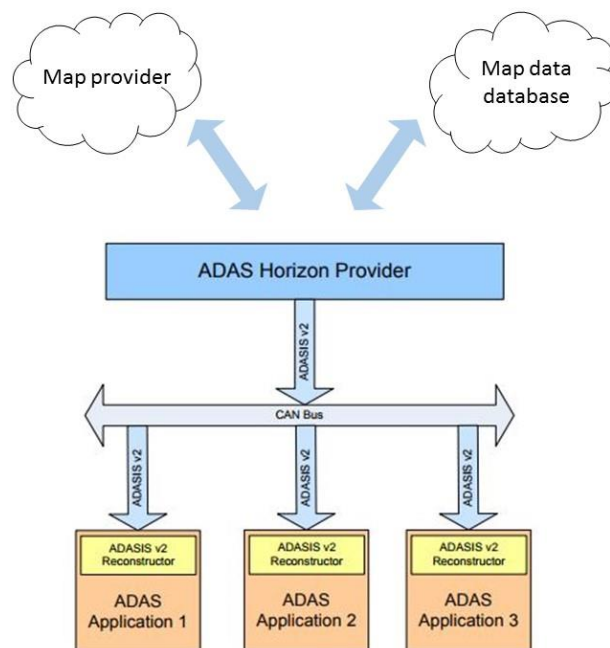
3.1.1 ADASIS platforma a její součásti

Základními kameny ADASIS jsou datový model ADAS Horizon a ADASIS protokol. Datový model chápeme jako datovou reprezentaci informací o prostředí kolem vozidla, obsahující jak mapový základ (bázi), tak mapová data. Důležité je, že obě součásti jako celek popisují detailním způsobem prostředí kolem vozidla, a to jak z hlediska geografického, tak i z pohledu dopravní infrastruktury a jiných dopravních objektů. Obě části dohromady tvoří mapový celek. Celé modelované prostředí včetně dopravních objektů a informací musí být určitým způsobem uspořádáno a datově vyjádřeno, což stanovuje právě datový model, který se snaží ADASIS unifikovat.

ADASIS protokol je specifikace rozhraní, které slouží pro přenos ADAS Horizonu k vozidlovým aplikacím, kde dochází k jeho využití. Přenosové prostředí předurčené pro ADASIS protokol je vozidlová datová sběrnice CAN Bus.

3.1.2 Základní architektura

Součástí základní architektury celého konceptu je ADAS Horizon provider, vozidlová sběrnice a vozidlové ADAS aplikace. Jejich interakce je patrná z obrázku 4.



Obrázek 4: Schéma architektury ADASIS platformy [2]

Dominantní komponentou je zmíněný ADAS Horizon provider. Úkolem této komponenty je využít poskytované mapové podklady a v nich obsažená data od dodavatele a reprezentovat je tak, jak stanovuje specifikace modelu ADASIS Horizon. Mapové podklady a data mohou být poskytovány různým způsobem. Jednou z možností je uložení statických map na paměťovém médiu, které je fixním způsobem součástí hardware vozidla. Dopravní objekty a data tak budou přímo součástí map, případně uložena odděleně ve tvaru databáze. Další možností je poskytování map z cloudového úložiště. Jiným způsobem organizace by mohl být i oddělený přístup k mapám, které by byly uloženy na fixním paměťovém médiu, a přístup k často proměnným informacím a datům by byl zajištěn zvlášť skrze cloudové úložiště. Blíže bude k této problematice přistoupeno v kapitole 3.2.2.

ADAS Horizon provider je komponentou, která má přístup k vozidlové sběrnici a vytvořený model dále poskytuje vozidlovým aplikacím skrze vozidlovou datovou síť. ADAS Horizon také model optimalizuje dle požadavků aplikací, které tento model využívají. Cílem je minimalizovat datový tok přenášený CAN sběrnici a snížit i výpočetní náročnost jak vozidlovým aplikacím, tak komponentě samotné.

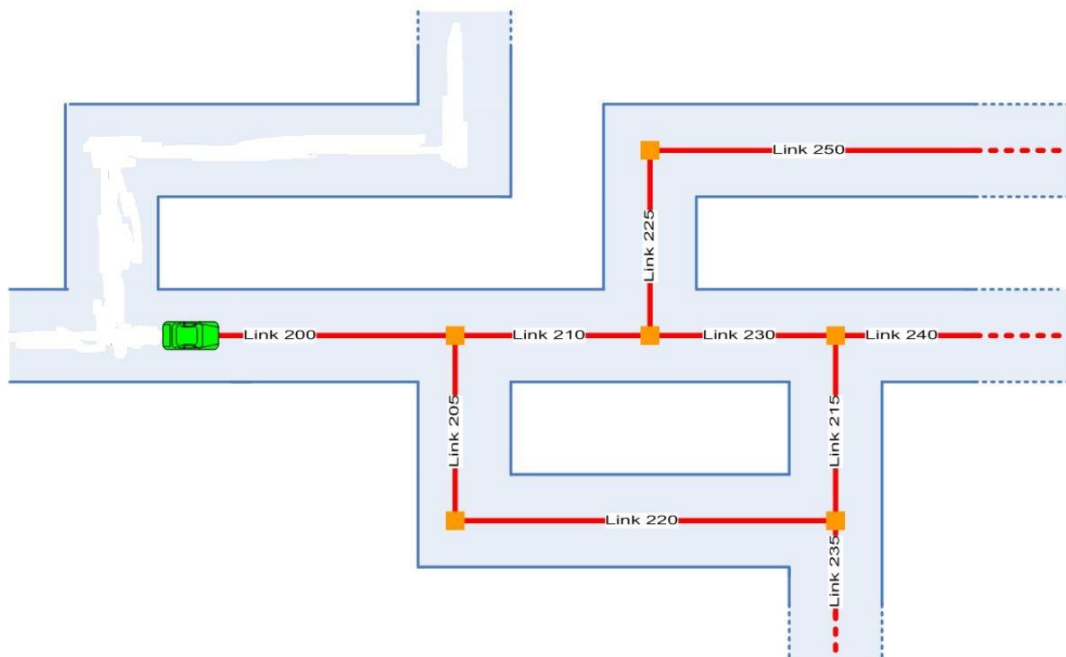
3.2. ADAS Horizon

ADAS Horizon, tedy datový model okolí vozidla, má specifikace přesně určené platnou verzí ADASIS protokolu. Popis níže vychází z verze v2. Model se zaměřuje výhradně

na situace před vozidlem a vychází pouze ze sítě pozemních komunikací, okolní prostředí v něm není modelováno (reprezentováno). Výjimku tvoří pouze krátký prostor bezprostředně za vozidlem.

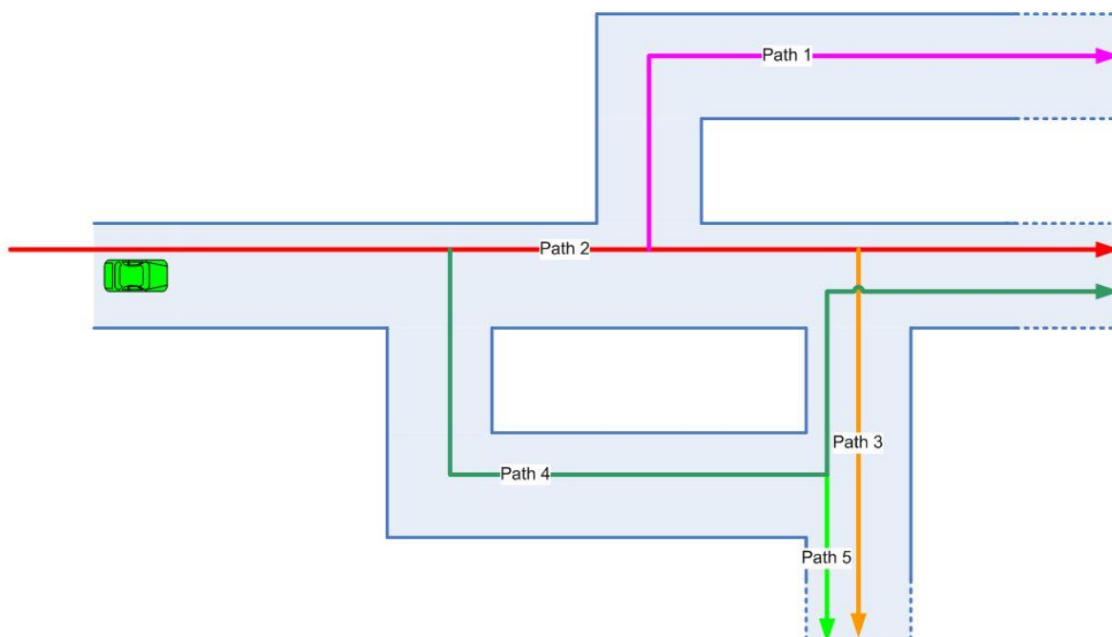
3.2.1 Co tvoří ADAS Horizon?

Základním prvkem, který tvoří model prostředí před vozidlem jsou úseky pozemních komunikací, tzv. „links“. Každý úsek nese jedinečné identifikační číslo, jak je vidět na obrázku 5.



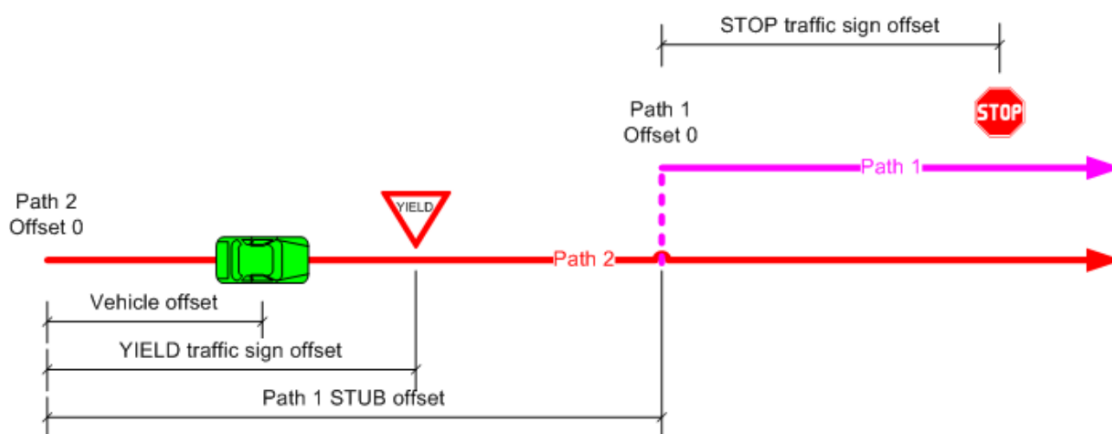
Obrázek 5: Úseky zohledněné ADASIS Horizonem [2]

Pro ADAS aplikace jsou lépe využitelná již předzpracovaná data. ADAS Horizon provider proto ADAS Horizon reprezentuje souborem potenciálních tras, po kterých se může vozidlo v blízké budoucnosti pohybovat. Tyto trasy vycházejí z výše uvedených úseků. ADAS Horizon provider optimalizuje ADAS Horizon tak, že duplicitní části tras redukuje a výsledné optimalizované trasy jsou datově méně náročné pro přenos. Optimalizovaná reprezentace je patrná z obrázku 6.



Obrázek 6: Přehled možných tras vozidla, které zohledňuje ADASIS Horizon [2]

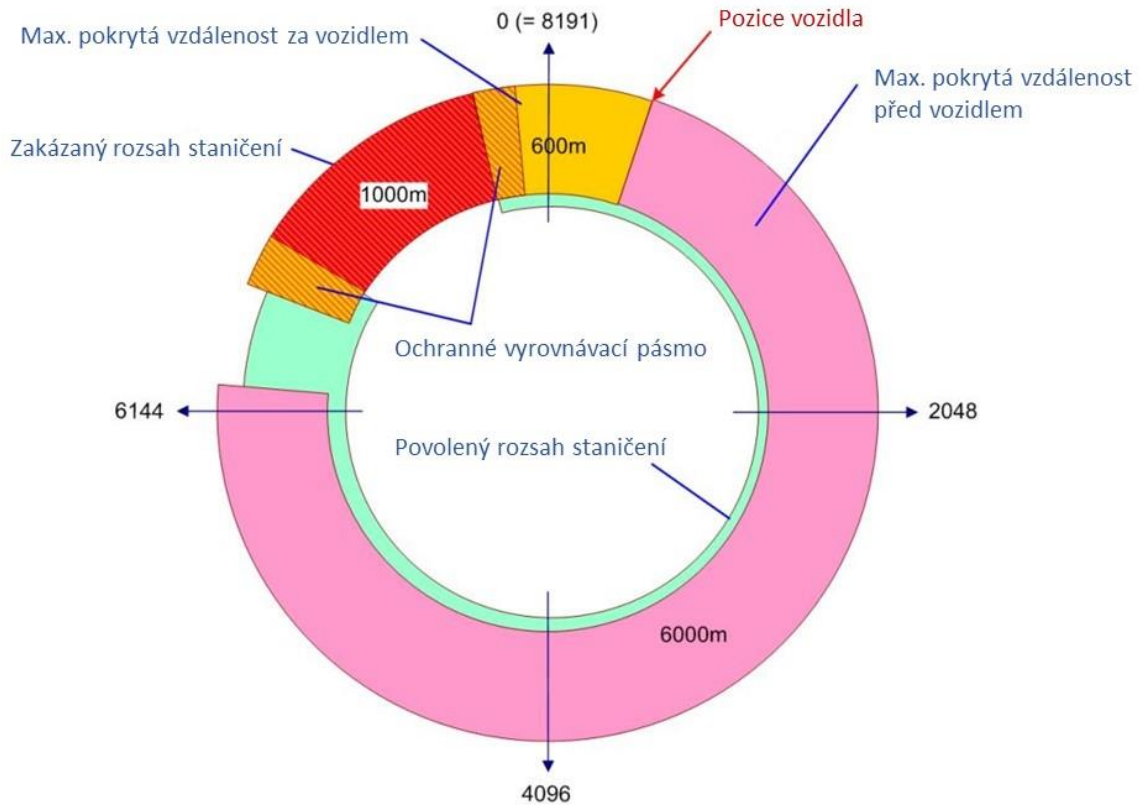
Veškeré objekty, ke kterým se vrátíme v následující podkapitole, jsou podle této reprezentace vždy vztaženy ke konkrétní trase, jejich pozice je pak určena vzdáleností od počátku trasy, jakýmsi „staničením“, ve specifikaci označeným jako „offset“, jak uvádí obrázek 7.



Obrázek 7: Schéma výpočtu staničení [2]

Důležitým parametrem je délka horizontu před vozidlem. Tento parametr je pro nás stěžejní, neboť dokazuje rozšíření horizontu nad hranice běžných senzorů používaných ve vozidlech. Při dostupných mapových podkladech a informacích v nich je jeho velikost teoreticky neomezená. V praxi je reálná velikost (délka) dostupného horizontu závislá na maximální hodnotě staničení, které dokáže Horizon provider poskytnout skrze interface ADAS aplikacím. Jak bude vysvětleno na obrázku níže, tato hodnota vychází z maximální bitové délky 13 bitů a odpovídá vzdálenosti 6000 m. Navíc je k dispozici i horizont maximálně

600 m za vozidlem, který je nutný především pro výpočet pomocí interpolace, při kterém jsou nutné dva body, z nichž jeden je výhodné umístit za vozidlo, jak dokládá obrázek 8.



Obrázek 8: Využití bitového pole určeného pro přenos staničení [2]

3.2.2 Poskytované informace

Do tras, které jsou součástí ADAS Horizonu, jsou umístována potřebná a využitelná mapová data v interpretované podobě. Mapová data v tomto případě mohou být různého charakteru, a to:

- Doplnující data k mapové bázi
- Mapová data jako nadstavbový obsah
- Data jako dynamický obsah

Doplnujícími daty k mapové bázi jsou doplňkové informace k jednotlivým úsekům pozemních komunikací, patří sem například podélný sklon komunikace, třída, stav povrchu vozovky apod. Tato data mohou být v některých případech již součástí mapového základu, a nejedná se tedy o mapová data. Důvodem je to, že tento druh dat je zpravidla vázaný na síť

pozemních komunikací, protože upřesňuje její vlastnosti a obsah je statického charakteru. Dodavatel těchto dat pro Horizon provider bude stejný jako pro mapovou bázi.

Mapová data, která slouží jako nadstavbový obsah, jsou ty informace, které nesouvisí přímo se základní sítí komunikací, ale pro pozemní dopravu jsou nanejvýše důležité. Jako nadstavbová data si můžeme představit dopravní objekty, dopravní značení, světelnou signalizaci, služby a POI pro řidiče apod. Do této kategorie patří i data, která definují části tras, ve kterých platí určité dopravní omezení či dopravní režim. Typickým příkladem může být maximální povolená rychlost, zákaz předjíždění či označení zóny se zvláštním režimem. Jedná se tedy nejen o body v mapách, ale i úseky či oblasti.

Data jako dynamický obsah jsou spíše předmětem blízké budoucnosti. Horizon provider ani druhá verze protokolu s nimi v tuto chvíli nepočítá, nicméně v rámci nové verze v3 s nimi již počítáno je. [31] V tomto případě vnášíme do mapy obsah, který je dynamický, často se mění, či jde o zobrazování informací v reálném čase. V této kategorii najdeme informace jako je hustota provozu, aktuální uzavírky, nehody, kongesce, či dokonce ostatní vozidla. Tento obsah je vždy poskytován vzdáleně, tedy ze serverových či cloudových databází či skrze rádiový přenos. [31].

ADAS Horizon provider taková data zpracovává, tvoří z nich výše prezentovaný ADAS Horizon a po integraci těchto dat je posílá klientským aplikacím. Jaké konkrétní informace jsou tedy aplikacím v rámci druhé verze ADASIS protokolu k dispozici? Jejich přehled je uveden v tabulce 5.

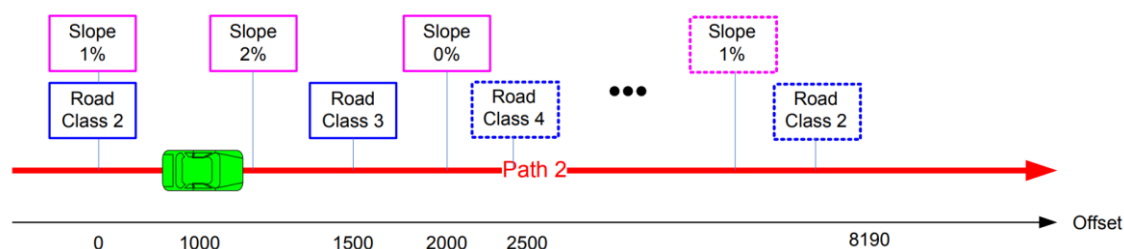
Tabulka 5: Přehled informací obsažených v ADASIS Horizonu – Zdroj: vlastní zpracování dle [2]

Vozidlo	<ul style="list-style-type: none"> • Pozice • Rychlost • Směr vůči trase • Jízdní pruh
Úsek pozemní komunikace	<ul style="list-style-type: none"> • Druh • Státní třída • Úroveň třídy • Umístění • Počet jízdních pruhů • Obecný rychlostní limit • Proměnný rychlostní limit • Rychlostní limit pro nákladní vozidla • Dopravní značení • Klikatost • Stoupavost • Povolené třídy vozidel • Povrch a stav vozovky • Směřování • Souřadnice, nadm. výška
Navazující úseky	<ul style="list-style-type: none"> • Státní třída • Úroveň třídy • Počet jízdních pruhů • Přednost v jízdě vůči současnému úseku
Regionální informace	<ul style="list-style-type: none"> • Strana řízení • Jednotky rychlostí • MPZ • Region
Mapy	<ul style="list-style-type: none"> • Dodavatel map a mapových dat • Čtvrtletí a rok vydání

Jakých hodnot mohou informace nabývat je uvedeno v přesné specifikaci protokolu [2].

3.2.3 Struktura ADAS Horizon

Struktura modelu ADAS Horizon je tvořena obsahem, který je lokalizován do vypočtených tras pomocí staničení. Jednotlivé trasy jsou označeny vlastním identifikátorem. Způsob popsaný výše je přehledně patrný z obrázku



Obrázek 9: Souslednost informací obsažených v ADASIS Horizonu [2]

Každá informace či objekt, který je do trasy zasazen, je evidován zvlášť. Tato informace či objekt mohou být dále upřesněny samostatnou položkou v modelu.

Například rychlostní limit je nejprve přiřazen konkrétní trase, zvlášť je evidován jeho začátek staničením a zvlášť je také evidováno doplnění informací o tom, o jaký druh rychlostního limitu se jedná, tedy jde-li o limit určen dopravní značkou, noční dobou, denní dobou, denním časem, povětrnostními podmínkami či obecně platným pravidlem. Separátně je pak vedena i informace o tom, v jakých jednotkách je veličina uvedena, tedy kilometry či míle za hodinu. Dalším příkladem může být například geometrie trasy, která je určena několika způsoby a klientská aplikace jen využije takový popis, který ji vyhovuje. Jednou z možností je využití Beziérových křivek, kde struktura v ADAS Horizon je dána dvěma body se známými zeměpisnými souřadnicemi a dvěma kontrolními Béziérovými body. ADAS aplikace si pak geometrii dopočte pomocí matematického modelu. Každý bod je v tomto případě definován zvlášť.

Takto přesně strukturovaný model je pak možno jednoduchým způsobem zakódovat a poté i přenést přes datový komunikační kanál. Pochopitelně každá ADAS aplikace využije pouze ty informace, které potřebuje či využije.

3.3. Rozhraní ADASIS v2

Protokol ADASIS v2 protocol definuje uspořádání dat přenášených po vozidlové sběrnici CAN k ADAS aplikacím ve vozidle. Cílem protokolu je stanovit jednotný přístup k informacím vysílaným ADAS Horizon providerem tak, aby je mohlo využívat hned několik aplikací najednou kdekoli v vozidle. Protokol definuje především strukturu a tvar rámců a dat v nich uspořádaných tak, aby bylo možno je po CAN sběrnici přenášet. [2]

3.3.1 Konektivita

Jak již bylo řečeno, ADAS Horizon provider přistupuje ke sběrnici a vysílá ADAS Horizon, který je řádně strukturován. Strukturované informace jsou obsaženy v datových rámcích. Každá aplikace, která vyžaduje přístup k ADAS Horizonu musí mít přístup ke CAN Bus sběrnici a obsahovat komponentu ADAS horizon reconstructor. Tato komponenta má za úkol přijímat zprávy s rámci a dekodovat je. Následně dochází ke zpětné rekonstrukci informací z přijatých dat a poskytnutí dat ADAS Horizon patřičné ADAS aplikaci. ADAS Horizon reconstructor zároveň data filtruje a rekonstruuje pouze takovou část z Horizonu, kterou

aplikace požaduje. Nedochozí tak k zahlcení aplikace nevyužívanými daty. Například aplikace, které pracují pouze s rychlostními limity, dostanou od svého ADAS Horizon reconstructor vybrané informace související s rychlostí a ostatní rámce, které odposlechne komponenta na sběrnici, zůstanou nevyužity.

3.3.2 Tvar zpráv

Model ADAS Horizonu je strukturovaně rozdělen do rámců dle specifikace CAN. Na úvod je potřeba připomenout, že přenos po sběrnici CAN není adresován, rámec obsahuje v hlavičce identifikátor zprávy. Na základě identifikátoru je zpráva přijata zařízeními, kterých se zpráva týká, součástí identifikátoru je i priorita, která označuje přednost při vysílání na sběrnici. CAN rámec nabízí prostor pro data až 64 bitů, tedy osm bajtů po osmi bitech. [10]

V aktuální verzi ADASIS protokolu je k dispozici 7 různých druhů rámců. Každý druh má své číselné ID. Jejich přehled je patrný z následující tabulky 6:

Tabulka 6: Přehled rámců ADASIS a jejich ID

DRUH RÁMCE	ID
Systémová	0
Pozice	1
Úsek	2
Uzel	3
Krátký profil	4
Rozšířený profil	5
Meta-data	6
Nevyužito/rezervováno	7

Dle schopnosti konkrétní sběrnice CAN vytvářet multiplex může být nutné rozlišit druh rámce již v jeho identifikátoru. V ostatních případech je možno ponechat jeden identifikátor pro veškeré ADASIS rámce a multiplex bude rozlišen na základě ID druhu rámce. ADASIS rámce jsou v základu připraveny pro CAN sběrnice používající formát Motorola, tedy formát *Big endian*. V případě, že by bylo nutno použít formát společnosti Intel, tedy *little endian*, v takovém případě je nutné provést patřičný přepočít.

Každý ADASIS rámec obsahuje 64 bitů dat a patříčná data doplňková a hlavičková. V každém rámci je struktura dat odlišná a význam jednotlivých čísel je také odlišný. Celkový přehled všech bitových polí a jejich významu v desítkové soustavě je uveden v příloze č. 1 této práce. Každý rámec je rozpracován zvlášť. Pro doplnění zmíněného přehledu významů je na obrázku 10 uveden příklad bitového rozvržení rámce typu *pozice*. Je v něm přehledně zobrazeno všech 64 bitů a jejich řazení ve formátu Motorola.



Obrázek 10: Bitové schéma ADASIS rámce typu *pozice* [2]

3.4. Současné a předchozí verze ADASIS

3.4.1 Verze v1

První vydaná specifikace komunikačního rozhraní byla vytvořena v letech 2004-2007 [34] v rámci spolupráce ADASIS Fora na projektu PReVENT MAPS&ADAS, a jednalo se o rozhraní komunikace ADAS s digitální mapou. Využití tohoto rozhraní umožňovalo predikovat geometrii trasy před vozidlem v závislosti na jeho poloze a s využitím digitální mapy. [32] Řešení predikovalo všechny možné trasy a obsahovalo veškeré informace ohledně geometrie těchto tras. Data byla poskytována jako balíček pro celou síť tras, a byly v nich obsaženy informace týkající se dopravního značení a rychlostních limitů, směr, klikatost trasy, podélný sklon vozovky a počet jízdních pruhů. [32]

Tato verze byla testována a v rámci vývoje implementována do prototypů vozidlových systémů, většinou v rámci vývoje účastníků či partnerů projektu. Do sériové implementace

se standardizovaný protokol nedostal zejména pro svou datovou náročnost a velký objem predikovaných informací.

3.4.2 Verze v2

První verze v2 byla vydána 13. dubna 2010. Verze 2.0.3.0 vyšla 16. prosince 2013 a z této verze vychází i detailní popis celého protokolu, který byl v kapitole 3 rozebrán. [2]

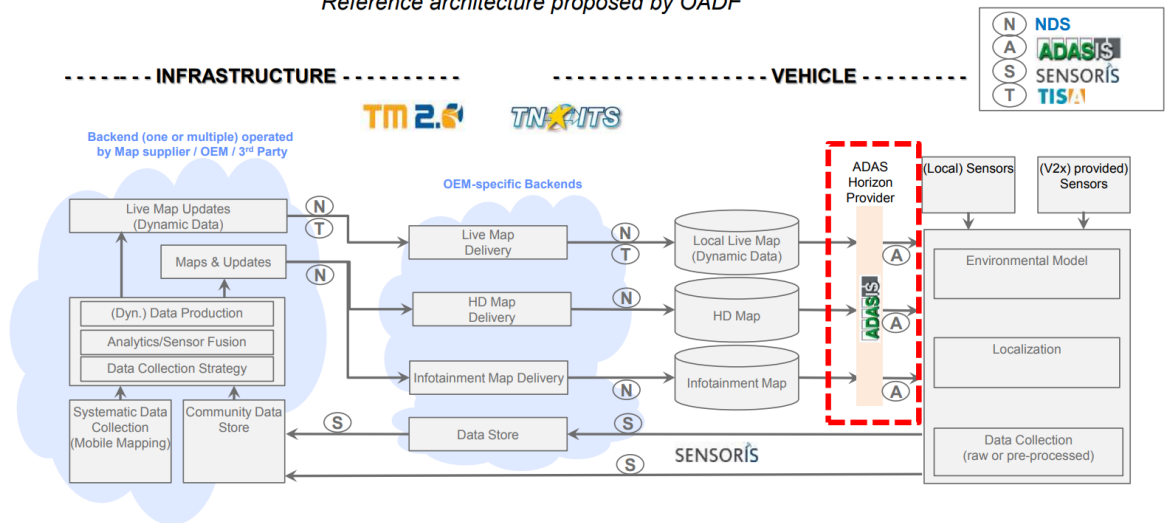
Oproti předchozí verzi v1 je ADASIS protocol v2 značně pozměněn. Celkově je nová verze podstatně jednodušší a méně komplexní. To pochopitelně přispívá k nižší výpočetní náročnosti při zpracování dat v rámci komunikace po sběrnici. Dříve v Horizonu nefigurovaly trasy připadající v úvahu pro jízdu vozidla, nýbrž celá síť komunikací. Novější verze také počítá s možností multiplexu a nevyžaduje tak implicitní použití různých CAN identifikátorů pro jednotlivé druhy rámců. Kromě toho také ve verzi v2 přibyla možnost opravy chyb v podobě vyžádání chybných nebo ztracených rámců. V neposlední řadě došlo k celkovému rozšíření přenášených informací, zvětšení škály dopravního značení a zlepšení v popisu podélného sklonu vozovky, směřování úseku pozemní komunikace nebo klikatosti trasy. [32]

3.4.3 Verze v3

Pan Michael Klingsöhr, předseda sdružení, sdělil na konferenci Open Auto Drive Forum (OADF) v únoru 2017, že v roce 2017 bude vydána nová verze ADASIS v3 a bude k dispozici výhradně členům sdružení. [8]

V rámci přípravy nové verze v3 se počítá s integrací ADASIS platformy do vozidlového komunikačního konceptu spolu s dalšími systémy. Stejně tak se počítá s využitím dynamických dat a dat pocházejících z V2V komunikace. Možnou architekturu celého konceptu sestavili v rámci OADF konference její členové. Architektura je přiblížena na obrázku 11. [31]

Automated driving data chain and ecosystem
Reference architecture proposed by OADF



Obrázek 11: Nový koncept architektury datového řetězce pro autonomní řízení dle OADF [31]

Nová verze v3 umožňuje mimo jiné také podporu HAD (Highly Automated Driving) map, což jsou speciální mapy pro autonomní vozidla. V souvislosti s tím dochází také ke zpřesnění informací o např. jízdních pruzích tak, aby byla data využitelná pro HAD systémy. [31]

4. Adaptivní tempomat pro silniční vozidla

Aktuálně nejrozšířenějším vozidlovým systémem optimalizujícím plynulost jízdy vozidla jsou systémy udržování rychlosti neboli tempomaty. Tempomaty umožňují udržet konstantní rychlost vozidla, v pokročilejších verzích pak i s ohledem na okolí, což umožňuje optimalizovat plynulost jízdy, snížit spotřebu paliva a emise výfukových plynů. První tempomaty byly implementovány ve vozidlech v polovině 20. století. [41] Tempomaty procházejí neustálým vývojem a jejich funkce a užité vlastnosti se posouvají daleko za hranici pouhého udržení konstantní rychlosti.

4.1. Přehled současně dostupných tempomatů v silničních vozidlech

4.1.1 Tempomat

Základní systém tempomatu, jindy také nazývaný Cruise control (CC), je základní regulační systém, sloužící k udržení konstantní rychlosti jízdy vozidla. První cruise control systémy se objevily ve Spojených státech v druhé polovině 20. století. [41] [43] První verze systému vyžadovaly ruční nastavení požadované rychlosti mechanickým ovladačem, vozidlo pak pomocí mechanického systému udržovalo nastavenou rychlost. [42] Systém byl následně přepracován do digitální podoby a v mnohých současných vozech je k dispozici jako běžný ovladač, který po dosažení požadované rychlosti a jeho aktivaci elektronicky udržuje nastavenou rychlost dávkováním plynu v závislosti na rychlosti jízdy vozidla. Funkce tohoto systému neumožňuje aktivovat brzdový pedál a případné snížení rychlosti je dosahováno pouze pomocí ubrání plynu. Regulace probíhá pouze s ohledem na rychlost jízdy vozidla, jiné faktory nejsou vstupními veličinami do regulačního systému.

4.1.2 Adaptivní tempomat

Systém adaptivního tempomatu ACC (adaptive cruise control) posouvá regulaci rychlosti jízdy do zcela nových funkcí. Na trh dorazil v polovině devadesátých let minulého století [43]. Základní úkol adaptivního tempomatu spočívá v regulaci rychlosti jízdy vozidla v závislosti na provozu před vozidlem. Systém pomocí detektoru, kterým je ve většině případů radar, zjišťuje přítomnost objektu či jiného vozidla před jedoucím vozidlem vybaveným adaptivním tempomatem. Na základě odstupů od tohoto vozidla je rychlost jízdy upravována. Adaptivní tempomat tak umožňuje snížení rychlosti jízdy v případě nárůstu intenzity dopravního proudu či vzniku souvisle jedoucí kolony bez zásahu řidiče, v případě

uvolnění jízdního pruhu následně opět zrychlení na nastavenou rychlost jízdy. Výhoda těchto elektronicky řízených tempomatů spočívá také v možnosti propojení s dalšími vozidlovými systémy, zejména bezpečnostními, např. zastavení vozidla před překážkou (collision avoidance system) apod.

4.1.3 Pokročilý adaptivní tempomat

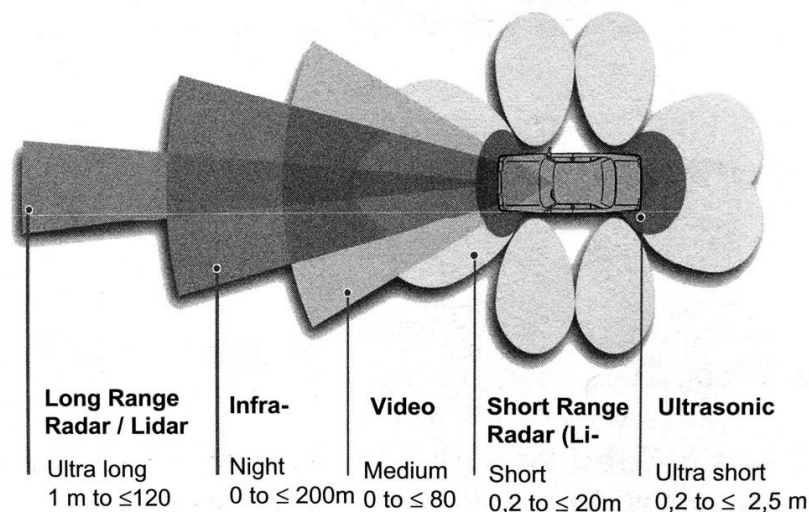
Pokročilý adaptivní tempomat, jindy označovaný jako ACC plus, je další modernizací adaptivního tempomatu. Tento vozidlový systém může být instalován v kombinaci s automatickou převodovkou. Novou funkcí celého systému je zde možnost automatického udržení rychlosti jízdy obdobně jako v předchozím případě, a to i při nízkých rychlostech až do úplného zastavení a následně i rozjezdu vozidla. Funkce systému je tak uplatnitelná při popojíždění v kolonách, velmi hustém městském provozu apod. Tento systém vykazuje známky relativně vysoké autonomie jízdy, regulační systém tak přebírá regulaci rychlosti jízdy ve velké části případů a zásah řidiče do regulace rychlosti je při jízdě mimo město omezen na zvláštní situace. V případě, kdy je tento systém doplněn systémem rozpoznávání dopravních značek, lze očekávat i automatizované snížení rychlosti jízdy nejen v závislosti na okolním provozu, ale také na dopravním značení omezujícím maximální rychlost jízdy.

4.2. Struktura adaptivních tempomatů a rozhodovací logika

Systém adaptivního tempomatu ke své funkci využívá vlastní radar, pracující na frekvenci 76-77 GHz [43]. Tento radar ACC poskytuje informace o výskytu překážky, respektive jiného vozidla před ACC vybaveným vozidlem a vzdálenost k této překážce. Systém dále zpracovává data z řídicí jednotky vozidla, odkud získává rychlosti jízdy vozidla a dále data ze sběrnice o ovládání systému aktivovaném řidičem, zejména tedy požadovanou rychlost, odstup od vozidla před sebou, aktivace a deaktivace systému.

4.2.1 Nadstandartní snímače

Pro pokročilé adaptivní tempomaty (ACC plus) či pro tempomaty pracující v kolonách až do úplného zastavení musí být vozidlo vybaveno dalšími snímači. Obsahuje-li vozidlo navíc dalšími systémy, mělo by být vozidlo ideálně osazeno tak, jak je uvedeno na obrázku 12.



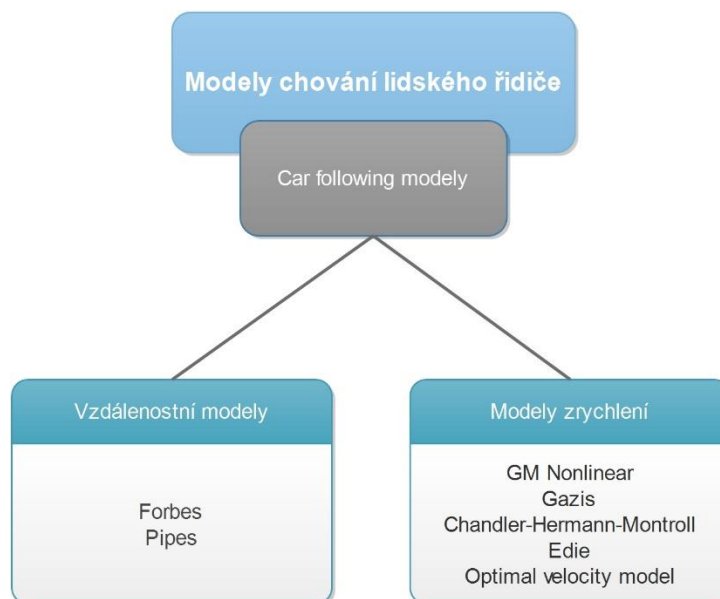
Obrázek 12: Vybavení vozidla senzory pro pokrytí celého okolí vozidla [43]

4.2.2 Algoritmy a softwarové modely

Softwarová logika adaptivních tempomatů v silničních vozidlech je výpočetně zpracovávána ve vlastní řídicí jednotce, která spolupracuje jak s vozidlovými řídicími jednotkami, od kterých získává jednu část dat, tak i s výše uvedenými snímači, které jí poskytují zbylá data o dění v okolí vozidla. Výpočetní algoritmy kontinuálně přepočítávají získávaná data. Tyto algoritmy rozhodují o tom, jaký požadavek na plynový, respektive brzdový pedál bude odeslán do řídicí jednotky vozidla.

Rozlišujeme dvě základní skupiny algoritmů, první skupina vrací na výstupu proměnnou d_{min} (minimální odstup od vozidla vpředu) a řídicí jednotka tak musí ještě porovnat aktuální odstup s minimálním odstupem a do vozidlové jednotky posílat požadavek na zrychlení či zpomalení vozidla. Tyto modely neposkytují dobré výsledky při nízkých rychlostech, jak bude vysvětleno dále. Druhá skupina algoritmů vrací na výstupu přímo proměnnou a , tedy potřebné zrychlení vozidla k udržení minimální vzdálenosti za vozidlem vpředu. V každé skupině pak algoritmy využívají různých modelů, pomocí kterých dochází k výpočtu minimálních vzdáleností d , respektive zrychlení a . Modely jsou v oboru ITS obecně označovány jako car-following modely, první z nich byly vyvinuty v minulém století [37] a jejich prvotním cílem je napodobit chování reálného řidiče jedoucího za jiným vozidlem matematickým vztahem.

Dále budou blíže popsány modely, které jsou nejznámější a také modely, které se ukazují jako nejpresnější, tedy které nejvěrohodněji popisují chování skutečného řidiče při udržování odstupů od vozidla před sebou. Jejich rozdělení je patrné z obrázku 13.



Obrázek 13: Rozdělení základních car-following modelů

4.2.3 Pipes model

Model vyvinul Louis Pipes v roce 1953. Tento model je založen na teorii, že na každých deset mil za hodinu rychlosti jízdy by měl odstup od předchozího vozidla být dvacet stop. [37] Vyvinul tedy první car-following model jehož vzorec je dán rovnicí 4.1, kde

$$d_{Min}(t) = \frac{20}{1,47 \cdot 10} V_n(t) \quad (4.1)$$

kde d_{min} je vzdálenost ve stopách a V_n je rychlost v mílích za hodinu. Při převodu na metrické jednotky má tento vzorec tvar vzorce 4.2.

$$d_{Min}(t) = \frac{6,096}{4,4704} V_n(t) \quad (4.2)$$

V rovnici d_{min} je vzdálenost v metrech od předchozího vozidla a V_n je rychlost uvažovaného vozidla v metrech za sekundu.

Tento model předpokládá lineární závislost mezery mezi jedoucimi vozidly a rychlostí jízdy. Tento model však pochopitelně nejde uplatňovat při nízkých rychlostech, neboť při nízkých rychlostech se výsledná mezera blíží nule, což neodpovídá reálným podmínkám v provozu, kde i při malých rychlostech řidiči udržují určitý minimální odstup.

4.2.4 Forbes model

T. W. Forbes v šedesátých letech minulého století vyvinul jiný způsob stanovení odstupů mezi vozidly. V tomto modelu je uvažována reakční doba řidiče, která pochopitelně není totožná u každého řidiče, a dokonce ani u stejného řidiče za různých okolností a v jiném čase. Podle tohoto modelu by měla vždy měla být mezera, respektive časový odstup mezi vozidly větší nebo roven reakční době řidiče. [37] Model je definován rovnicí 4.3.

$$h_{min}(t) = T + \frac{\Delta X_n(t)}{V_n(t)} \quad (4.3)$$

kde h vyjadřuje časový odstup mezi vozidly, T je reakční doba řidiče, a vztah $\frac{X_n}{V_n}$ vyjadřuje čas nutný k ujetí vzdálenosti odpovídající délce vozidla aktuální rychlostí. V tomto modelu je uvažována minimální časová mezera jako reakční doba povýšená o dobu ujetí vzdálenosti odpovídající jednomu vozidlu.

Tento model, obdobně jako Pipes model není spolehlivý ve všech situacích, neboť pro nízké rychlosti se opět návratová hodnota blíží nule, což neodpovídá reálně naměřeným parametrům v provozu, kde jsou i při nízkých rychlostech zachovány konstantní nenulové rozestupy.

4.2.5 Chandler-Herman-Montroll model

Model vyvinutý v padesátých letech 20. století výše uvedenými vědci přináší jiný přístup k problematice velikosti mezery mezi vozidly jedoucími za sebou. [37] Tento model je vyjádřený vztahem 4.4.

$$a_n(t) = \frac{\lambda}{M} * \Delta V_n(t - T_n) \quad (4.4)$$

Model nemá za výstup přímo velikost odstupů vyjádřenou v metrech. Výstupem tohoto modelu je zrychlení a , které při daných podmínkách přirozeně aplikuje řidič vozidla. Konstanta λ značí míru citlivosti, M je hmotnost vozidla a veličina ΔV_n reprezentuje relativní rychlost vozidla oproti vozidlu před ním. Rozdíl $(t - T_n)$ vyjadřuje čas ponížení o reakční dobu řidiče T . V pozdějších zpracováních tohoto modelu se u osobních vozidel uvažuje jiná konstanta citlivosti pro zrychlení a brzdění, neboť se experimentálně projevilo, že většina řidičů je citlivější na podněty vyžadující brzdění nežli přidání plynu.

4.2.6 Gazis model

Vycházejíc z předchozího modelu později vyvinul p. Gazis s kolektivem nový model označovaný jako Gazis model, daný rovnicí 4.5. Gazis model je úpravou předchozího modelu, dle tohoto modelu je citlivost λ závislá na vzdálenosti mezi vozidly jedoucími za sebou. [37, 39]

$$a_n(t) = \frac{b}{\Delta Y(t-T_n)} * \Delta V_n(t - T_n) \quad (4.5)$$

V tomto případě b vyjadřuje citlivost řidiče, a vztah ve jmenovateli zlomku odstup mezi vozidly v čase $t-T_n$.

Tento model je opět nevhodný pro situace s velmi nízkou intenzitou dopravního proudu, není příliš vhodný pro reálné použití, a proto byl dále rozvíjen a upravován. Model následně rozvinul p. Edie, který ho upravil tak, aby mohl být použit i pro nízké intenzity provozu. Další úpravou, za kterou opět stojí p. Gazis [39], vědci stvořili jeden z nejznámějších modelů, General Motors nonlinear model.

4.2.7 GM nonlinear model

General Motors nonlinear model je jeden z nejpoužívanějších a nejznámějších car-following modelů. Výstupem tohoto modelu je opět zrychlení vozidla iniciované jeho řidičem, a matematický vztah pro tento model je dán rovnicí 4.6.:

$$a_n(t) = \alpha * \frac{V_n(t-T_n)^\beta}{\Delta X_n(t-T_n)^\gamma} * \Delta V_n(t - T_n) \quad (4.6)$$

Podle tohoto modelu je citlivost přímo úměrná rychlosti jízdy V_n a nepřímo úměrná odstupu vozidel. Vztah je navíc doplněn faktorem proporcionality α a empirickými mocninami β a γ . [37, 39] Matematický vztah byl později experimentálně laděn, původně měly být koeficienty β a γ reálnými čísly, pozdější ladění ve zvláštní studii ukázalo, že nejpřesnějších výsledků model dosahuje, když koeficienty jsou reálná čísla. Experimentálně byly koeficienty stanoveny na hodnoty [39]:

$$\alpha = 1.33e-4$$

$$\beta = 0.8$$

$$\gamma = 2.8$$

4.2.8 Optimal velocity model

Jedním z novějších car-following modelů je optimal velocity model daný rovnicí 4.7. Tento model vychází z předpokladu, že každý řidič se snaží dosáhnout určité optimální rychlosti. Podle tohoto modelu je optimální rychlost závislá na vzdálenosti mezi za sebou jedoucími vozidly [38].

$$a_n = \left[\frac{1}{T} \right] * [V^{opt} * (\Delta x_n^t) - v_n^t] \quad (4.7)$$

V tomto matematickém vztahu T vyjadřuje koeficient citlivosti řidiče, x_n je vzdálenost mezi vozidly a V^{opt} je optimální rychlost vozidla.

5. Inovativní vozidlový systém

Hlavní myšlenkou a cílem této práce je návrh nového a odlišného pokročilého adaptivního tempomatu, který by pracoval s využitím již zmíněné platformy ADASIS.

5.1. Základní námět

Na základě shrnutých informací o platformě ADASIS i současných funkcích adaptivních tempomatů bude navržen nový systém, který posune funkce běžných adaptivních tempomatů a bude mít díky platformě ADASIS informace o okolí vozidla výrazně větším, než mají současné adaptivní tempomaty využívající pouze vozidlové snímače. Myšlenka zakládá princip funkce na tom, že vozidlo vybavené rozhraním ADASIS bude vybaveno zvláštním pokročilým adaptivním tempomatem. Tempomat bude tato data využívat a na základě dat získaných z ADASIS optimalizovat svou jízdu s ohledem na trasu před vozidlem, její sklon, klikatost, rychlostní charakteristiku apod. a optimalizovat poměr času a spotřebovaného paliva, respektive škodlivých emisí.

5.2. Koncept systému

Smysl této práce není navrhnout celý systém do detailu, ale představit jeho základní možnosti včetně modelu, který chování systému nasimuluje.

5.2.1 Cíle aplikace

Cíle nového pokročilého adaptivního tempomatu směřují do několika oblastí silniční dopravy.

Prvním cílem systému je optimalizovat dynamiku jízdy tak, aby se snížila spotřeba paliva, a tedy i emise výfukových plynů, v případě, že systém bude implementován ve vozidle se spalovacím motorem. Ve vozidlech s elektromotory tento systém umožní snížit spotřebu elektrické energie a tím zvýšit dojezd vozidla. Navíc také optimalizace jízdní dynamiky umožní efektivní rekuperaci elektrické energie a tím další navýšení dojezdu elektromobilu. Optimalizace by měla probíhat s ohledem na preference řidiče vozidla, který má možnost volby mezi ekonomicky výhodným jízdním režimem a časově úsporným jízdním režimem.

Druhým cílem systému je zvýšení bezpečnosti provozu na pozemních komunikacích. Vzhledem k tomu, že systém využívá informace o situaci před vozidlem, umožňuje zvýšit jízdní bezpečnost tam, kde je situace nepřehledná. Zvýšení bezpečnosti přinese systém všude

tam, kde je výhodné znát dopravní značení s předstihem, znát s předstihem profil trasy a informace o křížení pozemních komunikací, stejně jako další parametry dopravní sítě. Včasné snížení rychlosti jízdy může zvýšit bezpečnost v mnoha úsecích, zejména tam, kde řidič nutnost zpomalit zaregistruje velmi pozdě.

Dalším cílem aplikace je zvýšení jízdního komfortu ve vozidle. Systém je do určité míry přiblížením k postupné autonomii vozidel. V tomto případě je cílem přebrat za řidiče ovládání plynového a brzdového pedálu při obvyklé jízdě v jednom pruhu a tím docílit vyšší autonomie vozidla a zvýšení komfortu řidiče.

5.2.2 Využitelnost systému

Nový pokročilý adaptivní tempomat může být implementován v různých sférách silniční automobilové dopravy. Z hlediska efektivity je patrné, že vyšších úspor z hlediska ekologie bude dosaženo u nákladních vozidel, kde správné využití kinetické energie a zamezení zbytečných výkyvů dynamické jízdy vozidla přinese značné úspory na spotřebovaném palivu, a tedy i na emisích výfukových plynů.

Ve sféře osobní silniční dopravy, tedy osobních automobilech, lze předpokládat využitelnost související především se zvýšenou bezpečností jízdy a zvýšeným stupněm komfortu a autonomie vozidla. Přesto lze však očekávat plnění cílů energetických úspor v osobních automobilech i u elektromobilů, jak již bylo naznačeno v minulé kapitole. Nejen snížení spotřeby elektrické energie, ale především maximalizace rekuperace energie je hlavním cílem všech elektromobilů a jejich řidičů, neboť v současné době je, zejména pro dostupnější vozidla, dojezd kritickým parametrem a rekuperace elektrické energie tento parametr může výrazně ovlivnit.

5.2.3 Podmínky použití

Koncept systému počítá s určitými podmínkami použití, ve kterých je systém schopen fungovat. V této části bude stanoveno prostředí, na které je systém koncipován.

Provozní požadavky jsou následující:

- Provoz vozidla na zpevněných silničních komunikacích
- Absence extrémních povětrnostních podmínek

- Běžný provoz systému v liových úsecích pozemních komunikací (tedy mimo křižovatky, kde trasa vozidla nemá přednost v jízdě, oblasti se zvláštním režimem, parkování apod.)
- Dostupnost systému ADASIS a splnění předpokladů uvedených v kapitole 5.4.2.
- Přítomnost, správnost, úplnost a spolehlivost dat a map poskytovaných systému ADASIS
- Předpokládá se splnění podmínek kladených na vozidlo uvedených v kapitole 5.4.1.

V případě, že budou výše uvedené podmínky splněny, je možné systém implementovat v běžném silničním vozidle, kde má řidič za vozidlo zodpovědnost a věnuje se řízení. Koncepce systému počítá, vzhledem k použitým car-following modelům, především s využitím v extravilánu.

5.3. Základní parametry a funkce

5.3.1 Základní funkce

Jak již bylo uvedeno, systém má za úkol přebrat řízení jízdní dynamiky vozidla. Hlavní funkcí systému je tedy řízení signálů požadavků na plyn a brzdění. Systém vychází z adaptivního tempomatu, který byl popsán v kapitole 4.1.2. a nabízí rozšíření jeho funkcí.

Nový pokročilý adaptivní tempomat funguje ve dvou jízdních režimech. Prvním režimem je běžný režim adaptivního tempomatu, který je navržen obdobným způsobem jako výše popsáný. Princip regulace jízdy vozidla je postavený na známé rychlosti jízdy a vzdálenosti od předchozího vozidla. Adaptivní tempomat pak udržuje správnou rychlost vozidla tak, aby udržel vhodný odstup od vozidla před ním, a to řízením signálů brzd a plynu. K určení správné rychlosti jízdy je v tomto případě použit car-following model, který v reálném čase v závislosti na aktuálních parametrech počítá optimální jízdní rychlost. Vstupními parametry jsou rychlost řízeného vozidla, rychlost vozidla před ním a odstup mezi oběma vozidly.

Druhý režim nového systému slouží k udržení maximální doporučené rychlosti v úseku, ve kterém se vozidlo právě nachází. Pro výpočet maximální doporučené rychlosti je využit

externí subsystém popsany v následující podkapitole 5.3.2. Systém získá od subsystému doporučenou rychlost, kterou vozidlo nesmí předkročit. Rychlost vozidla je následně této rychlosti přizpůsobena.

Nová aplikace při jízdě vozidla vybírá automaticky jízdní režim, ve kterém je systém v danou chvíli provozován. Znamená to tedy například, že při běžné jízdě maximální doporučenou rychlostí systém dokáže rozpoznat nutnost přepnout jízdní režim na sledování vozidla před sebou, například dojde-li řízené vozidlo pomalejší vůz před sebou, nebo vjede-li mu do cesty tento vůz z vedlejší komunikace pomalou rychlostí.

V obou případech je zohledněn i profil vozovky a systém tak dokáže reagovat na podélný sklon trasy a optimalizovat v závislosti na něm jízdní dynamiku. Sjíždí-li tedy vozidlo z kopce dolů, může systém s ohledem na úsporu paliva ubrat plyn s předstihem, zejména bude-li nutnost pod kopcem snížit rychlost jízdy. I v tomto případě aplikace využívá externí subsystém popsany níže.

Aplikace může dostát i dalších funkcí či rozšíření stávajících funkcí v případě, že bude rozšířeno technické vybavení vozidla a doplněna i příslušná rozhodovací logika. Možnosti rozšíření a doplnění jsou podrobně představeny v kapitole 6.4.

5.3.2 Externí subsystém výpočtu doporučené rychlosti

Tento subsystém dokáže na základě získaných dat přes eHorizon vypočítat maximální doporučenou rychlost, kterou by se v daném úseku mělo vozidlo pohybovat. eHorizon je v tomto případě poskytován skrze ADASIS protokol. Výpočet této rychlosti je založen na následujících parametrech:

- Maximální povolená rychlost legislativou nebo dopravním značením
- Maximální rychlost v oblouku vzhledem k parametrům vozidla a komunikace
- Maximální rychlost s ohledem na komfort posádky ve vozidle
- Maximální rychlost s ohledem na nadcházející dopravní situaci (světelná signalizace, železniční přejezd, křižovatka apod.) a brzdné podmínky

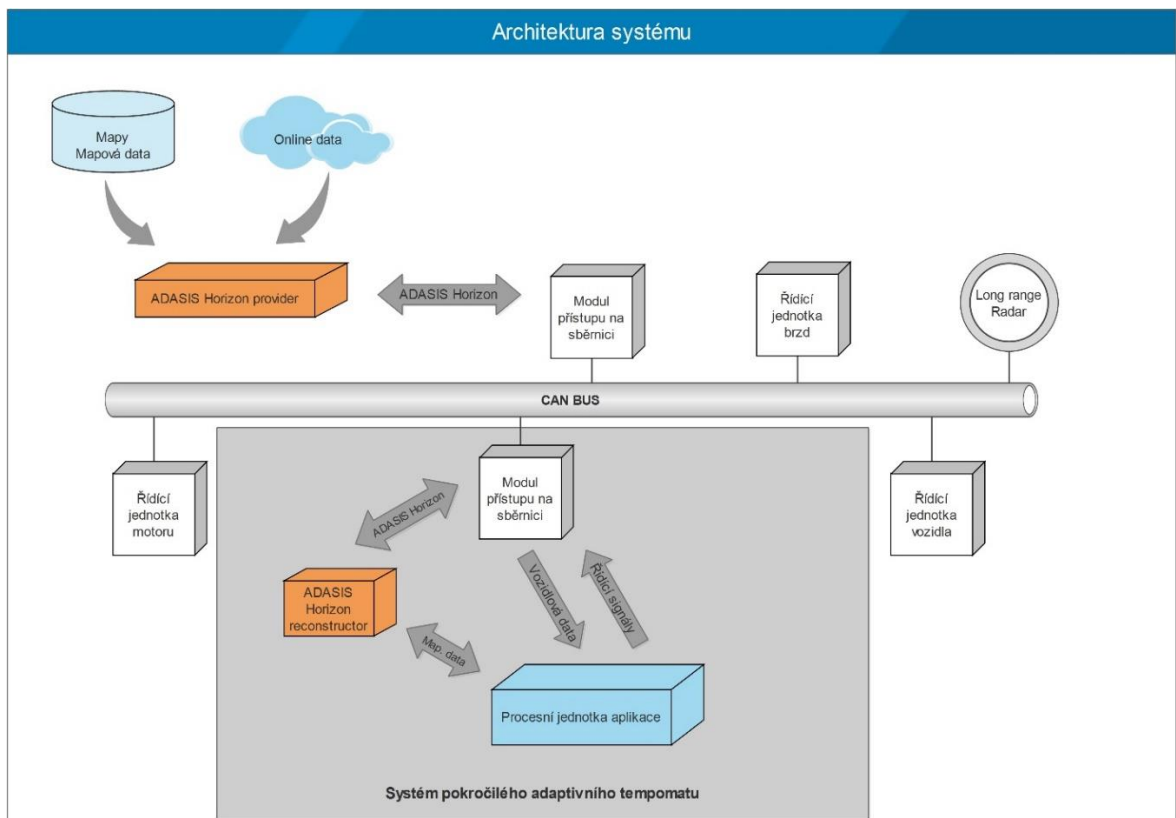
Subsystem přijímá data skrze ty ADASIS rámce, které pro určení veličin potřebuje. Následně funkce vypočítává jednotlivé maximální rychlosti. Z vypočtených hodnot je zvolena nejnižší rychlost a ta je uvedena na výstup systému.

Rozšířenou funkcí tohoto subsystemu je identifikace nutnosti úpravy rychlosti v blízcím se úseku. Systém následně vypočítá křivku rychlosti jízdy v režimu výběhu. Tento výpočet probíhá na základě výškového profilu trasy, parametrů a aktuální rychlosti vozidla. Výstupem této funkce je určení okamžiku pro aktivaci režimu výběhu, aby přiblížení do daného úseku proběhlo ve vhodné rychlosti jízdy. [12]

Tento externí subsystem byl vyvinut kolegou Milanem Cvetkovicem v rámci jeho zpracování diplomové práce na téma Real time Driver Advisory System for Fuel Economy based on the ADASIS data.

5.3.3 Komponenty

Co se týká technického vybavení, systém má obsahovat několik komponent. Pro umožnění získávání dat z ADASIS platformy, obsahuje systém síťovou komponentu přistupující na sběrnici CAN-BUS, která kromě komunikace s ADASIS umožní systému získávat i data z radaru a jízdní data vozidla z řídicí jednotky vozidla. Kromě této komponenty vyžaduje systém pouze procesní jednotku, která umožní zpracování algoritmů. V procesní jednotce je implementován eHorizon reconstructor, komunikační modul, akční modul a výpočetní model. Schéma systému je patrné z obrázku 14.

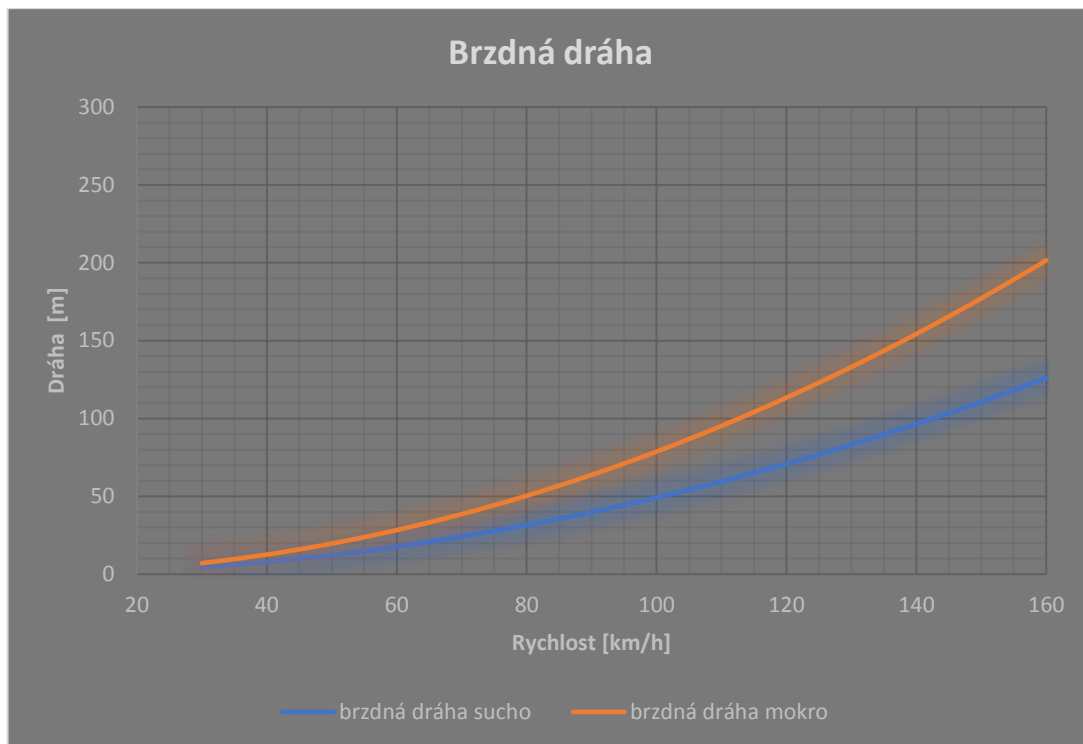


Obrázek 14: Schéma komunikace navrhovaného systému

5.3.4 Režim ACC

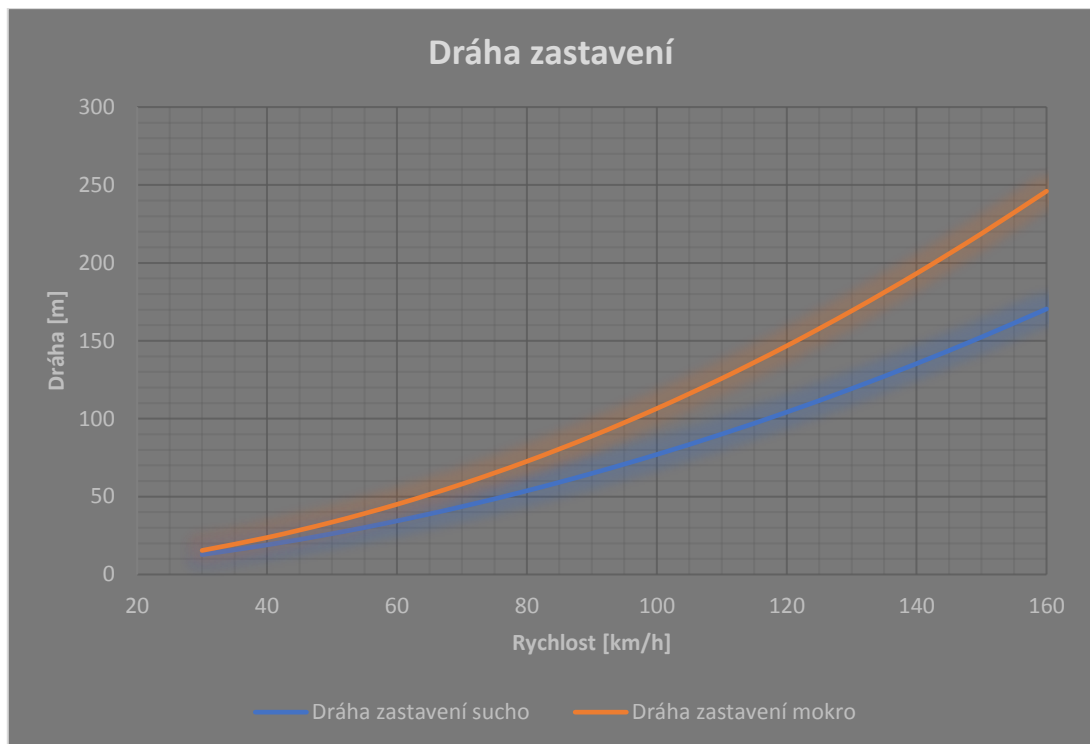
Jak již bylo představeno ve funkcích systému, jedním z režimů funkce je režim adaptivního tempomatu. Tento režim je aktivován v případě, že se vzdálenost mezi vozidly sníží pod minimální nastavenou hodnotu.

Nastavená hodnota je závislá především na rychlosti jízdy. Výpočet této hodnoty vychází z předpokladu, že systém musí zareagovat na vozidlo před ním v takové vzdálenosti, aby v případě, že předchozí vozidlo stojí, dokázalo řízené vozidlo zcela zastavit. Vzdálenost je počítána s ohledem na brzdovou dráhu vozidla a rychlost jízdy. Při obvyklých podmínkách na dálnicích, tedy vozovkách s asfaltovým povrchem, můžeme určit obvyklou brzdovou dráhu. Její přehled je uveden na obrázku 15.



Obrázek 15: Graf brzdné dráhy vozidla na suché a mokré vozovce

Brzdná dráha není však skutečnou vzdáleností, za kterou je vozidlo schopno zastavit. Zjistí-li řidič řízeného vozidla, že se před ním nachází stojící vozidlo, je nutné připočítat dobu, za kterou na tuto situaci zareaguje, tedy reakční dobu. Obvyklá uvažovaná reakční doba je jedna vteřina. V takovém případě hovoříme o dráze zastavení, kterou můžeme přehledně nalézt na obrázku 16.



Obrázek 16: Dráha zastavení vozidla na suché a mokré vozovce

V případech suché vozovky byl uvažován součinitel tření asfaltové vozovky a pneumatiky $\mu=0,8$, v případech mokré vozovky pak součinitel $\mu=0,5$. [13] Z grafu na posledním obrázku je patrné, že při rychlosti 130 km/h na mokré vozovce potřebuje řidič na zastavení 170 metrů. Předpokládejme, že řidič zná své vozidlo a dokáže tuto vzdálenost odhadnout. Aby byl nový adaptivní tempomat komfortním systémem, musí systém zareagovat dříve, než řidič vyhodnotí, že je již pozdě a zareaguje první.

V rámci návrhu systému požadujeme funkčnost i na mokrém povrchu, budeme tedy vycházet z hodnot dráhy zastavení na mokré vozovce. Provoz systému předpokládáme do rychlosti 150 km/h. Pro výpočet vzdálenosti, při které dojde k aktivaci režimu ACC, z výše uvedených důvodů navýšíme dráhu zastavení o 5 % a použijeme aproximaci křivky tak, aby aproximace protínala nejvyšší potřebné vzdálenosti. V tomto případě je to dráha zastavení 230 m pro rychlost 150 km/h a 40 m pro rychlost 30 km/h. Vyřešíme-li soustavu rovnic s body o souřadnicích, kde x reprezentuje rychlost v metrech za vteřinu a y dráhu v metrech, získáme koeficienty pro předpis aproximační křivky minimální vzdálenosti aktivace ACC.

V režimu ACC je v reálném čase počítáno optimální zrychlení vozidla. Výpočet vychází z modelů představených v kapitole 4.2. V modelované verzi systému níže je možno zvolit

5 z nich. U modelů, jejichž výstupem není přímo zrychlení je výstupní veličina modelu převedena na zrychlení. Výstupní zrychlení je pak regulující hodnotou dynamiky jízdy vozidla.

5.3.5 Režim CC

Druhým základním režimem je režim Cruise control, tedy režim kontroly rychlosti. Do tohoto režimu se systém přepne v situaci, kdy vozidlo není v blízkosti žádného vozidla jedoucího před ním nebo v situaci, kdy řízené vozidlo překročí maximální doporučenou rychlost. Informace o maximálních doporučených rychlostech systém získává pomocí ADASIS protokolu tak, jak je uvedeno v kapitole 5.3.1. V tomto režimu je rychlost vozidla udržována na hodnotě maximální doporučené rychlosti, dokud nedojde k vypnutí systému nebo přepnutí do režimu ACC.

Tento režim je odlišný od současných tempomatů v tom hledisku, že vstupní rychlost není upravována řidičem vozidla, ale je získána z mapových podkladů skrze protokol ADASIS. Výhodou této funkce je automatická úprava rychlosti při průjezdu oblouku či změně maximální povolené rychlosti, aniž by byla odezva vázána na reakci řidiče.

5.3.6 Modul výběhu

Úspora a zvýšení efektivity jízdy je docílena specifickou funkcí-režimem výběhu. Tato funkce jednoduše odpojí plynový pedál v situaci, kdy je rychlost vozidla vyšší než doporučená rychlost, kterou zohledňuje komponenta zajišťující režim Cruise control. Tím je docíleno výběhu vozidla, tedy jízdy setrvačností a zpomalení vozidla před zmiňovanými situacemi jako je křižovatka či začátek omezení rychlosti.

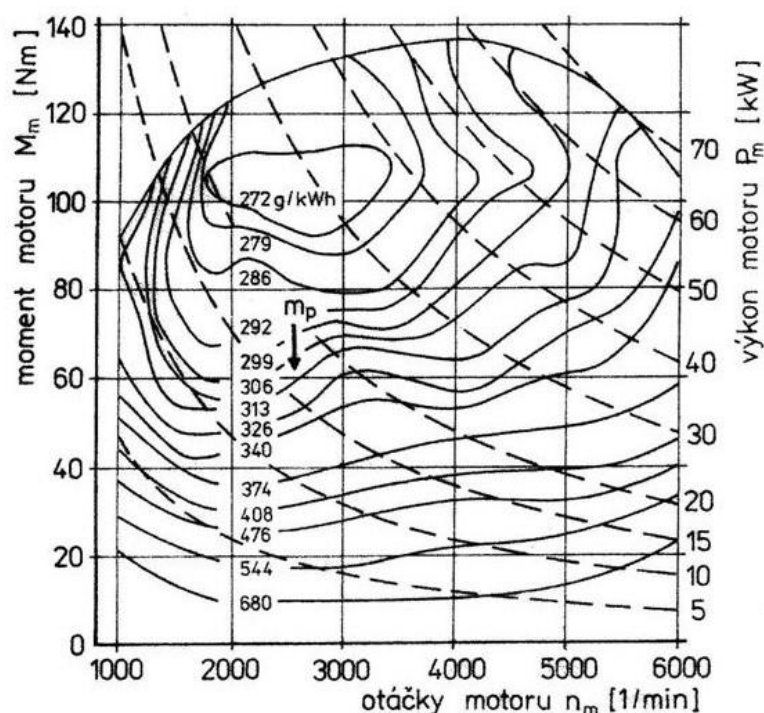
Nezávislé odpojení plynu neboli stanovení signálu plynu na nulu je funkční i v režimu ACC, tím je umožněn výběh v režimu ACC. Úsporná opatření v dynamice jízdy vozidla tak lze aktivovat i když režim CC není aktivní. Při odpojení plynu zároveň nedochází k ovlivnění samotných algoritmů udržující optimální vzdálenost od přechozího vozidla a je jim tak umožněno nezávisle brzdit, pokud zpomalí předchozí vozidlo. Výhodou funkce je zohlednění podélného sklonu vozovky, a režim výběhu je tak aktivován i s ohledem na případné nadcházející klesání, kdy je sklon vozovky využit pro jízdu setrvačností. Modul výběhu zajišťuje samostatný externí subsystém.

5.3.7 Modul šetrného rozjezdu

Jedna z možností, jak efektivitu vozidla dále zvyšovat, je implementace modulu zajišťujícího ekonomický rozjezd vozidla. Následující část popisuje návrh, jak by mohl vypadat modul ekonomického rozjezdu. Základní myšlenkou je vytvořit subsystém, u kterého si může řidič zvolit míru, v jaké bude upřednostňováno šetření paliva před rychlostí rozjezdu vozidla.

Cílem subsystému je nalézt optimální nastavení krouticího momentu a otáček motoru tak, aby měrná spotřeba paliva byla co nejnižší. Zároveň musí brát tato komponenta ohled na požadovaný krouticí moment na výstupu z motoru, tedy na klikové hřídeli.

Při návrhu tohoto subsystému vycházíme ze známé úplné charakteristiky motoru, který přehledným způsobem definuje závislost spotřeby konkrétního motoru na dostupném krouticím momentu při daných otáčkách, tak jak je uvedeno na obrázku 17. [9]

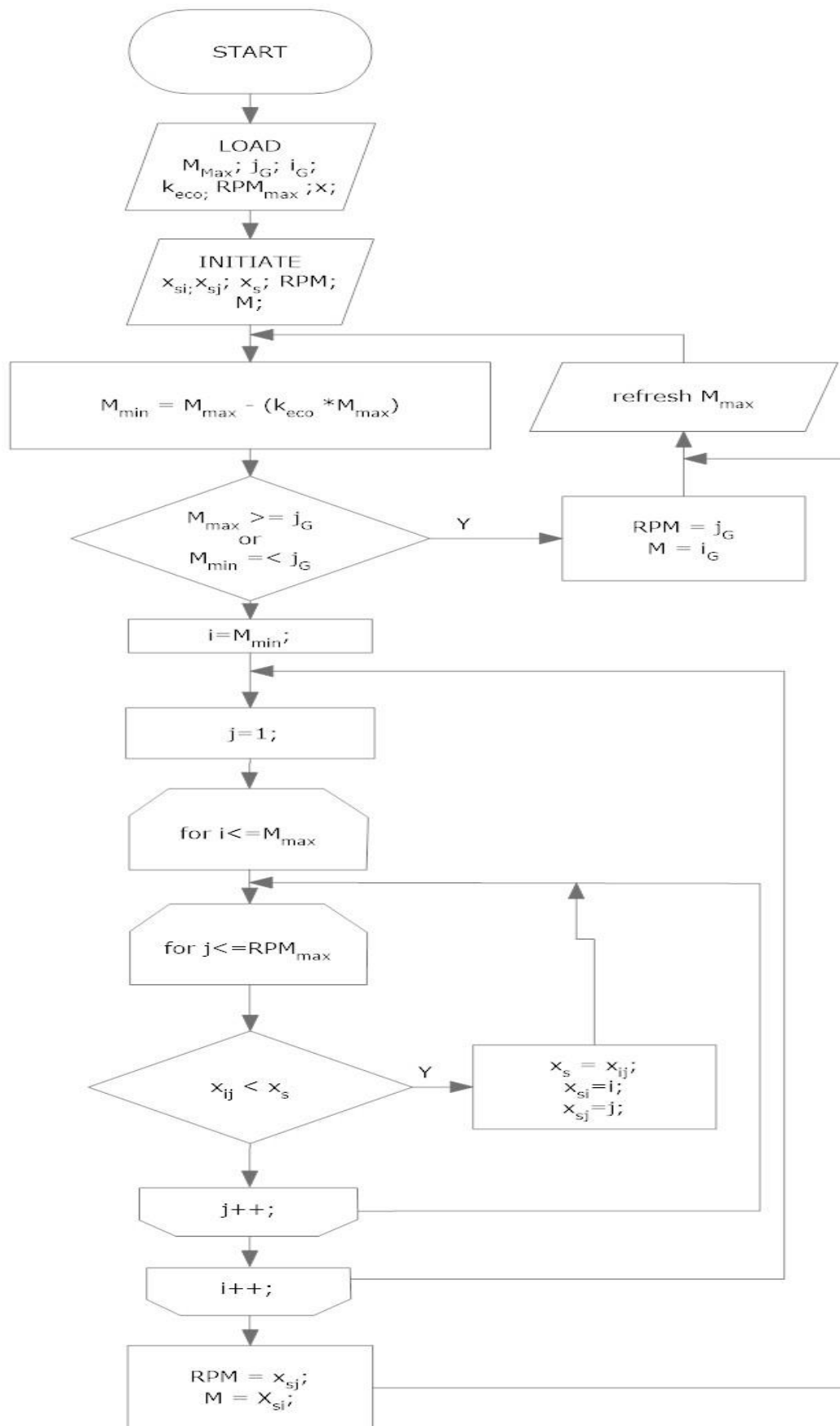


Obrázek 17: Příklad úplné rychlostní charakteristiky motoru [9]

Zároveň uvažujeme jediným vstupem této komponenty požadovaný krouticí moment na klikové hřídeli motoru přicházející z řídicí jednotky motoru. Tento krouticí moment může být analogií stlačení plynového pedálu. První úlohou subsystému je nalezení oblasti s nejnižší měrnou spotřebou paliva v oblasti, která je shora omezena požadovaným krouticím momentem. Požadavek řidiče je v tomto případě brán jako omezení shora

Omezení kroutícího momentu zdola může vycházet z nastavení systému výše označované jako míra upřednostnění šetření paliva. Pro vysokou míru šetrnosti je systému umožněno vybrat skutečně nejnižší dostupnou spotřebu paliva za cenu možné nízké hodnoty kroutícího momentu. Při nižší míře šetrnosti stanoví systém hranici, pod kterou je kroutící moment motoru již nepříjemně nízký. Jádrem aplikace je tedy algoritmus, umožňující nalezení minima v oblasti grafu ohraničenou minimálním a maximálním kroutícím momentem. Návrh algoritmu, který využívá metodu konečných prvků je představen na obrázku 18.

Výstupem navrhovaného algoritmu je kroutící moment a otáčky motoru, při kterých je spotřeba paliva nejnižší možná. Aplikace tak usiluje o to, aby motor dosáhl těchto otáček a podal při těchto otáčkách zvolený kroutící moment.



Obrázek 18: Návrh algoritmu hledání nejúspornější provozní oblasti motoru

Pro realizaci těchto požadavků je pochopitelně nutné zajistit proveditelnost na úrovni techniky motoru a převodovky. Aby mohl být měněn kroutící moment motoru při konstantních otáčkách, je nutné kromě regulace dávky plynu upravovat i zatížení motoru. Jedním z možných řešení je využití hydrodynamického měniče či hydrodynamické spojky. [9] Bylo by tak možné nezávisle měnit otáčky motoru na rychlosti jízdy. Regulace by probíhala změnou tlaku v hydrodynamické spojce a tím by docházelo k regulaci otáček. Zároveň je nutné zajistit možnost plynulé změny převodového poměru, aby bylo možné upravit zátěž motoru.

Druhým možným řešením je implementace variátorového převodu doplněného o elektronicky řízenou spojku. Elektromechanická spojka by v tomto případě zajistila zatížení motoru právě v požadovaných otáčkách. Variátorový převod by umožnil přenášet konstantní kroutící moment na kola bez závislosti na převodovém poměru. I v tomto případě by převodový poměr musel být proměnný, aby mohlo docházet ke snížení zátěže motoru.

Celý koncept je v tuto chvíli návrhem na možné řešení a vyžaduje další vývoj. Ten jistě přesahuje rozsah této práce.

5.4. Požadavky

Celý systém vyžaduje patřičné prerekvizity a klade požadavky na ostatní komponenty, se kterými je propojen, nebo se kterými spolupracuje. V následující podkapitole budou probrány i požadavky, které musí ze své podstaty splnit platforma ADASIS a bude zhodnoceno, zdali požadavky systému tato platforma skutečně splní.

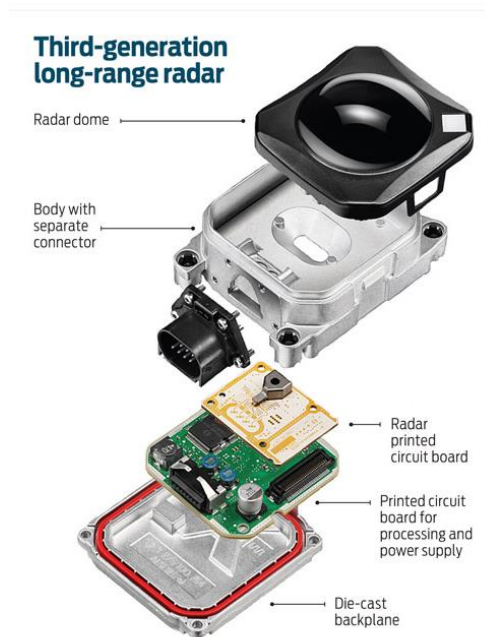
5.4.1 Požadavky na vozidlovou techniku

Pro přehled je nejprve uveden přehled požadavků.

- CAN-BUS sběrnice
- ADASIS systém
- Radar v přední části vozidla
- Elektronické ovládání brzd a plynu
- Automatická převodovka

Sběrnice CAN-BUS je v tomto případě základním předpokladem. Hlavním důvodem jsou parametry systému ADASIS, který tuto sběrnici využívá pro komunikaci. Dalším důvodem je rychlá a účinná možnost předávání většího množství dat mezi jednotlivými systémy a jejich řídicími jednotkami ve vozidle. V tomto případě systém vyžaduje velké množství jízdních dat, která nejjednodušším způsobem získá přes vozidlovou sběrnici. Většinu dat systém může získat od hlavní řídicí jednotky vozidla.

Navrhovaný systém potřebuje znát rychlost vozidla před sebou a odstup od něj. V tomto případě poskytne vhodná data radar umístěný v přední masce řízeného vozidla. Vhodné je použít stejný radar, který se používá v současných vozidlech pro adaptivní tempomaty, tedy např. radar na frekvenci 76-77 GHz. Základní podmínkou je dosah radaru 230 m, pokud má systém pracovat i v rychlostech do 150 km/h. Takovéto produkty jsou na současném trhu dostupné jako Long-range radary, jako na obrázku 19 [46].



Obrázek 19: Příklad long range radaru společnosti Bosch [46]

Dalším zásadním požadavkem na vozidlo je možnost aktivovat plynový pedál a brzdy pomocí elektronického signálu. Stisk plynového pedálu je dnes běžně převáděn na elektrický signál, který je přenášen do řídicí jednotky motoru. Co se týká brzdové soustavy, v tomto případě je nutné, aby vozidlo bylo vybaveno jedním ze systémů, kde brzdová soustava není závislá na mechanickém stisknutí brzdového pedálu a tím otevření příslušného ventilu. Jedním z možných řešení, které v současné době implementuje například společnost BMW, je využití datové sběrnice Flex Ray [11]. Tato datová sběrnice přenáší požadavek na brzdy

pomocí datového signálu do řídicí jednotky brzdové soustavy, která následně aktivuje příslušné akční členy, ať už jde o čerpadlo či vzduchové ventily v případě nákladních automobilů nebo rekuperační brzdění v případě elektromobilů. Výhodou tohoto řešení je robustnost sběrnice Flex Ray včetně redundance přenášených signálů, a tedy vysoké spolehlivosti celého přenosu. Alternativně lze využít i jiné systémy, například elektronicky spínané čerpadlo brzdové soustavy, které se dnes používá například v některých systémech automatického parkování apod.

Kromě výše uvedených nároků na vozidlovou techniku je jedním z předpokladů vybavení vozidla automatickou převodovkou. Automatická převodovka umožňuje zcela vynechat řidiče z řízení jízdní dynamiky vozidla a dosáhnout tak optimální účinnosti při snižování spotřeby paliva a emisí škodlivých plynů.

5.4.2 Požadavky na ADASIS

Vzhledem k tomu, že stanovení maximální doporučené rychlosti je zajišťováno subsystémem Predictive Driver Advisory System (PDAS), vychází nároky na platformu ADASIS z jeho parametrů a požadavků. [12] V tomto případě systém vyžaduje dostupnost následujících dat:

- Platné rychlostní omezení
- Geometrie trasy
- Dopravní značení typu „STOP“ a „Dej přednost v jízdě“
- Úhel odbočení na křižovatce

Jak uvádí autor subsystému, ADASIS protocol umožňuje dodání těchto dat. V našem případě požadavky splňuje verze ADASIS protocol v2. Pro stanovení maximální rychlosti jsou využity rámce typu *SEGMENT* (úsek), *PROFILE LONG* (dlouhý profil), *POSITION* (pozice) a *STUB* (uzel). Díky nim systém získá přesný rychlostní limit daný obecnou legislativou z rámce *SEGMENT*, případně limit daný dopravním značením použitím dat z rámců *PROFILE LONG* a *POSITION*. V situacích inicializace nebo přejezdu státní hranice je nutno využít rámeček *META DATA*, který v sobě nese jednotku rychlostního limitu, ideálně v prvotní fázi inicializace systému. Tímto způsobem je získána adekvátní povolená rychlost. Jak je

patrné z přílohy 1.1, ADASIS protocol zohledňuje i rychlosti závislé na typu vozidla, denní době či povětrnostních podmínkách.

Geometrii trasy a s ní související rychlostní omezení poskytuje v ADASIS protokolu v2 rámec *PROFILE SHORT*. Na jejím základě a parametrech vozidla bude vypočtena doporučená rychlost průjezdu obloukem.

Naopak dopravní značení včetně značení upravující přednost poskytne aplikaci rámec *PROFILE LONG (dlouhý profil)*, úhly odbočení a upravení přednosti v jízdě v křižovatce poskytuje rámec *STUB (uzel)*. V rámci získaných dat je kromě zmíněných předností informace o světelně řízených křižovatkách. V tomto případě algoritmus subsystému integruje všechna dostupná data a optimalizuje doporučenou rychlost pro přiblížení do křižovatky.

Co se týká struktury dat, musí obdržená data odpovídat ADASIS protokolu verze v2. V takovém případě bude zaručeno, že obsah bude kompletní. Struktura obsahu v tomto případě vychází z toho, že aplikace není kritická. Aplikace není v plném rozsahu odpovědná za řízení vozidla, je tedy na řidiči vozidla zajistit kritické situace. Do nich může být v tomto případě zařazeno i odbočení mimo očekávanou trasu. ADASIS tedy využívá pouze rámce přenášející informace o hlavní trase. Ukládání rámců nejbližších alternativních tras v tomto případě není vyloučeno, v případě dostatečné výpočetní kapacity hardwarové části systému je možné ukládat i další rámce. Délka eHorizonu poskytovaná ADASIS v2 v rozsahu 6000 m před vozidlem je v tomto případě dostatečná, žádná z částí aplikace nevyžaduje delší horizont.

Aktuálnost dat a frekvence obnovy dat vychází z délky dostupného horizontu. Poté, co jsou přijaty všechny rámce, obnovu systém vyžaduje v případě změny těchto dat. Co se týká délky horizontu, frekvence obnovy rámců musí být taková, aby při rychlosti jízdy do 200 km/h nedošlo ke ztrátě horizontu ve větší délce než 1 km. To odpovídá periodě obnovení maximálně 17,85 vteřiny. V rámci horizontu tak bude garantováno vždy 5 km k dispozici. Celková rychlost zpracování dat zatím není stanovena.

6. Model pokročilého adaptivního tempomatu

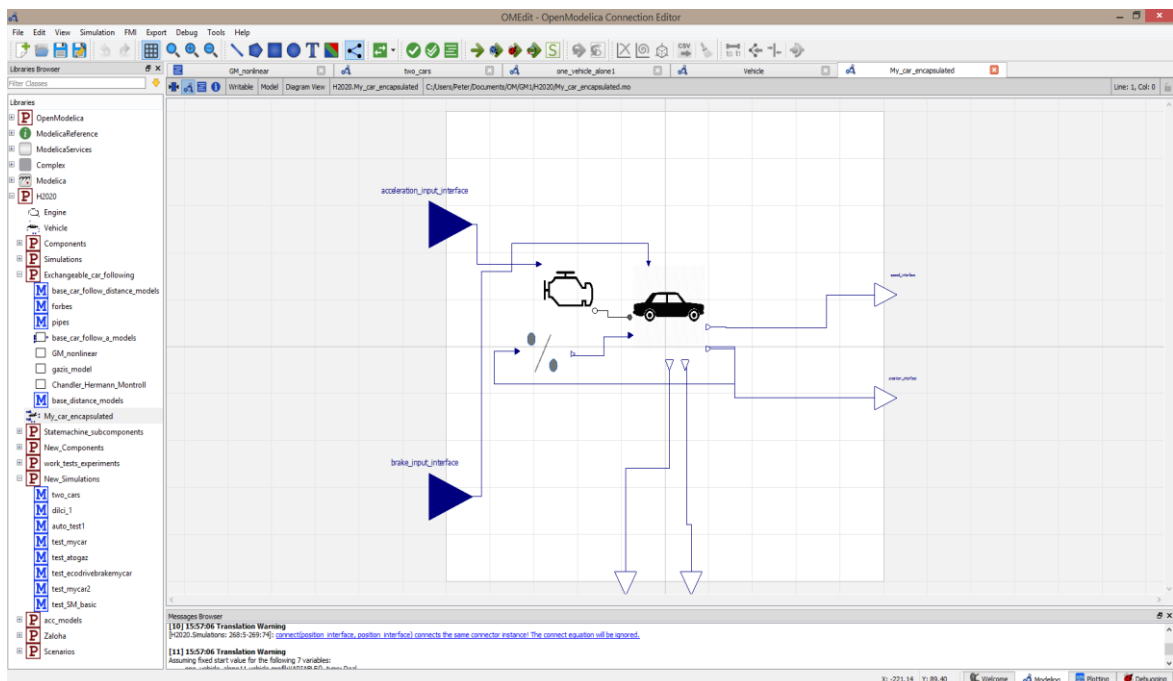
6.1. Návrh modelu

Jádro celého systému je tvořeno modelem, který celou systémovou logiku simuluje. Pro případ této práce byl vytvořen model simulující celý systém tak, jak by mohl fungovat v osobním vozidle.

6.1.1 Programovací prostředí

Pro tvorbu modelu byl vybrán programovací jazyk Open modelica language. Výhodou tohoto jazyka je především využitelnost pro modelování fyzikálních systémů s velkým množstvím proměnných a způsobem definice systému. Nemalou výhodou programovacího prostředí je rozšířená knihovna prvků a komponent, které jsou pro současné stroje a systémy použitelné a odpadá tak nutnost je modelovat znovu. Náhled do použitého softwaru najdeme na obrázku 20.

Simulační prostředí umožňuje provést simulaci v čase, veškeré výstupy ze simulací vytvořeného modelu tak budou výhradně signály a veličiny závislé na čase, jak bude patrné z grafů v kapitole 6.4.



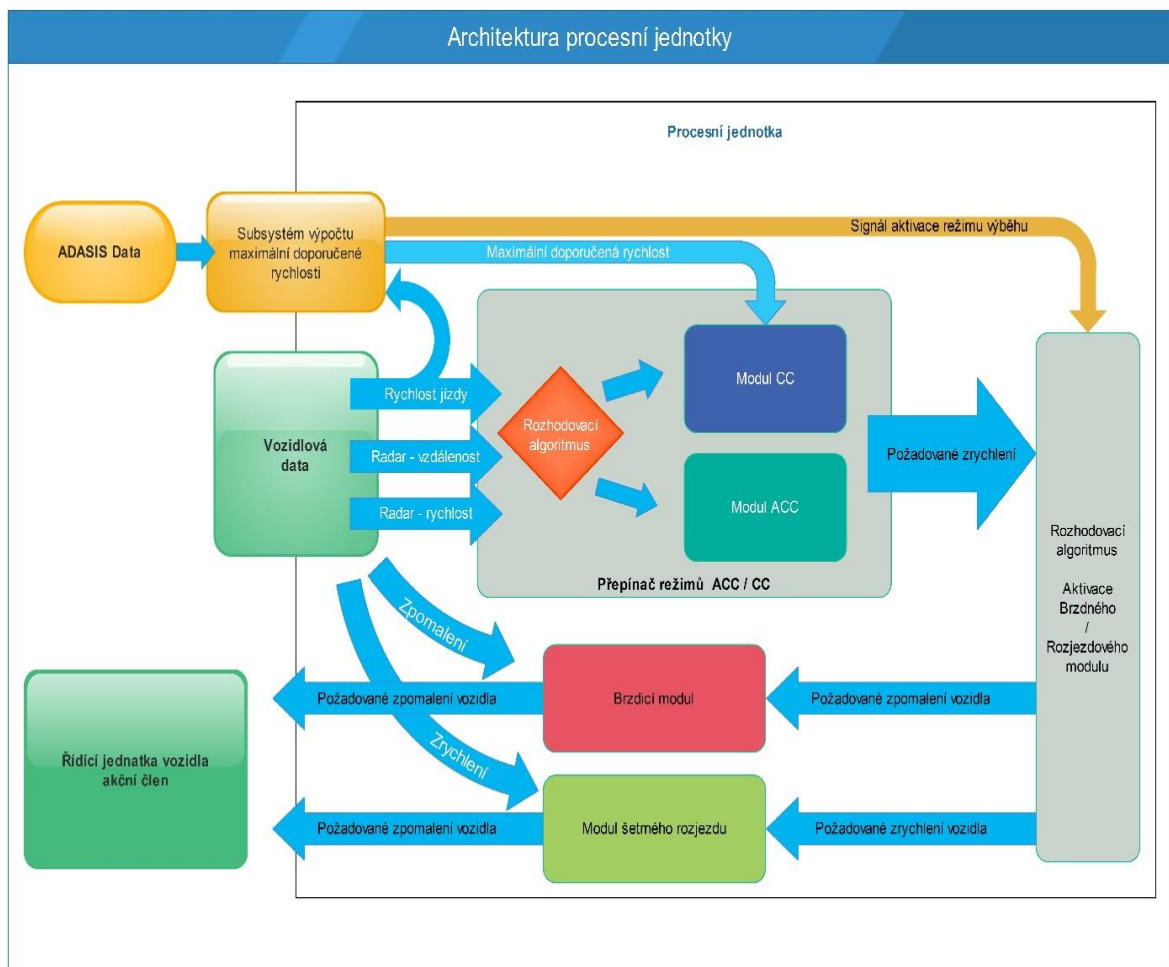
Obrázek 20: Náhled do prostředí softwaru Open modelica connection editor

6.2. Systémová logika

Model systému můžeme považovat za model systémové logiky, tedy v podstatě jde o model řídicí jednotky systému, která je hlavním prvkem celé aplikace. Jediným prvkem, který je v celém simulačním modelu vložen účelově, je model vozidla, který je v reálném vozidle tvořen řídicí jednotkou vozidla.

6.2.1 Architektura

Základní architektura vozidlového systému je tvořena souborem komponent, které dohromady tvoří procesní jednotku a její výpočetní logiku. Soubor komponent a jejich vztahů i tok dat, které jsou patrné z obrázku 21, reprezentují architekturu procesní jednotky. V simulačním modelu, který bude představen v jedné z následujících podkapitol, jsou komponenty *vozidlová data* a akční člen *řídicí jednotka vozidla* nahrazeny samostatným modelem vozidla.



Obrázek 21: Architektura procesní jednotky navrhovaného systému

6.2.2 Model vozidla

Model vozidla je sestaveným sub-modelem, který dokáže simulovat veličiny skutečného vozidla. Vstupem modelu jsou signály brzdového a plynového pedálu a dále konstantní parametry. Na výstupu pak požadujeme zrychlení vozidla a další jízdní data, jejichž přehled je zanesen v tabulce 7.

Pro výpočet výstupních parametrů byla použita obecná pohybová rovnice vozidla. [9] Její vyjádření vychází z úvahy, že na vozidlo působí vzdušný odpor, odpor valivý, odpor zrychlení a odpor stoupání, obecně také odpor z brzdění. Pro překonání každého odporu uvažujeme potřebnou sílu. Síly působící na vozidlo jsou uvedeny v rovnici 6.1.

$$F_h = F_b + F_f + F_V + F_S + F_Z \quad (6.1)$$

V tomto případě zanedbáváme odpor, a tedy sílu nutnou ke zrychlení rotujících částí vozidla, jež je součástí síly pro překonání odporu zrychlení. Vzhledem k tomu, že dnešní vozidla dosahují velmi vysokých účinností, byly v modelu zanedbány i koeficienty účinnosti. Z rovnovážné rovnice sil tedy vyplývá pohybová rovnice:

$$\left(M * \frac{k_c}{r_k}\right) = F_b + v f m g + C_x \frac{1}{2} \rho S_x v^2 + m g * \sin(\alpha) + m * a \quad (6.2)$$

kde M je moment přiváděný z motoru a je určen signálem plynu a α je úhel, který svírá podélně skloněná vozovka s vodorovnou plochou. Ostatní značení vychází také z tabulky 7.

Tabulka 7: Přehled všech parametrů modelu vozidla

Vstupní parametr	Jednotka	Značení
Brzdový signál	1	-
Plynový signál	1	-
Interní parametr	Jednotka	Značení
Hmotnost	kg	m
Poloměr kola	m	r_k
Koeficient valivého odporu	1	F
Součinitel odporu vzduchu	1	C_x
Projekční plocha vozidla	m^2	S_x
Celkový převod	1	k_c
Konstanty	Jednotka	Značení
Hustota vzduchu	kg/m^3	ρ
Gravitační zrychlení	N/kg	g
Konstanta výpočtu koeficientu smykového tření	-	k_t
Výstupní parametr	Jednotka	Značení
Rychlost	m/s	v
Ujetá vzdálenost	m	x
Zrychlení	m/s^2	a
Zrychlení při výběhu	m/s^2	a_0

Z uvedené rovnice získáme výpočtem všechny potřebné výstupní parametry s tím, že platí následující vztahy:

$$a = d(v) \quad (6.3)$$

$$v = d(x) \quad (6.4)$$

$$x = \varphi_M * \frac{r_k}{k_c} \quad (6.5)$$

Kde φ_M jsou otáčky motoru, poskytující moment M . Modelovací prostředí řeší soustavu rovnic a na výstupu umožní předat výstupní parametry.

V tabulce je uvedena konstanta výpočtu koeficientu tření. Důvodem je, že koeficient tření mezi vozovkou a pneumatikou je silně závislý na povětrnostních podmínkách. Jinak řečeno, jeho hodnota bude velmi odlišná, bude-li na vozovce například voda, sníh či led. Zároveň ale závisí hodnota tohoto koeficientu i na rychlosti jízdy vozidla. Pro potřeby modelu bylo stanoveno, že simulace budou prováděny na suché vozovce. Z tohoto důvodu mohl být výpočet koeficientu aproximován lineární křivkou s předpisem: $\mu = v * k_t + 0.957$, kde

k je koeficient v tabulce, konstanta 0.957 vychází z hodnoty koeficientu při nulové rychlosti. [13]

V modelu vozidla byla uvedena brzdná síla F_b . Brzdná síla je poměrem signálu brzd a maximální brzdě síly vozidla. Uvážíme-li signál brzd b a schopnost vozidla brzdit ideálně, poté platí rovnice 6.6 a 6.7.

$$F_b = b * F_{b_{max}} \quad (6.6)$$

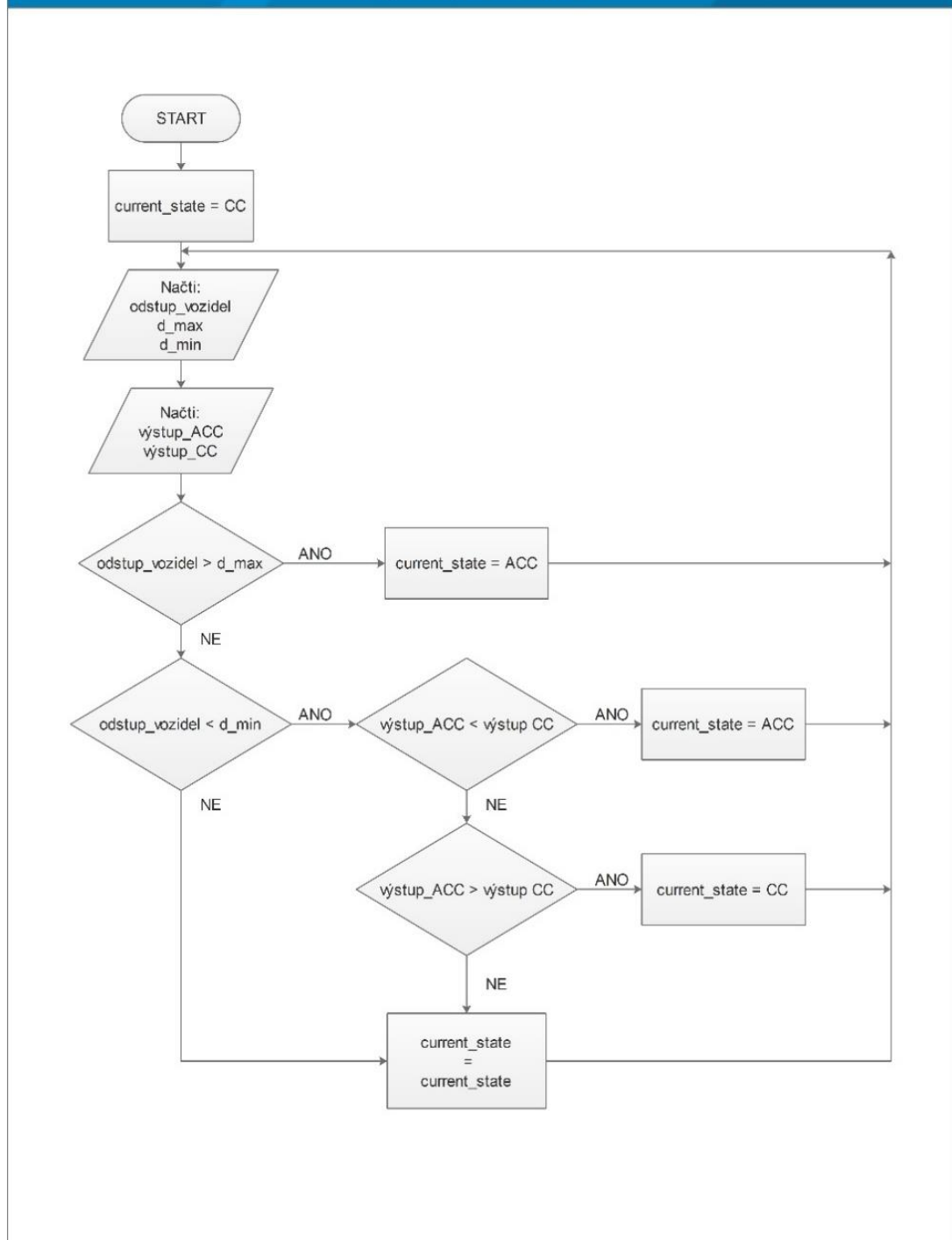
$$F_{b_{max}} = m * g * \mu \quad (6.7)$$

V modelu není uvažována prodleva brzd ani doba náběhu brzdového účinku. V modelu je také ošetřeno zastavení ve svahu, kde na vozidlo působí patřičná složka gravitační síly. Model vozidla je ošetřen takovým způsobem, aby v případě zastavení byla aplikována taková brzdná síla, která odpovídá příslušné složce gravitační síly. Při zastavení v kopci dojde k zabrzdění odpovídajícímu zatažení ruční brzdy.

6.2.3 Model přepínače jízdních režimů

Přepínač jízdních režimů je jádrem rozhodovací logiky aplikace. Součástí této komponenty je modul ACC a modul CC. Oba moduly zpracovávají vstupní data souběžně. Přepínač režimů aktivuje podle rozhodovacího algoritmu výstup jedné z komponent a uvádí ho na výstup. Volba aktivace příslušného výstupu je prováděna na základě následujícího algoritmu:

Přepínač jízdních režimů



Obrázek 22 Návrh algoritmu pro přepínač jízdních režimů:

V modelu figurují ještě důležité veličiny d_{\min} a d_{\max} . Proměnná d_{\min} byla představena v kapitole 4.2.3. V této simulaci byla z důvodu snížení výpočetní náročnosti veličina d_{\min} aproximována lineární křivkou $d = 5,72 * v - 8,64$. Obecně je vhodné použít kvadratickou křivku, pokud je to možné. Pro omezení možného rozkmitání systému bylo v modelu využito pásma hystereze. Pásmo hystereze od sebe odlišuje hodnoty, při kterých

dochází k přepínání systému z jednoho režimu do druhého a nemůže tak dojít ke zpětnému přepnutí pro mírně kmitavý signál. Hodnota d_{\max} je vypočtena jako součin d_{\min} a koeficientu hystereze, který určuje poměr mezi minimální vzdáleností přepnutí do režimu ACC a odstupem hodnoty vzdálenosti pro přepnutí zpět do režimu CC.

6.2.4 Modul udržování odstupů – ACC

Modul udržování odstupů je podobnou komponentou, jakou obsahují dnešní adaptivní tempomaty. Rozdíl je především v implementovaných modelech udržování vzdálenosti. V navrhovaném systému jsou implementovány obecně známe car-following modely, představené v kapitole 4.2. Konkrétně jde o modely Pipes model, Forbes model, General Motors nonlinear model, Gazis model a Chandler-Hermann-Montroll model. Jako výstup modelu komponenty ACC je zamýšlené zrychlení vozidla. Jak bylo v kapitole 4.2 znázorněno, část těchto modelů má již na výstupu potřebné zrychlení vozidla. U dvou těchto modelů, se kterými simulační model počítá, je na výstupu odlišná veličina. Pro Forbes model je to doporučená vzdálenost mezi vozidly, pro Pipes model je to časový odstup vozidel. V obou případech je tato veličina převedena na zrychlení tak, aby vznikla možná interoperabilita modelů a jednotné testovací prostředí. Konverze je zajištěna PID regulátorem.

Zvolený model udržuje na výstupu požadované zrychlení, které ve svém algoritmu porovnává a případně využívá nadřazený model přepínání jízdnicích režimů. S tím pracuje následně modul aktivace brzdění či zrychlení. Vstupy tohoto modulu jsou odstup vozidel, rychlost řízeného vozidla a rychlost prvního vozidla. Ne každý car-following model ale využívá všechny vstupy. Některé modely kromě vstupů vyžadují ještě definici určitých konstant. Pro Forbes model je to univerzální délka vozidla, která byla v modelu stanovena na 6.096 m, respektive převzata z Pipes modelu, kde je rovna 20 stopám. Druhou konstantou je reakční doba řidiče, která je obecně uvažována jako jedna vteřina. [9] Některé modely zrychlení obsahují jako parametr citlivost. Konkrétní nastavení modelu pochopitelně podléhají složitému optimalizačnímu ladění.

6.2.5 Model udržování rychlosti – CC

Komponenta zajišťující udržování rychlosti je jednoduchým regulátorem. Na vstup této komponenty je přivedena aktuální rychlost nastaveného vozidla a na druhý vstup pak maximální doporučená rychlost poskytovaná subsystémem, využívající ADASIS data.

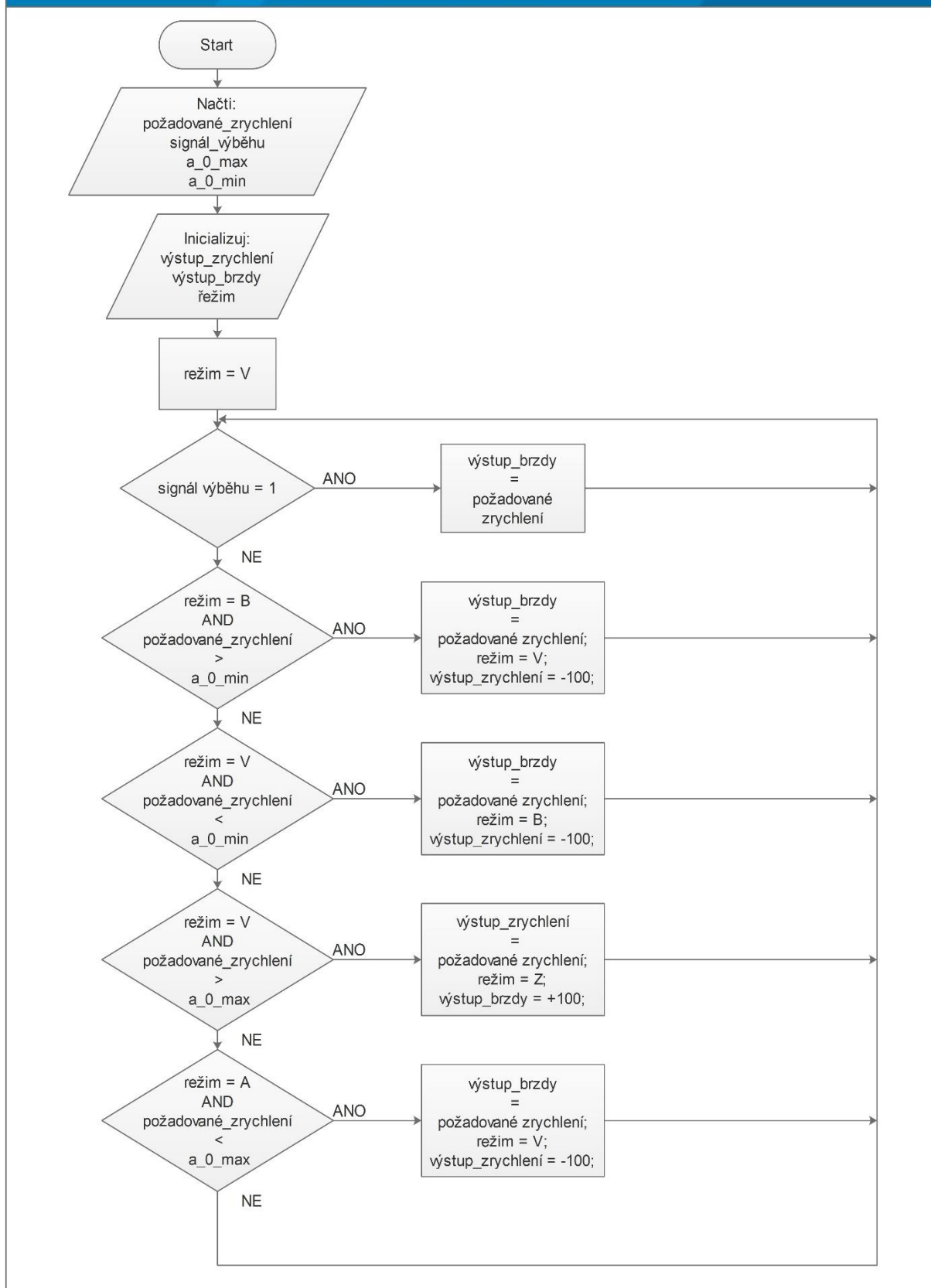
Jádrem komponenty je pak PID regulátor, který optimalizuje výstupní signál. Ten odpovídá rozsahu dostupných zrychlení a zpomalení vozidla.

6.2.6 Model komponenty aktivující zrychlení/brzdění

Další komponentou je model rozhodovacího algoritmu, který aktivuje brzdny modul či modul zrychlení. Tato komponenta má dvě základní funkce a odpovídá tomu i její konstrukce. V první řadě komponenta plní funkci představenou v kapitole 5.3.6 jako modul výběhu. Tato komponenta získává signál od subsystému výpočtu maximální doporučené rychlosti, který zároveň vyhodnocuje i moment zahájení výběhu. Má-li být výběh aktivní, získá tato komponenta signál a v takovém případě deaktivuje modul zrychlení, jinak řečeno modul rozjezdu.

Druhou funkcí komponenty je aktivovat brzdny modul či modul zrychlení (rozjezdu). Komponenta čítá dva výstupy, jeden je napojen na vstup modulu brzd, druhý na vstup modulu zrychlení. Aktivace jednoho či druhého modulu probíhá přivedením požadované hodnoty zrychlení (zpomalení) na patřičný výstup. Přesnější definici logiky podá obrázek 23.

Přepínač aktivace modulu brzd / modulu zrychlení



Obrázek 23: Schéma algoritmu rozhodovací logiky přepínače modulu brzd a zrychlení

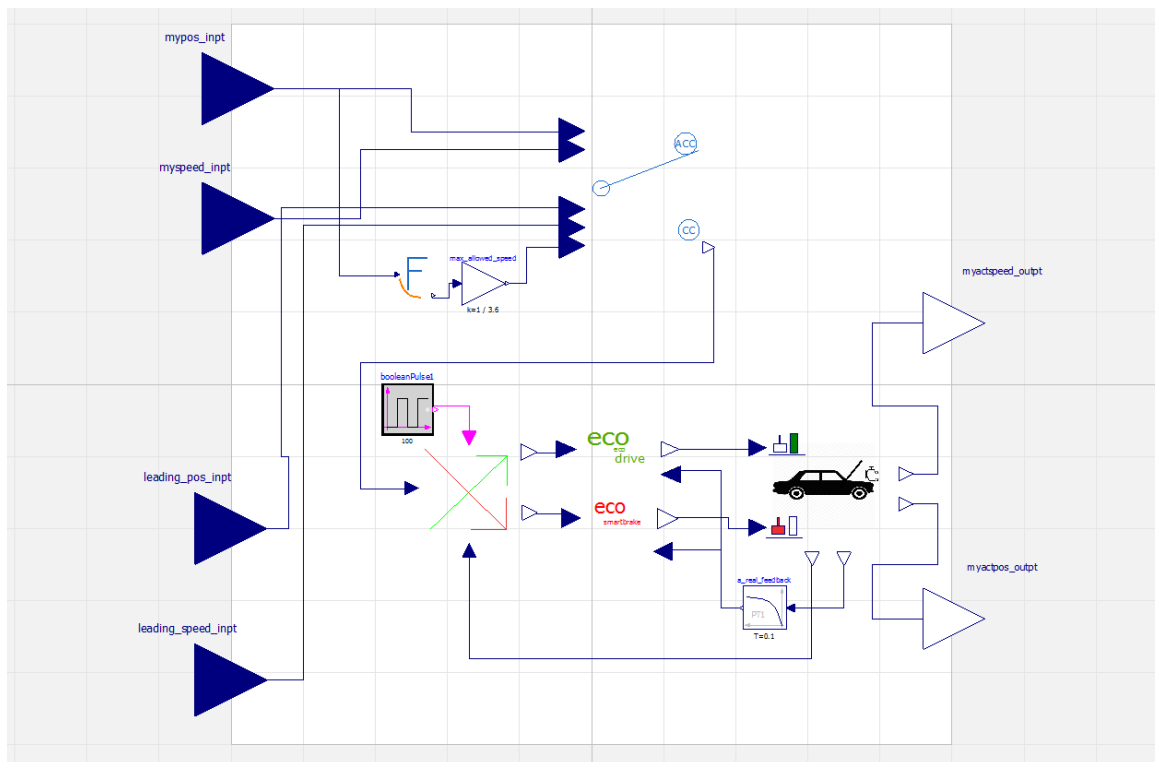
6.2.7 Model komponenty zrychlení

Komponenta v textu označovaná jako modul zrychlení či modul rozjezdu má za úkol zajistit zrychlení vozidla. Tento modul je vyčleněn zvlášť zejména z toho důvodu, aby bylo možno ho samostatně vyměnit za vylepšený modul, který dokáže rozjezd vozidla optimalizovat s ohledem na spotřebu paliva, tak jak bylo představeno v kapitole 5.3.7. V současném modelu systému ale tato funkce není implementována, modul je sestaven tak, aby byl plně vyměnitelný.

Současný modul zrychlení tak funguje na bázi PID regulátoru. Na vstup komponenty je přivedeno požadované zrychlení vozidla jako řídicí signál, dále pak skutečné zrychlení vozidla z řídicí jednotky vozidla jako měřený signál. Výstupem komponenty je pak signál předávaný zpět řídicí jednotce vozidla jako signál plynového pedálu v rozsahu 0-1. V případě, že je na vstup přivedena záporná hodnota zrychlení, regulátor je omezen tak, aby na výstupu podal nulovou hodnotu.

6.2.8 Model komponenty brzdění

Komponenta zajišťující brzdění má analogickou strukturu a princip fungování jako modul rozjezdu. Od modulu aktivujícího brzdění nebo rozjezd přijme na svůj vstup požadované zpomalení vozidla, respektive zápornou hodnotu zrychlení. PID regulátor, pro nějž je tato hodnota řídicím signálem, vyhodnotí měřící signál skutečného zrychlení poskytnutý od řídicí jednotky vozidla. Na výstup je pak přiveden signál odpovídající stlačení brzdového pedálu v rozsahu 0-1.



Obrázek 24: Schéma celého systému namodelovaného v softwaru Open modelica connection editor

6.3. Simulační model jízdy

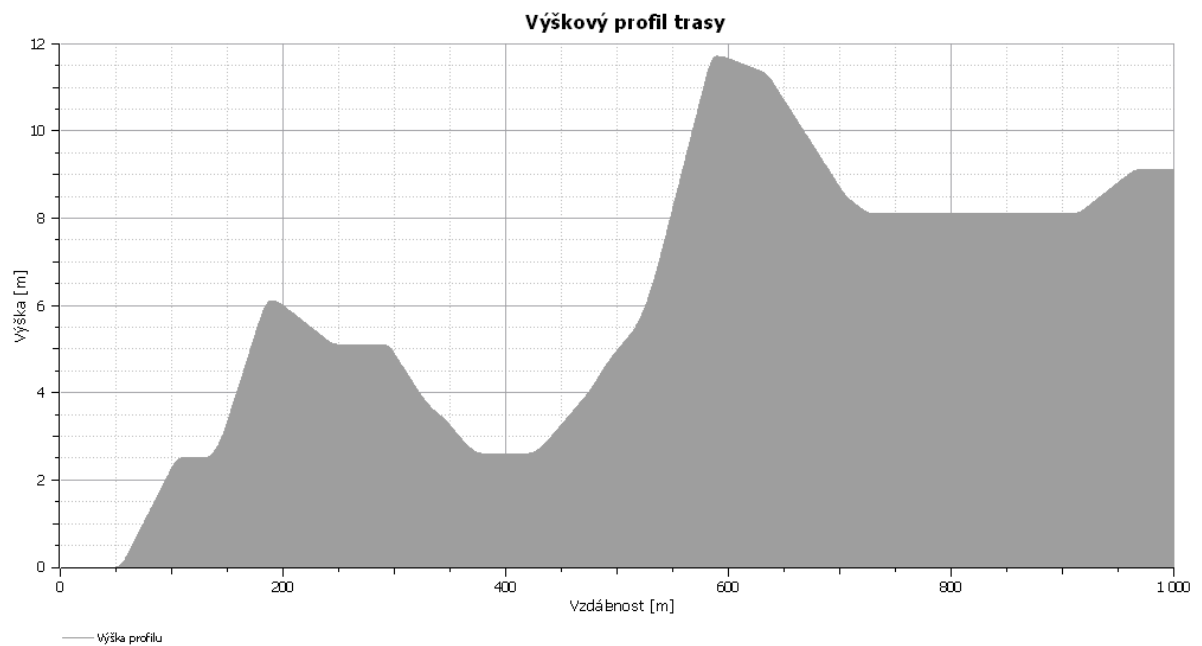
Představené komponenty dohromady tvoří po propojení vstupů a výstupů funkční celek odpovídající procesní jednotce systému pokročilého adaptivního tempomatu. Cílem je vytvořený systém i řádně otestovat. Pro účely testování v simulačním programu byl vytvořen samostatný model, v němž byl systém implementován do vybraného vozidla a do modelu bylo přidáno další vozidlo. Toto vozidlo hrálo roli prvního vozidla a neslo stejné parametry jako vozidlo řízené novým systémem. V rámci testu byly nasimulovány čtyři reálné situace, představené v samostatných scénářích níže.

6.3.1 Stanovené podmínky

Testovací prostředí částečně vychází z předem nastavených parametrů v modelech. Obecně testování probíhalo na suché asfaltové vozovce, která vykazovala následující parametry. Koeficient valivého odporu odpovídal $f = 0.02$, použitá konstanta výpočtu koeficientu smykového tření byla $k_t = -0.005$ a rovnice pro výpočet skutečného koeficient adheze byla tedy: $\mu = v * (-0.005) + 0.957$.

Testování probíhalo v bezvětrí s běžnou hustotou vzduchu v hodnotě $\rho = 1.25 \text{ kg/m}^3$. a součinitelem odporu vzduchu v hodnotě $C_x = 0.4$.

V testovacím úseku pozemní komunikace byl ve všech scénářích totožný výškový profil trasy, který je patrný z obrázku 25.



Obrázek 25: Schéma výškového profilu implementované trasy

Na uvažovaném úseku pozemní komunikace nebereme v úvahu v testování možnost předjíždění vozidel ani možnost změny pruhu v případě vícepruhých komunikací. Ostatní podmínky platné při testování uvažujeme jako běžné, tedy bez negativních vlivů na radar či jiné části navrhovaného systému.

6.3.2 Základní parametry vozidla

Pro potřeby provedení simulace bylo zvoleno vozidlo, které svými parametry může zastoupit jak vozidla osobní, terénní, tak dodávková. V tomto případě se jednalo o vozidlo Land Rover Discovery 3, u něž uvažujeme následující parametry:

Tabulka 8: Parametry použitého modelového vozidla

Interní parametr	Jednotka	Hodnota
Hmotnost	kg	2495
Poloměr kola	m	0.4
Koeficient valivého odporu	1	0.02
Součinitel odporu vzduchu	1	0.4
Projekční plocha vozidla	m ²	4
Celkový převod	1	8.5
Maximální kroutící moment	Nm	440
Konstanty	Jednotka	Značení
Hustota vzduchu	kg/m ³	1.25
Gravitační zrychlení	N/kg	9.8
Konstanta výpočtu koeficientu smykového tření	-	-0.005

Představené parametry byly použity v modelu vozidla, uvedeném v kapitole 6.2.2.

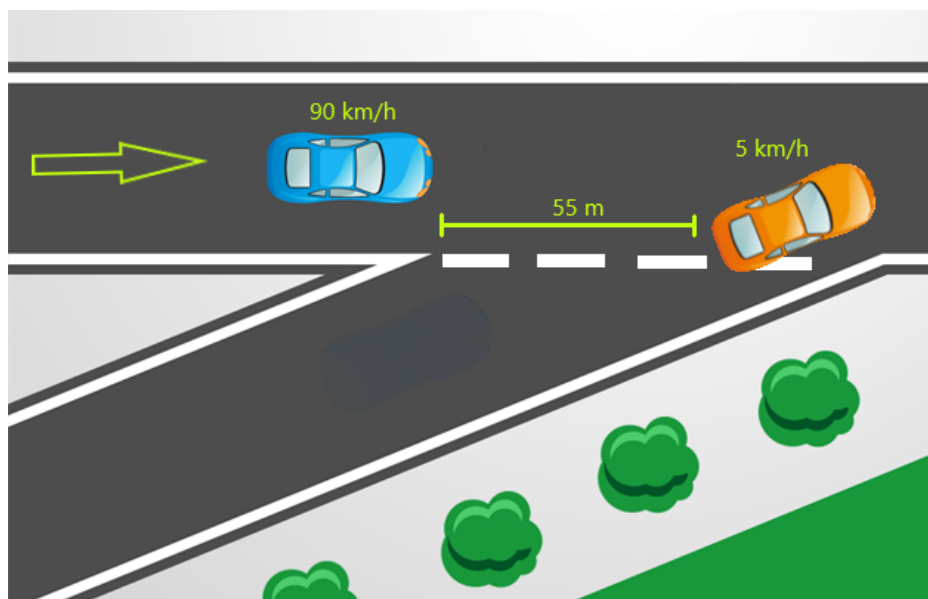
6.3.3 Simulační scénáře

Scénář č.1

Cílem prvního scénáře je otestovat chování systému ACC. Na scénáři má být dobře patrné, zdali řízené vozidlo dokáže včas přizpůsobit svou rychlost rychlosti vozidla jedoucího před ním. Tento scénář se nachází na úseku místní komunikace. Na počátku simulace se řízené vozidlo nachází 22 metrů za prvním vozidlem. Vozidla se rozjíždějí na rychlost 50 km/h. První vozidlo následně zrychlí na rychlost 90 km/h, obdobně jako by vyjelo z obce. Po dvaceti vteřinách prudce brzdí zpět na rychlost 50 km/h.

Scénář č. 2

Druhý scénář představuje situaci, kdy řízené vozidlo přijíždí do křižovatky po hlavní pozemní komunikaci v extravilánu, a do jízdní dráhy mu vjede jiné vozidlo, rychlostí v rozmezí 0-5 km/h a rozjíždí se poté velmi pomalu. Uvažujeme jízdní rychlost v extravilánu 90 km/h. Schéma situace je patrné z obrázku 26.



Obrázek 26: Schéma úvodní situace ve scénáři č. 2

Ve chvíli, kdy první vozidlo vjede do dráhy řízenému vozidlu je vzdálenost mezi vozidly 55 m. V případě, že by řízené vozidlo bylo vedeno pozorným řidičem, by toto vozidlo mělo být schopno bezpečně zpomalit či zastavit.

Scénář č. 3

V tomto scénáři je uvažována obvyklá situace na dálnici, kdy osamocené vozidlo jedoucí maximální povolenou rychlostí 130 km/h dojíždí pomalu jedoucí kolonu. Řízené vozidlo před kolonou musí dobrzdit. Kolona se po určitém čase rozjíždí a vozidla tak mohou dosáhnout maximální povolené rychlosti, která je v místě rozjezdu kolony 110 km/h. Konec kolony z pohledu řízeného vozidla v tomto scénáři simuluje první vozidlo.

V tomto scénáři se rychlost jízdy prvního vozidla po rozjezdu kolony ustálí na rychlosti 130 km/h, tedy na vyšší rychlosti, než je maximální povolená rychlost, jak je vykresleno na grafech uvedených níže. V tomto případě řízené vozidlo získává maximální rychlost 110 km/h jako maximální doporučenou rychlost skrze ADASIS protocol.

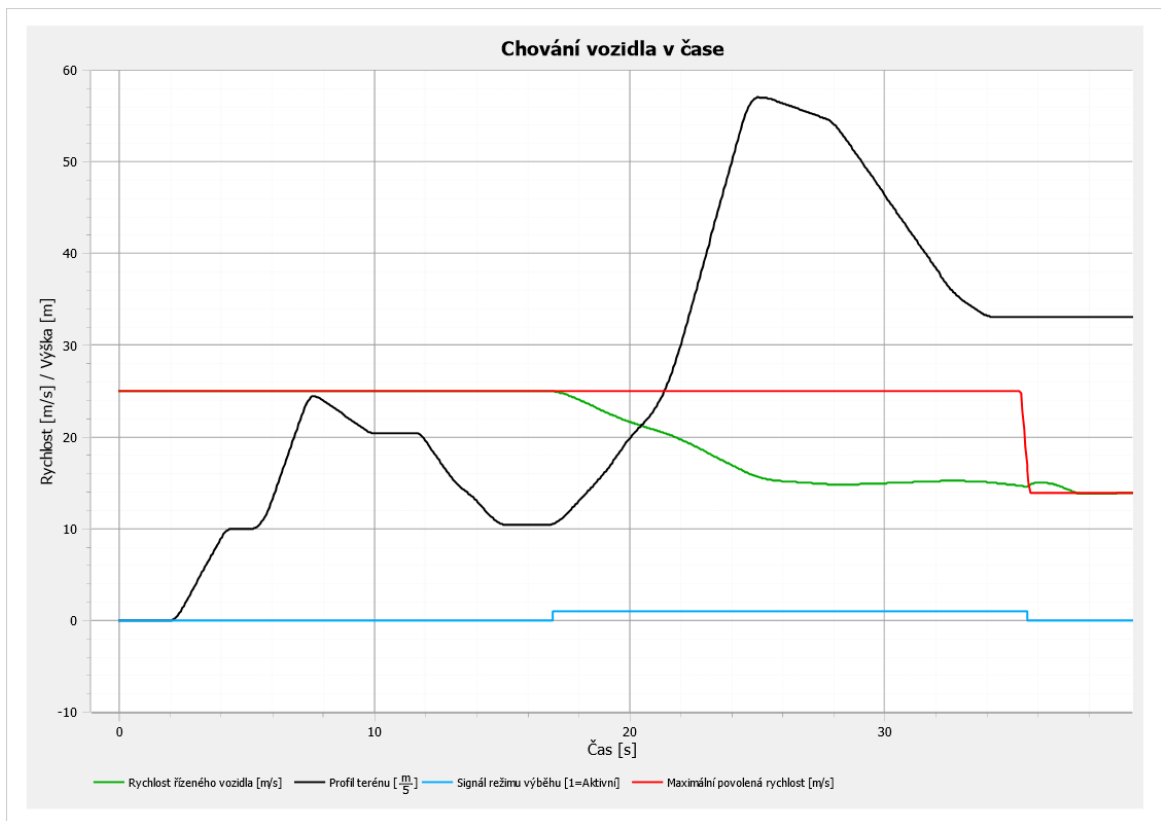
Scénář č. 4

Poslední scénář simuluje situaci, kdy řízené vozidlo jede ze svahu rychlostí 90 km/h v aktivním režimu CC. Vozidlo poté s využitím ADASIS dat zahájí režim výběhu tak, aby jeho rychlost klesala, neboť se blíží omezení rychlosti, a aby došlo k šetření paliva. Před řízeným vozidlem se nachází první vozidlo ve vzdálenosti 145 m. Řidič prvního

vozidla před ním ale o omezení rychlosti s předstihem neví, při spatření dopravního značení náhle zpomalí, a to na ještě nižší rychlost, než je maximální povolená rychlost. Řízené vozidlo je tedy nuceno brzdit. Systém řízení vozidla musí v tomto případě přepnout režim jízdy do režimu ACC. Po skončení omezení rychlosti by se obě vozidla měla rozjet na maximální povolenou rychlost.

Za pozornost ve scénáři stojí i správná reakce systému na rozjezd prvního vozidla, které se rozjede na vyšší rychlost ještě před koncem rychlostního omezení.

V obrázku 27 nalezneme nástin scénáře v situaci, kdy řízené vozidlo není ovlivněno. Z grafu je dobře znatelné, že by vozidlo mělo s ohledem na profil terénu začít včas snižovat rychlost a do místa začátku omezení dorazit s vhodnou rychlostí jízdy.













Obrázek 27: Schéma jízdy vozidel bez ovlivnění ostatními vozidly ve scénáři č. 4. Graf byl vytvořen z GM nonlinear modelu.

6.4. Výstupy simulací

Průběh simulací nezahrnuje pouze testování samotné, ale zároveň ladění všech interních parametrů. Optimalizace se týká především parametrů použitých PID regulátorů, a dále také interních nastavitelných parametrů některých car-following modelů. V následující kapitole budou představeny výsledky vyhodnocené jako nejvhodnější. Výsledky jsou seříděny tak,

jak simulace proběhly, tedy podle jednotlivých scénářů. Ostatní výstupy získané během ladění pro různé hodnoty citlivosti modelů nebo hodnoty parametrů PID regulátorů jsou uvedeny v přílohách této práce. V přílohách jsou také uvedeny grafy dráhy jízdy pro každý model.

Simulace samotné byly provedeny s rozlišením 1000 bodů na minutu času simulace, vždy počínaje v čase $t = 0$. V grafech zařazených níže byla použita následující barevná legenda.

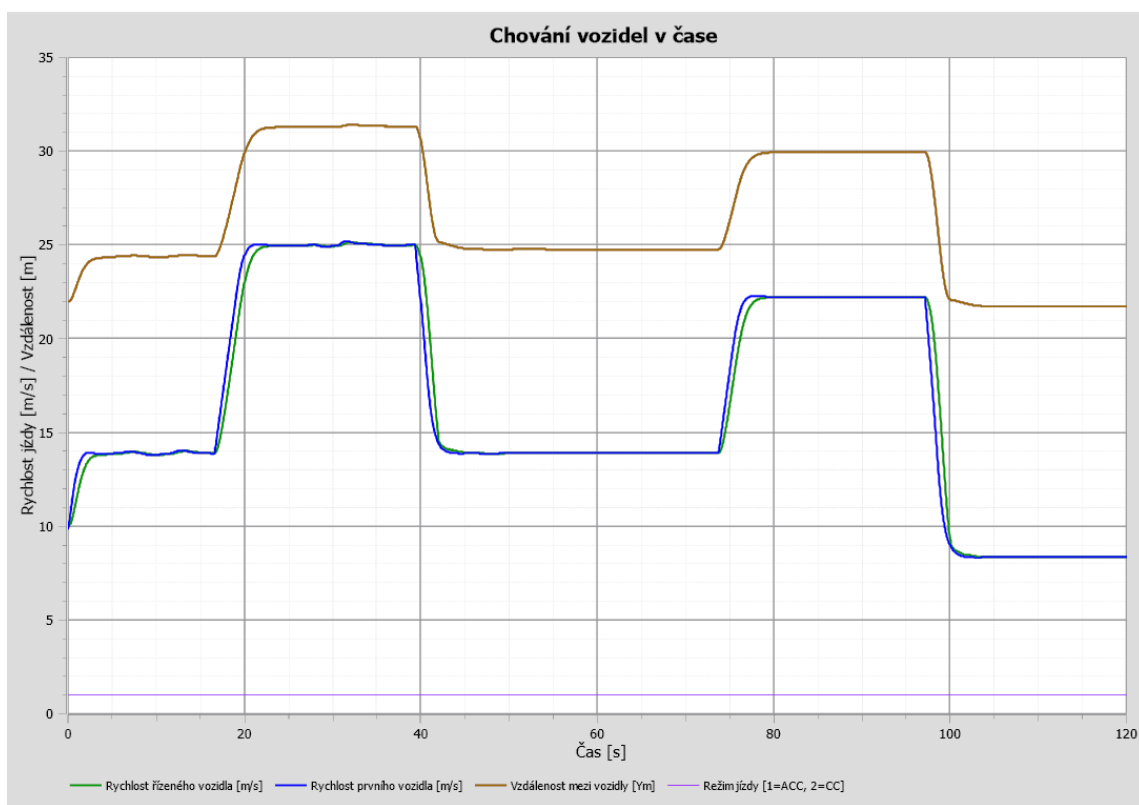
Rychlost řízeného vozidla [m/s]	
Rychlost prvního vozidla [m/s]	
Vzdálenost mezi vozidly [m]	
Režim jízdy [1=ACC, 2=CC]	
Dráha řízeného vozidla [m] (pro graf Dráha jízdy)	
Dráha prvního vozidla [m]	
Maximální povolená rychlost [m/s]	
Signál aktivního režimu výběhu [1=Aktivní]	
Minimální vzdálenost aktivace ACC [m]	
Profil terénu [m/5]	

Obrázek 28: Legenda použitých barev pro všechny níže uvedené grafy

6.4.1 Scénář č.1

V rámci simulace ověřující funkčnost ACC modulu byly optimalizovány parametry PID regulátorů obsažených v modulu brzdění a modulu rozjezdu. Po optimalizaci parametrů byly získány výsledky pro každý model. Všechny výsledky jsou uvedeny v přílohách č.2.1 až 2.6. Nejspokojivější výsledky přinesla simulace Chandler-Hermann-Montroll modelu.

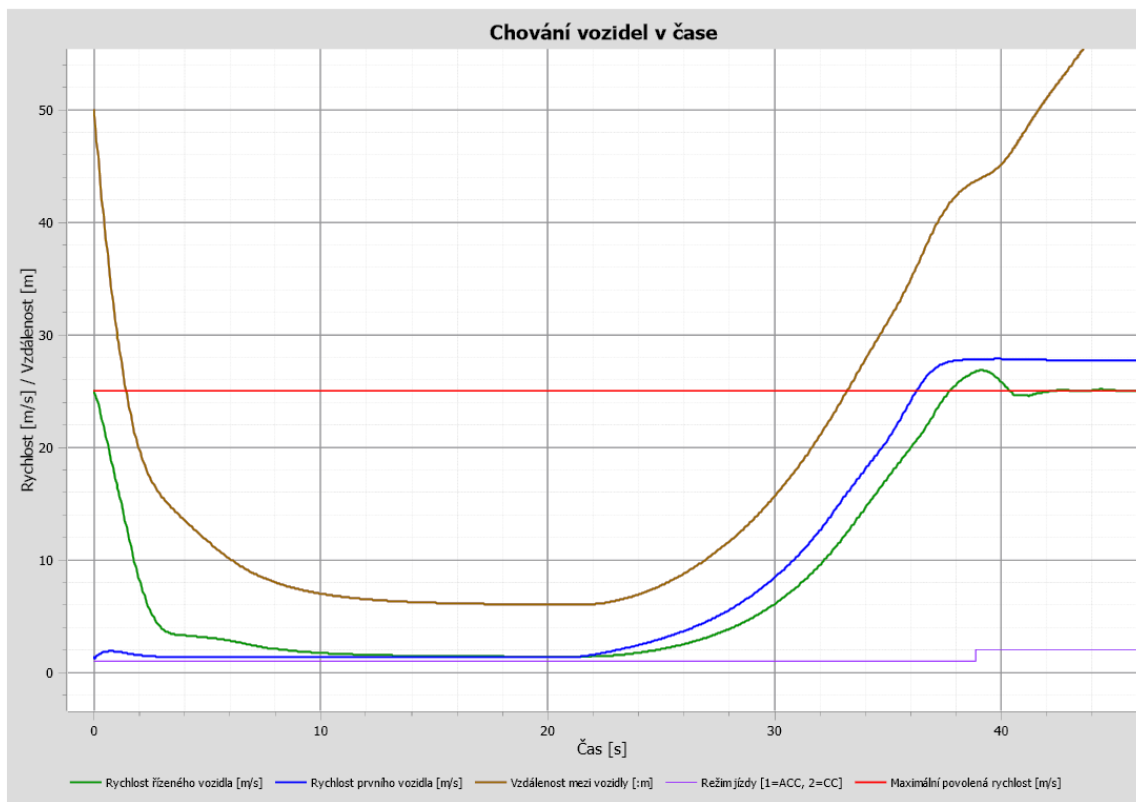
Nejvhodnější výstupy podalo testování režimu ACC pro citlivost modelu $\lambda = 4000$. Vyšší úroveň citlivosti způsobovaly nestabilitu rozestupu vozidel, nižší hodnoty citlivosti pak příliš pozvolnou reakci na změnu rychlosti prvního vozidla. Chování vozidla při této citlivosti znázorňuje graf na obrázku 29.



Obrázek 29: Výstupy simulace scénáře č.1 pro Chandler-Hermann-Montroll model

6.4.2 Scénář č.2

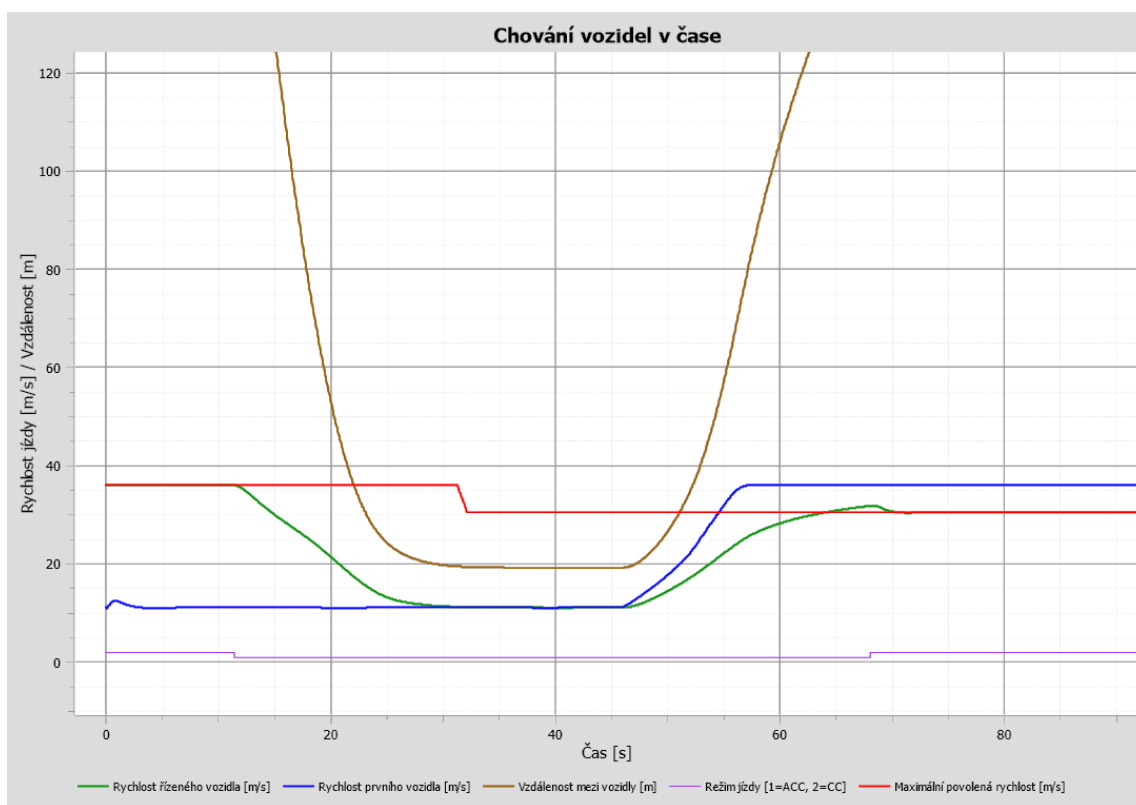
Při testování modelu v situaci brzdění v křižovatce přinesl optimální výsledky GM nonlinear model. Výstup prezentovaný grafem na obrázku 30 znázorňuje chování vozidel pro nastavení citlivosti $\alpha=1.5$, kdy byla navíc snížena časová konstanta PID regulátoru brzdného modulu oproti obecnému nastavení. Optimální chování je vykresleno v grafu na obrázku 30. Ostatní výsledky jsou uvedeny v příloze 3.1 až 3.7.



Obrázek 30: Výstupy simulace scénáře č.2 pro GM nonlinear model

6.4.3 Scénář č.3

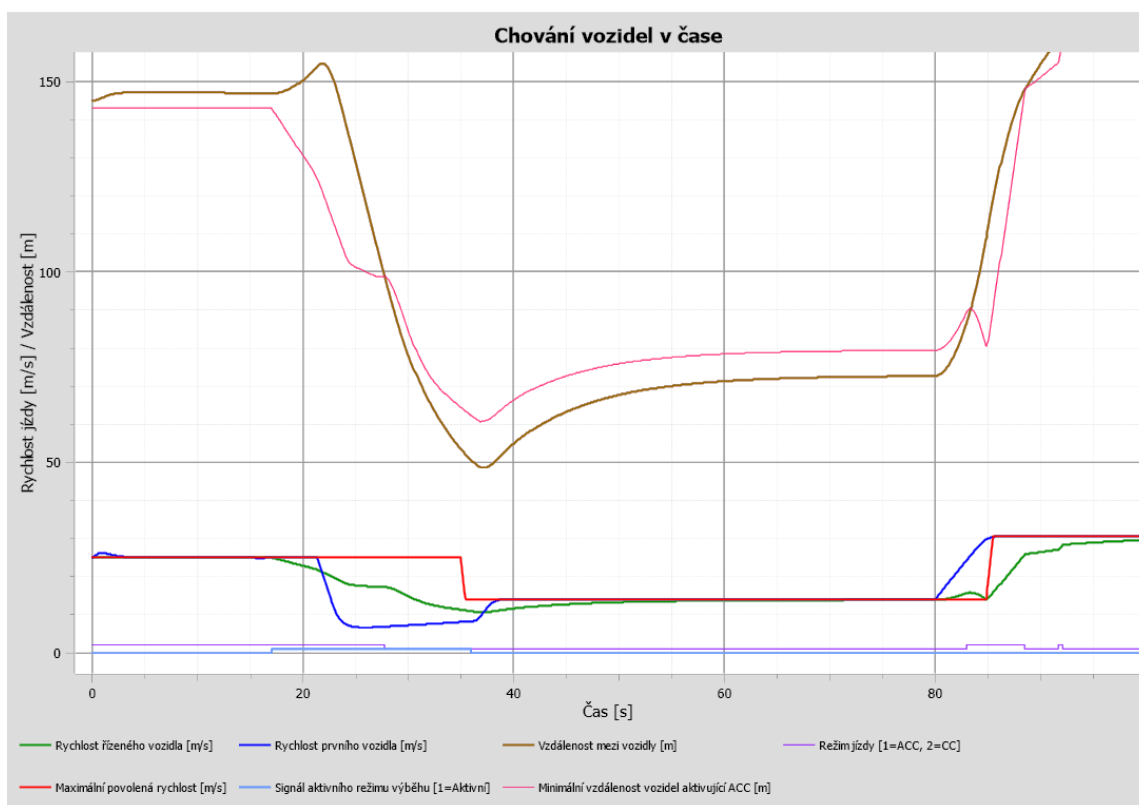
Simulace scénáře č. 3 ukázala, že vhodné chování systému podává Gazis model. Nejvhodnější chování simulace podala pro citlivost modelu $\lambda = 10$. Jeho výsledek je uveden na obrázku 31. V tomto scénáři přinesly velmi uspokojivé chování všechny simulované modely kromě modelu Forbes, jak je možné pozorovat v přílohách 4.1 až 4.8.



Obrázek 31: Výstupy simulace scénáře č.3 pro Gazis model.

6.4.4 Scénář č.4

Jak bylo uvedeno v popisu scénáře, vozidlo je v tomto scénáři po zahájení režimu výběhu zpomaleno brzdícím vozidlem před ním. V grafu na obrázku 32 je znázorněna situace pro GM nonlinear model, který přinesl nejkvalitnější výstupy, a to s nastavenou citlivostí $\alpha=0.9$. Pro přehlednost je v grafu modře zanesen signál režimu výběhu a dále navíc také minimální vzdálenost, při které je režim jízdy přepínán z režimu CC do režimu ACC. V grafu je dobře znatelné, že systém se přepne do režimu adaptivního tempomatu skutečně až ve chvíli, kdy se přiblíží brzdícímu vozidlu před ním. Toto chování splňuje cíle systému. Nižší hodnota citlivosti přináší vhodnější chování vozidla, neboť při zvýšené citlivosti dochází k přebrzdování vozidla a rázovému snižování rychlosti. Popsaný jev i další výsledky je možné nalézt v přílohách 5.1 až 5.8.



Obrázek 32: Výstupy simulace scénáře č.4 pro GM nonlinear model

6.5. Možnosti nadstavby a rozšíření

Inovativní poznatky získané při návrhu systému nového adaptivního tempomatu využívajícího data z ADASIS platformy vedou k dalším úvahám nad zdokonalením tohoto systému. V průběhu simulací se jako problematická projevila ta část, kde probíhá řízení systému v nízkých rychlostech jízdy. Obdobně jako je tomu například u nejnovějších adaptivních tempomatů společnosti Audi, je velmi přínosnou schopností systému, zajištění bezpečného úplného zastavení vozidla i jeho opětovný rozjezd. V tomto ohledu se ukázaly využití modely jako poměrně obtížně nastavitelné. Nejvhodnějším řešením by bylo vybavit navrhovaný systém samostatným algoritmem, který dokáže řídit jízdu vozidla v malých rychlostech a udržovat velmi malé rozestupy od okolních vozidel. V tomto případě by vozidlo mělo být dovybaveno senzory krátkého dosahu, které přesněji určí vzdálenost k blízkým překážkám. Vzhledem k tomu, že v navrhovaném systému je použit radar s dlouhým dosahem (Long range radar), dostatečným řešením je dovybavení vozidla ultrazvukovými senzory. Tyto senzory by umožnily spolehlivě upřesnit vzdálenost k vozidlům v situacích, kdy jsou vzdálené do několika desítek centimetrů. Ve spojení se zmíněným algoritmem by vozidlo mohlo bezpečně zastavit například v koloně.

Algoritmus by měl na starost řízení jízdy vozidla např. při rychlostech pod 10 km/h až do úplného zastavení. Oblast použití systému by se tak podstatně zvětšila.

Další problematickou částí celého systému je optimální nastavení všech parametrů systému a jeho komponent. Vhodné by bylo provést rozsáhlejší testování systému, které by umožnilo optimální nastavení zejména parametrů všech PID regulátorů a citlivosti jednotlivých car-following modelů. Vhodné by bylo i využití speciálních optimalizačních algoritmů, které by pomohly určit nejvhodnější nastavení všech parametrů systému tak, aby při dosažení optima systém pracoval s rovnoměrnou spolehlivostí ve všech provozních situacích, ve kterých se řidič s vozidlem v běžném provozu může ocitnout. Vhodným řešením je v tomto ohledu také odpuštění od univerzálnosti systému při použití s různými car-following modely. Pro optimální funkčnost by měl být vybrán pouze jeden nejvhodnější model a ten vhodně nastaven a otestován.

S výše uvedeným opatřením souvisí i případný způsob implementace distančních modelů. Jak se ukázalo, při implementaci takových modelů je vhodné architekturu systému sestavit tak, aby řídicí veličinou byla přímo vzdálenost mezi vozidly, která je přímým výstupem těchto modelů.

Vhodným zdokonalením systému je zařazení komponent, které by filtrovaly rázy v signálech brzd a plynu. Tímto způsobem by bylo docíleno plynulejšího chodu vozidla, zvýšení komfortu a zvýšení úspory paliva.

V neposlední řadě je na místě zabývat se i ovládacími prvky navrhovaného tempomatu, které v této práci nebyly řešeny. Pro správnou účinnost celého systému je nutné navrhnout kvalitní rozhraní pro řidiče, skrze které s ním bude systém interagovat, dále mu umožní systém ovládat a které bude mu poskytovat ideálně vizuálním způsobem související informace. Možným řešením je zařadit do vozidla standardní ovládací prvky, jako u současných tempomatů, jako například ovládací prvky pod volantem. Informace ohledně aktuálního chování systému, aktuálního režimu jízdy, důvodu zpomalení či varování plynoucích z ADASIS dat by bylo vhodné předávat řidiči skrze head-up displej, či grafický panel v přístrojové desce vozidla.

7. Závěr

Aktuální trendy v oblasti vývoje dopravní telematiky a vozidlových systémů určuje jednak poptávka na trhu telematických systémů a také Evropská unie pomocí vypsání výzkumných a operačních programů. Poptávka na trhu vozidlových telematických aplikací jednoznačně směřuje ke zvýšení bezpečnosti provozu silničních vozidel, komfortu a celkové autonomii řízení. Důkazem jsou bezpochyby nové systémy velkých automobilek, do nichž patří i nejnovější pokročilé adaptivní tempomaty. Evropská unie v rámci svých operačních programů motivuje k vývoji systémů se zaměřením nejen na bezpečnost, ale výrazným způsobem i na ekologii a celkovou efektivitu silniční dopravy. Operační program Horizon 2020 je jeden ze způsobů, kterým Evropská unie podporuje vývoj nejen vozidlových aplikací, zaměřený na snížení spotřeby fosilních paliv a emisí škodlivých plynů. Častým řešením, které vývojáři a výrobci automobilových systémů využívají, je implementace vozidlových senzorů. Tyto technologie mohou být často drahým řešením, navíc takový systém má omezený dosah v okolí vozidla.

Cílem této práce bylo navrhnout nový systém, který splňuje veškeré současné požadavky na inteligentní vozidlovou aplikaci. Důležitým cílem je plnění všech aspektů, kterými jsou bezpečnost, komfort, autonomie i ekologie silniční dopravy. Součástí vývoje takového systému je bezpochyby patřičná analýza současných vývojových projektů. V této práci byl detailně představen projekt sdružení Ertico, ADASIS protokol. ADASIS protokol se jeví jako perspektivní standart definující nový ADAS Horizont. Tento elektronický horizont je propracovaný model okolí vozidla s dosahem až šesti kilometrů před vozidlem. V této práci byl výstižně popsán ADASIS protokol verze v2 včetně způsobu jeho přenosu po vozidlové sběrnici k uživatelským aplikacím.

V této práci byl představen nový systém pokročilého adaptivního tempomatu, který využívá nového ADAS horizontu definovaného protokolem ADASIS protocol. Vhodným spojením vozidlových senzorů a elektronického horizontu je dosaženo získání dostatečného množství dat o blízkém i širokém okolí vozidla. Představený systém nabízí nové funkce adaptivního tempomatu. V první řadě systém s využitím car-following modelů udržuje bezpečný odstup od vozidla jedoucím před ním. Systém přizpůsobuje odstup jak rychlosti jízdy, tak rychlosti vozidla jedoucím před ním. Systém disponuje zároveň režimem udržování doporučené rychlosti. Doporučená rychlost je poskytována externím subsystémem s využitím dat získaných od ADAS horizontu, splňujícím ADASIS specifikace. Vozidlová aplikace

automaticky přepíná jízdní režimy mezi módem udržováním rychlosti a módem adaptivního tempomatu. Navíc je systém rozšířen o režim výběhu, kdy s ohledem na podélný profil trasy před vozidlem vozidlo automaticky ubere plyn před plánovaným snížením rychlosti. Tímto způsobem dochází ke zvýšení efektivity jízdy a snížení spotřeby paliva.

Celkově tak nově navržený systém splňuje požadavky stanovené evropskou společností, poptávkou na trhu vozidlových telematických aplikací i současném směru vývoje těchto technologií. V kapitolách této práce byl nejen představen koncept tohoto systému a detailně popsány všechny jeho funkce. V kapitolách výše byl vytvořen i model procesní logiky, která je jádrem tohoto systému. Celý systém byl namodelován v programovacím prostředí Open Modelica language. V rámci modelu byly navrženy jednotlivé komponenty včetně potřebných parametrů a konstant, které jsou pro funkci celého modelu nezbytné. Ústřední komponentou aplikace je přepínač jízdních režimů adaptivního tempomatu a systému udržování rychlosti. V subsystému adaptivního tempomatu bylo představeno pět různých car-following modelů, které mohou být v systému použity. Nedílnou součástí celého modelu je i samostatný model vozidla. Vozidlo bylo namodelováno tak, aby mohla být spuštěna simulace chodu celého systému v reálném provozu.

V rámci vývoje systému byl celý model nově navržené aplikace otestován simulacemi tak, jak to software Open Modelica umožňuje. Pro účely testování aplikace byly vytvořeny čtyři reálné scénáře, které vycházejí z obvyklých krizových situací při provozu silničních vozidel na pozemních komunikacích. Cílem těchto scénářů je ověřit funkčnost a spolehlivost navrhovaného systému.

V práci byly představeny výstupy simulací pro každý z pěti car-following modelů, a to v každém ze čtyř sestavených scénářů. V rámci testování byly optimalizovány a naladěny jednotlivé parametry komponent i modelů. Při testování se ukázalo, že kvalitní výstupy poskytují modely zrychlení vozidla.

V rámci testování pomocí simulace byly identifikovány možné způsoby vylepšení celé aplikace včetně možných doplňků a rozšíření. Celý model systému musí podstoupit další procesy testování a optimalizační úlohy. Další vývoj takovéto aplikace bez pochyb zahrnuje rozsáhlé optimalizace jednotlivých parametrů všech komponent, aby bylo dosaženo maximální spolehlivosti systému, vysoké úrovně bezpečnosti a komfortu. Součástí dalšího vývoje aplikace musí být i návrh propracovaného rozhraní mezi aplikací a řidičem tak, aby

řidič mohl systém jednoduše a bezpečně ovládat. Zároveň by mělo toto rozhraní umožňovat podat řidiči informace o stavu celé aplikace, sdílet s ním využívaná ADASIS data a upozorňovat řidiče na hranice tohoto systému.

Model aplikace byl vytvořen zvlášť pro každý car-following model a každý scénář a všechny jeho součásti jsou přiloženy na samostatném CD u této práce.

Věřím, že získané poznatky při psaní této práce budu moci v rámci dalšího rozvoje jakýchkoliv systému plně využít.

8. Seznam použité literatury

- [1] „ADASIS“, *ADASIS*. [Online]. Dostupné z: <http://adasis.org/>. [Viděno: 12-kvě-2017].
- [2] A. Bracht et al., „ADASIS v2 Protocol - Version 2.0.3.0“. Ertico, 16-pro-2013.
- [3] „ERTICO - ITS Europe“, *ERTICO*. [Online]. Dostupné z: <http://ertico.com/>. [Viděno: 12-kvě-2017].
- [4] G. Genta, *Motor vehicle dynamics: modeling and simulation*, Reprinted. Singapore: World Scientific, 2006.
- [5] R. Rajamani, *Vehicle dynamics and control*, 2. ed. New York, NY: Springer, 2012.
- [6] ADASIS Forum, „ADASIS Forum Terms of reference“. ADASIS Forum, 22-říj-2012.
- [7] „million self-driving vehicles to hit the road by 2035, IHS says“, *SiliconANGLE*, 08-čer-2016.
- [8] „The 6th OADF brings autonomous driving players together“, *Connected Automated Driving Europe*.
- [9] F. Vlk, *Dynamika motorových vozidel*. Brno: František Vlk, 2003.
- [10] K. Mucevski, „Automotive CAN Bus System Explained“, *Linked-In*, 12-srp-2015.
- [11] J. Štěrba, „Sítě Flex Ray“, Semestrální Práce, ČVUT, Praha, 2015.
- [12] M. Cvetković, „Real time Driver Advisory System for Fule Economy based on the ADASIS data“, Diplomová Práce, ČVUT, Praha, 2017.
- [13] L. Vopava, „Adheze pneumatik a její měření“, Bakalářská práce, ČVUT, Praha, 2013.
- [15] „Audi - Innovation“. [Online]. Dostupné z: <http://www.audi.com/en/innovation.html>. [Viděno: 19-lis-2017].
- [16] „Dymola Dynamic Modeling Laboratory - User Manual, Volume 1“. Dassault Systèmes, čvc-2016.
- [17] M. Tiller, „Modelica by Example“, *Modelica by Example*. [Online]. Dostupné z: <http://beta.book.xogeny.com/>. [Viděno: 29-lis-2017].
- [18] „Modelica standart library documentation“. [Online]. Dostupné z: https://www.maplesoft.com/documentation_center/online_manuals/modelica/Modelica_Blocks.html#Modelica.Blocks. [Viděno: 29-lis-2017].

- [19] P. A. Fritzon, *Principles of object-oriented modeling and simulation with Modelica 2.1*. Piscataway, N.J. : [New York]: IEEE Press ; Wiley-Interscience, 2004.
- [22] T. centrum AV ČR, „Small business innovation research for Transport and Smart Cities Mobility < Otevřené výzvy", *HORIZONT 2020*. [Online]. Dostupné z: <https://www.h2020.cz/cs/spolecenske-vyzvy/inteligentni-doprava/vyzvy/it-1-2015-1?priority=26>. [Viděno: 28-zář-2017].
- [23] T. centrum AV ČR, „Otevřené výzvy", *HORIZONT 2020*. [Online]. Dostupné z: <https://www.h2020.cz/cs/spolecenske-vyzvy/inteligentni-doprava/vyzvy>. [Viděno: 28-zář-2017].
- [24] „AEOLIX – Architecture for EurOpean Logistics Information eXchange", *ERTICO*. [Online]. Dostupné z: <http://ertico.com/projects/aeolix-architecture-european-logistics-information-exchange/>. [Viděno: 28-zář-2017].
- [25] „The ITS Observatory", *ITS observatory*. [Online]. Dostupné z: <http://its-observatory.eu/>. [Viděno: 28-zář-2017].
- [26] „ADASIS-InteractIVe-eCoMove Workshop". [Online]. Dostupné z: <http://www.ecomove-project.eu/publications/presentations/adasis-interactive-ecomove-workshop/>. [Viděno: 28-zář-2017].
- [27] T. centrum AV ČR, „27 HORIZONT 2020 | Rámcový program pro výzkum a inovace EU", *HORIZONT 2020*. [Online]. Dostupné z: <https://www.h2020.cz/cs>. [Viděno: 01-říj-2017].
- [28] „What is Horizon 2020? - Horizon 2020 - European Commission", *Horizon 2020*. [Online]. Dostupné z: </programmes/horizon2020/en/what-horizon-2020>. [Viděno: 01-říj-2017].
- [29] T. centrum AV ČR, „Horizont 2020 - Inteligentní ekologická a integrovaná doprava", *HORIZONT 2020*. [Online]. Dostupné z: <https://www.h2020.cz/cs/spolecenske-vyzvy/inteligentni-doprava/informace>. [Viděno: 01-říj-2017].
- [30] European Commission, „Horizon 2020 Work Programme 2016-2017; 11. Smart, green and integrated transport". European Commission, 24-dub-2017.
- [31] M. Flament, „Automated driving data chain challenges", prezentováno v Automated Vehicle Symposium, čvc-2017.

- [32] C. Ressa, D. Balzer, A. Bracht, S. Durekovic, a J. Löwenau, „ADASIS protocol for advanced in-vehicle applications", prezentováno v 15th World Congress of ITS, New York, 2008, roč. 15.
- [33] L. Blain, „Self-driving vehicles: What are the six levels of autonomy?", *New Atlas*, roč. 2017, srp. 2017.
- [34] K. Wevers, „Transport Network ITS Spatial Data Deployment Platform Purpose, status and prospects", prezentováno v Expert meeting on priority action (b) of the ITS Directive, Brussels, 2014.
- [35] „Ricardo applies new technology to help improve real-world fuel economy of heavy duty trucks", 30-bře-2017. [Online]. Dostupné z: <https://ricardo.com/News-and-media/Press-releases/Ricardo-applies-new-technology-to-help-improve-rea>. [Viděno: 04-lis-2017].
- [36] A. F. Ertico, „The ADAS Horizon Concept". Ertico.
- [37] H. Subramanian, „Estimation of Car-Following Models", Massachusetts Institute of technology, Massachusetts, 1996.
- [38] T. V. Mathew, „Car following models". IIT Bombay, 08-bře-2017.
- [39] J. Bengtsson, *Adaptive cruise control and driver modeling*. Departement of Automatic Control, LIT, Sweden: Johan Bengtsson, 2001.
- [40] R. Rothery, „Car Following Models". University of Texas.
- [41] „Ralph Teetor and the History of Cruise Control".
- [42] „Old car brochures", *Directory Index: Chrysler_and_Imperial/1958_Chrysler/1958_Chrysler_Auto-Pilot_Brochure*. [Online]. Dostupné z: http://www.oldcarbrochures.com/static/NA/Chrysler_and_Imperial/1958_Chrysler/1958_Chrysler_Auto-Pilot_Brochure/dirindex.html. [Viděno: 26-čvc-2017].
- [43] J. Vavřík, „Adaptive cruise control - doprovodný učební text". 2010.
- [44] A. G. Ulsoy, H. Peng, a M. Çakmakci, *Automotive Control Systems*. Cambridge University Press, 2012.
- [45] „Long-range radar sensor". [Online]. Dostupné z: <http://www.bosch-mobility-solutions.de/en/products-and-services/passenger-cars-and-light-commercial-vehicles/driver-assistance-systems/left-turn-assist/long-range-radar-sensor/>. [Viděno: 23-lis-2017].
- [46] R. Stevenson, „Long-Distance Car Radar", *IEEE Spectrum: Technology, Engineering, and Science News*, zář. 2011.

9. Seznam obrázků

Obrázek 1: Získané informace skrze ADASIS rozhraní [36]	12
Obrázek 2: Architektura ADASIS Fora	15
Obrázek 3: Náhled systému ASR od automobilky BMW [32]	20
Obrázek 4: Schéma architektury ADASIS platformy [2] (upraveno)	22
Obrázek 5: Úseky zohledněné ADASIS Horizonem [2]	23
Obrázek 6: Přehled možných tras vozidla, které zohledňuje ADASIS Horizon [2]	24
Obrázek 7: Schéma výpočtu staničení [2]	24
Obrázek 8: Využití bitového pole určeného pro přenos staničení [2]	25
Obrázek 9: Souslednost informací obsažených v ADASIS Horizonu [2]	27
Obrázek 10: Bitové schéma ADASIS rámce typu pozice [2]	30
Obrázek 11: Nový koncept architektury datového řetězce pro autonomní řízení dle OADF [31]	32
Obrázek 12: Vybavení vozidla senzory pro pokrytí celého okolí vozidla [43]	35
Obrázek 13: Rozdělení základních car-following modelů	36
Obrázek 14: Schéma komunikace navrhovaného systému	45
Obrázek 15: Graf brzdné dráhy vozidla na suché a mokré vozovce	46
Obrázek 16: Dráha zastavení vozidla na suché a mokré vozovce	47
Obrázek 17: Příklad úplné rychlostní charakteristiky motoru [9]	49
Obrázek 18: Návrh algoritmu hledání nejúspornější provozní oblasti motoru	51
Obrázek 19: Příklad long range radaru společnosti Bosch [46]	53
Obrázek 20: Náhled do prostředí softwaru Open modelica connection editor	56
Obrázek 21: Architektura procesní jednotky navrhovaného systému	57
Obrázek 22 Návrh algoritmu pro přepínač jízdních režimů:	61
Obrázek 23: Schéma algoritmu rozhodovací logiky přepínače modulu brzd a zrychlení ...	64
Obrázek 24: Schéma celého systému namodelovaného v softwaru Open modelica connection editor	66
Obrázek 25: Schéma výškového profilu implementované trasy	67
Obrázek 26: Schéma úvodní situace ve scénáři č. 2	69
Obrázek 27: Schéma jízdy vozidel bez ovlivnění ostatními vozidly ve scénáři č. 4. Graf byl vytvořen z GM nonlinear modelu	70
Obrázek 28: Legenda použitých barev pro všechny níže uvedené grafy	71
Obrázek 29: Výstupy simulace scénáře č.1 pro Chandler-Hermann-Montroll model	72

Obrázek 30: Výstupy simulace scénáře č.2 pro GM nonlinear model	73
Obrázek 31: Výstupy simulace scénáře č.3 pro Gazis model	74
Obrázek 32: Výstupy simulace scénáře č.4 pro GM nonlinear model	75

10. Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled členů z oblasti automobilek - Zdroj: Vlastní zpracování dle [1].....	13
Tabulka 2: Přehled členů z oblasti dodavatelů ADAS - Zdroj: Vlastní zpracování dle [1] .	13
Tabulka 3: Přehled členů z oblasti výrobců navigačních systémů Zdroj: Vlastní zpracování dle [1]	14
Tabulka 4: Přehled členů z oblasti dodavatelů map - Zdroj: Vlastní zpracování dle [1]	14
Tabulka 5: Přehled informací obsažených v ADASIS Horizonu Zdroj: vlastní zpracování dle [2]	27
Tabulka 6: Přehled rámců ADASIS a jejich ID	29
Tabulka 7: Přehled všech parametrů modelu vozidla	59
Tabulka 8: Parametry použitého modelového vozidla	68

11. Seznam příloh

- 1.1. Bitový tvar a obsah všech rámců ADASIS protokolu
- 2.1. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$
- 2.2. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$
- 2.3. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$
- 2.4. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=1100$
- 2.5. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru
- 2.6. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Forbes model s univerzálním nastavením
- 3.1. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$
- 3.2. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$
- 3.3. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$
- 3.4. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=10$
- 3.5. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=1100$
- 3.6. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru
- 3.7. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Forbes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru
- 4.1. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$
- 4.2. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$
- 4.3. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$
- 4.4. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=1100$
- 4.5. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=400$
- 4.6. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru
- 4.7. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Forbes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru
- 4.8. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Forbes model s univerzálním nastavením
- 5.1. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$
- 5.2. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$

- 5.3. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$
- 5.4. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=10$
- 5.5. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=400$
- 5.6. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru
- 5.7. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Forbes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru
- 5.8. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Forbes model s univerzálním nastavením
- 6.1. Samostatné CD obsahující model systému

12. Přílohy

1.1. Bitový tvar a obsah všech rámců ADASIS protokolu

Typ zprávy	č. typu	Informace, charakteristiky	počet bitů	jednotka	hodnota	význam	
Pozice	1	Typ rámce	3		1	rámec pozice	
		Cyklický čítač	2		0 - 3	slouží k detekci chybějících rámců	
		Index trasy	6		0 - 7 8 - 63	1 = mimo mapu, 2 = mimo silnici, 3 = poziční sys. není zkalibrován, 4 = (pro segment) viz spec 5.8, 5 = viz 5.2, 6 = viz 5.2 7= RES ID Trasy	
		Offsetová vzdálenost	13	metr	0 - 8190	vzdálenost od začátku trasy modulo 8190	
		Index pozice	2		0 - 3		
		Časové razítko pozice	9	5 ms	0 - 510	časový rozdíl mezi odesláním zprávy a výpočtem pozice; 510 = > 2545 ms	
		Rychlost	9	0.2 m/s		0	≤ -12.8 m/s
						1 - 63	-12.6 ... -0.2 m/s
						64	0 - stojící
						65 - 509	+0.2 ... 89.0 m/s
						510	>= 89.2 m/s
		511	N/A				
		Směr	8	360/254 deg		0	Směr trasy
						1	1,417 stupně vpravo od trasy
						2-253	počet stupňů vpravo od trasy
254	Neznámý						
255	N/A						
Pravděpodobnost pozice	5	100/30 %		0	Neznámý		
				1 - 30	Pravděpodobnost pozice udáno algoritmem HP		
31	N/A						
Spolehlivost pozice	3			0 - 6	0 - nejvyšší důvěra, 6 - nejnižší		
				7	N/A		
Jízdní pruh	3			0	Neznámý		
				1	Odstavný pruh		
				2	PK s jedním pruhem		
				3	Jízdní pruh nejvíce vlevo		
				4	Jízdní pruh nejvíce vpravo		
				5	Jeden z prostředních jízdních pruhů		
				6	Rezervováno		
7	N/A						
Rezervováno	1						

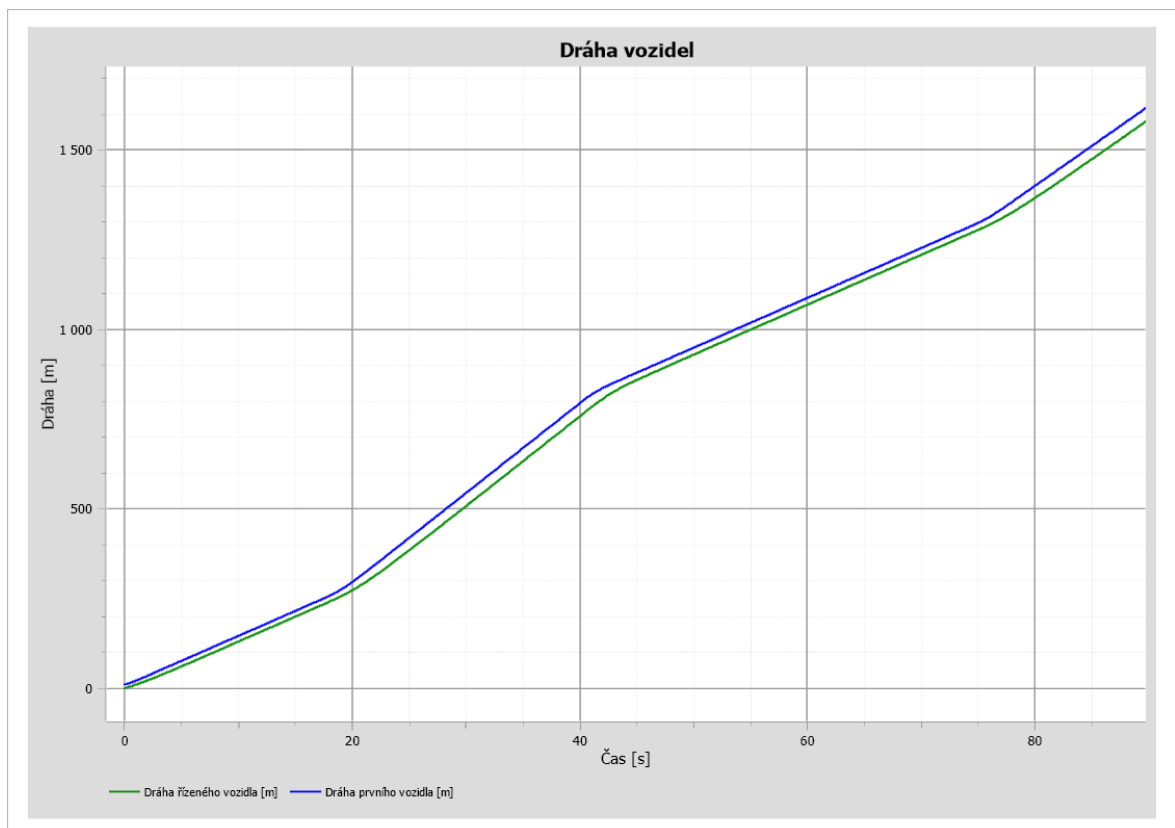
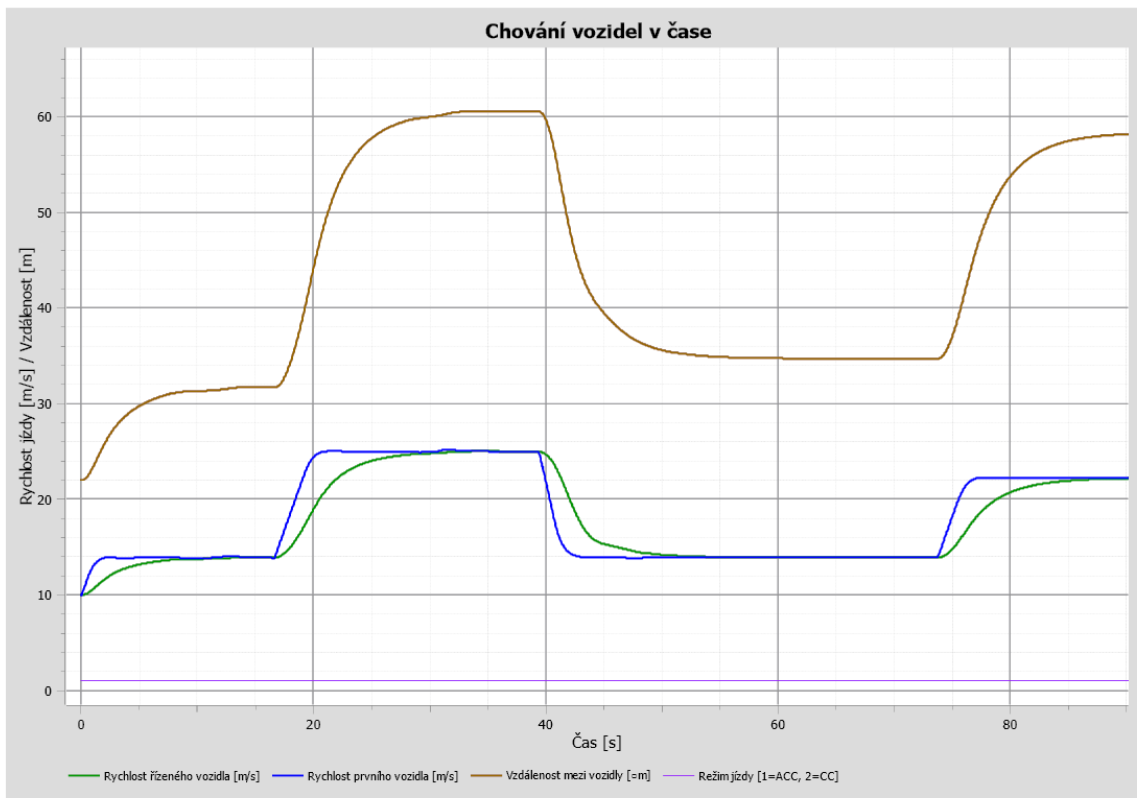
	Typ rámce	3		2	rámec úsek
	Cyklický čítač	2		0 - 3	slouží k detekci chybějících rámců
	Informace o opakování	1			
	Index trasy	6		4 8 - 63	Adasis Mini - viz. 5.2 ID Trasy
	Offsetová vzdálenost	13	metr	0 - 8190	vzdálenost od začátku trasy modulu 8190
	Update	1		0 - 1	Binární informace o torn, zdali jde o aktualizaci již poslaných dat
	Třída PK	3		0 1 - 6 7	Neznámý Třída silnice, 1 ... vysoká třída, 6 nejnižší třída N/A
	Druh PK	4		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	Neznámý Silnice dálničního typu Silnice s rozdělením směru / dělená PK Silnice bez rozdělení směru Kruhový objezd Křižovatka / složitější dopravní systém - res - res Rovnoběžná PK s průběžnou PK (jako zvláštní druh připojovacího pruhu / rampy Připojovací pruh / rampa na silnici dálničního typu Připojovací pruh / rampa na silnici, která není dálničního typu Účelová komunikace či paralelní přístupová komunikace k průběžné silnici vyšší třídy Vjezd / Výjezd na(z) parkoviště Vjezd / Výjezd na(z) čerpací stanice, servisní místo Pěší zóna N/A
	Platný rychlostní limit (zaokrouhleno)	5	km/h (mph)	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31	Neznámý <5 7 10 15 20 25 30 35 40 45 50 55 60 65 70 75 80 85 90 95 100 105 110 115 120 130 140 150 160 Unlimited Invalid
	Typ rychlostního limitu	3		0 1 2 3 4 5 6 7	Implicitní (defaultní) Dle dopravního značení Dle noční doby Dle denní doby Dle denního času Dle deště Dle sněhu Neznámý
	Počet jízdních pruhů v jízdním směru	3		0 1 - 5 6 7	Jednosměrná komunikace projížděná v protisměru Počet JP 6 nebo více JP N/A
	Počet jízdních pruhů v opačném směru	2		0 - 1 2 3	Počet JP dva nebo více pruhů N/A
	Segment v tunelu	2		0 - 1 2 3	Segment je / není v tunelu Neznámý N/A
	Segment na mostě	2		0 - 1 2 3	Segment je / není na mostě Neznámý N/A
	Segment je součástí dělené PK	2		0 - 1 2 3	Segment je / není součástí směrově dělené PK Neznámý N/A
	Segment v zástavbě	2		0 - 1 2 3	Segment je / není v zástavbě Neznámý N/A
	Segment v křižovatce	2		0 - 1 2 3	Segment je / není součástí komplexní křižovatky Neznámý N/A
	Pravděpodobnost pozice	5	100/30 %	0 1 - 30 31	Neznámý Pravděpodobnost pozice udáno vzhledem k předchozímu segmentu N/A
	Segment je součástí spočtené trasy	2		0 - 1 2 3	Segment je / není součástí spočtené trasy Neznámý N/A
	Rezervováno	1			

Segment 2

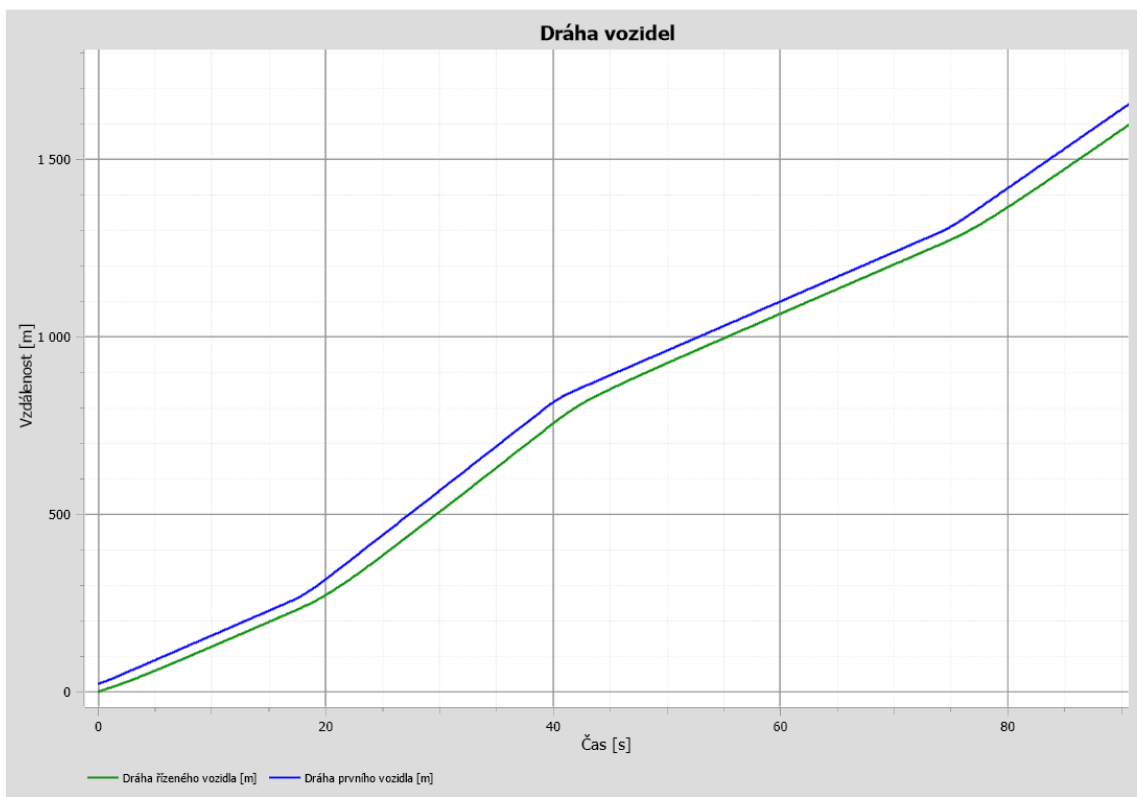
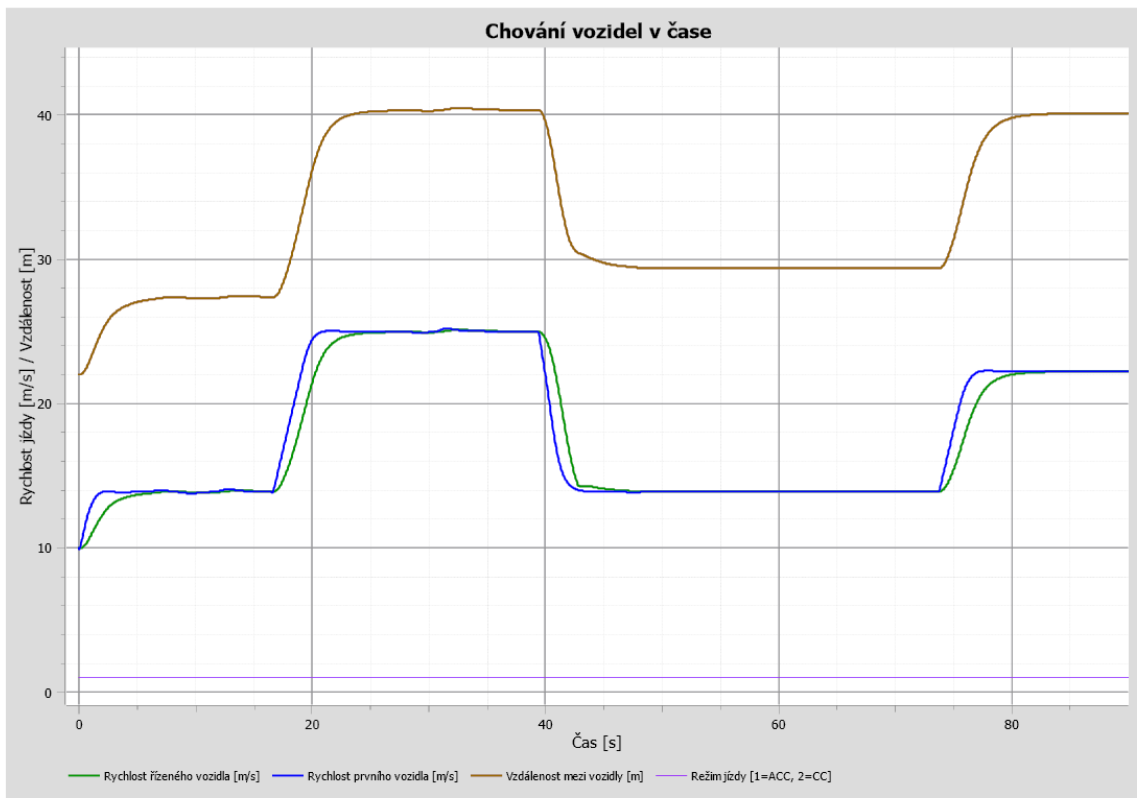
Uzel	3	Typ rámece	3	3	rámec uzel		
		Cyklický žitač	2	0 - 3	slouží k detekci chybějících rámců		
		Informace o opakování	1				
		Index trasy	6	0	Uzel inicializuje první trasu v Horizontu		
		Offsetová vzdálenost	13	metr	8 - 63 ID Trasy		
		Update	1	0 - 1	vzdálenost od začátku trasy modulo 8190		
		Index sub-trasy (navazující trasy)	6	5 6 8-63	Binární informace o tom, zdali jde o aktualizaci již poslaných dat		
		Úhel navazujícího segmentu	8	360/254 deg	0 1 2-253 254 255 N/A	Směr trasy 1,417 stupně vpravo od trasy počet stupňů vpravo od trasy Neznámý N/A	
		Pravděpodobnost navazující trasy	5	100/30 %	0 - 30 31	Hodnota pravděpodobnosti (0-100) N/A	
		Třída PK navazující trasy	3		0 1 - 6 7	Neznámý Třída silnice, 1 ... vysoká třída, 6 nejnižší třída N/A	
		Druh PK navazující trasy	4		0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15	Neznámý Silnice dálničního typu Silnice s rozdělením směru / dělená PK Silnice bez rozdělení směru Kruhový objezd Křižovatka / složitější dopravní systém - res - res Rovnoběžná PK s průběžnou PK (jako zvláštní druh připojovacího pruhu / rampy Připojovací pruh / rampa na silnici dálničního typu Připojovací pruh / rampa na silnici, která není dálničního typu Účelová komunikace či paralelní přístupová komunikace k průběžné silnici vyšší třídy Vjezd / Vjezd na(z) parkoviště Vjezd / Vjezd na(z) čerpací stanice, servisní místo Pěší zóna N/A	
		Počet jízdních pruhů v jízdním směru	3		0 1 - 5 6 7	Jednosměrná komunikace projížděná v protisměru Počet JP 6 nebo více JP N/A	
		Počet jízdních pruhů v opačném směru	2		0 - 1 2 3	Počet JP dva nebo více pruhů N/A	
		Segment v křižovatce	2		0 - 1 2 3	Segment je / není součástí komplexní křižovatky Neznámý N/A	
		Přednost v jízdě	2		0 1 2 3	Při jízdě přes tento uzel má vozidlo přednost Při jízdě přes tento uzel dává vozidlo přednost Neznámý N/A	
		Segment je součástí spočtené trasy	2		0 - 1 2 3	Segment je / není součástí spočtené trasy Neznámý N/A	
		Poslední uzel na trase / offsetu	1		0 - 1	Binární ano/ne	
		Profil trasy - krátký	4	Typ rámece	3	4	rámec profil trasy - krátký
				Cyklický žitač	2	0 - 3	slouží k detekci chybějících rámců
				Informace o opakování	1		
				Index trasy	6	0	Uzel inicializuje první trasu v Horizontu
				Offsetová vzdálenost	13	metr	8 - 63 ID Trasy
				Update	1	0 - 1	vzdálenost od začátku trasy modulo 8190
				Typ profilu	5	360/254 deg	0 1 2 3 4 5 6 7 8 9-31
Kontrolní body	1				0 - 1	Ano / ne - jedná se o doplňkové body nutné pro interpolaci	
Typ profilu - navazující hodnoty - bod 0	10				0 - 1022	Data k typům profilu výše, kapacita 10 bitů, dle specifických tabulek	
Vzdálenost k bodu 1	10			metr	0 1 - 1022	Další bod profilu není Vzdálenost od bodu 0 k bodu 1 v popisu profilu trasy	
Typ profilu - navazující hodnoty - bod 1	10					Data k typům profilu výše, kapacita 10 bitů, dle specifických tabulek	
Přesnost	2				0 1 2 3	Nejvyšší přesnost střední přesnost Nejnižší přesnost Přesnost neznámá	

Profil trasy - rozšířený	5	Typ rámece	3	5	rámec profil trasy - rozšířený	
		Cyklický čítač	2	0 - 3	slouží k detekci chybějících rámců	
		Informace o opakování	1			
		Index trasy	6	0	Uzel inicializuje první trasu v Horizontu	
		Offsetová vzdálenost	13	metr	8 - 63 0 - 8190 vzdálenost od začátku trasy modulo 8190	
		Update	1		0 - 1 Binární informace o tom, zdali jde o aktualizaci již poslaných dat	
		Typ profilu	5	1x10 ^{^(-7)} deg 1x10 ^{^(-7)} deg 0.01 m 1x10 ^{^(-7)} deg 1x10 ^{^(-7)} deg 0.01 m	0	N/A
					1	Zeměpisná délka
					2	Zeměpisná šířka
					3	Nadmořská výška
					4	Bézier - kontrolní bod Zem. Délky
					5	Bézier - kontrolní bod Zem. Šířky
					6	Bézier - kontrolní bod nadmořské výšky
					7	ID úseku
					8	Dopravní značení
9	Maximální povolená rychlost pro nákladní vozy					
10	Doplňkové informace o jízdách průzích					
11 - 31	RES					
Kontrolní body	1		0 - 1	Ano / ne - jedná se o doplňkové body nutné pro interpolaci		
Typ profilu - navazující hodnoty - bod 0	32		0 - 2 ^{^32} -1	Data k typům profilu výše, kapacita 32 bitů, dle specifických tabulek		
META DATA	6	Typ rámece	3	6	rámec meta data	
		Cyklický čítač	2	0 - 3	slouží k detekci chybějících rámců	
		MPZ	10	0 - 3023	MPZ dle ISO 3166-1 2007-03, 0= N/A	
		Region	15	0 - 32767	0 = Neznámý, Region v dané zemi ,32767 = N/A	
		Strana řízení	1	0	Levostranné řízení	
				1	Pravostranné řízení	
		Jednotky rychlosti	1	0	mph	
				1	km/h	
		Verze hlavního protokolu	2		0 - 3	
		Verze podružného protokolu	4		0 - 15	
		Sub-verze podružného protokolu	3		0 - 7	
		Verze hardwaru	9		0 - 511	0 = Neznámý
					0	Neznámý
					1	Nokia HERE (Navteq)
					2	TomTom (Tele Atlas)
3	Zenrin					
4	IPC					
5	NavInfo					
6	Ostatní					
7	N/A					
Verze mapy - rok	6		0 - 62 63	Rok vydání mapy po roce 2000. Tedy rok: 200x N/A		
Verze mapy - čtvrtletí	2		0 - 3	Pořadí čtvrtletí vydání mapy Q1-Q4		
Rezervováno	3					

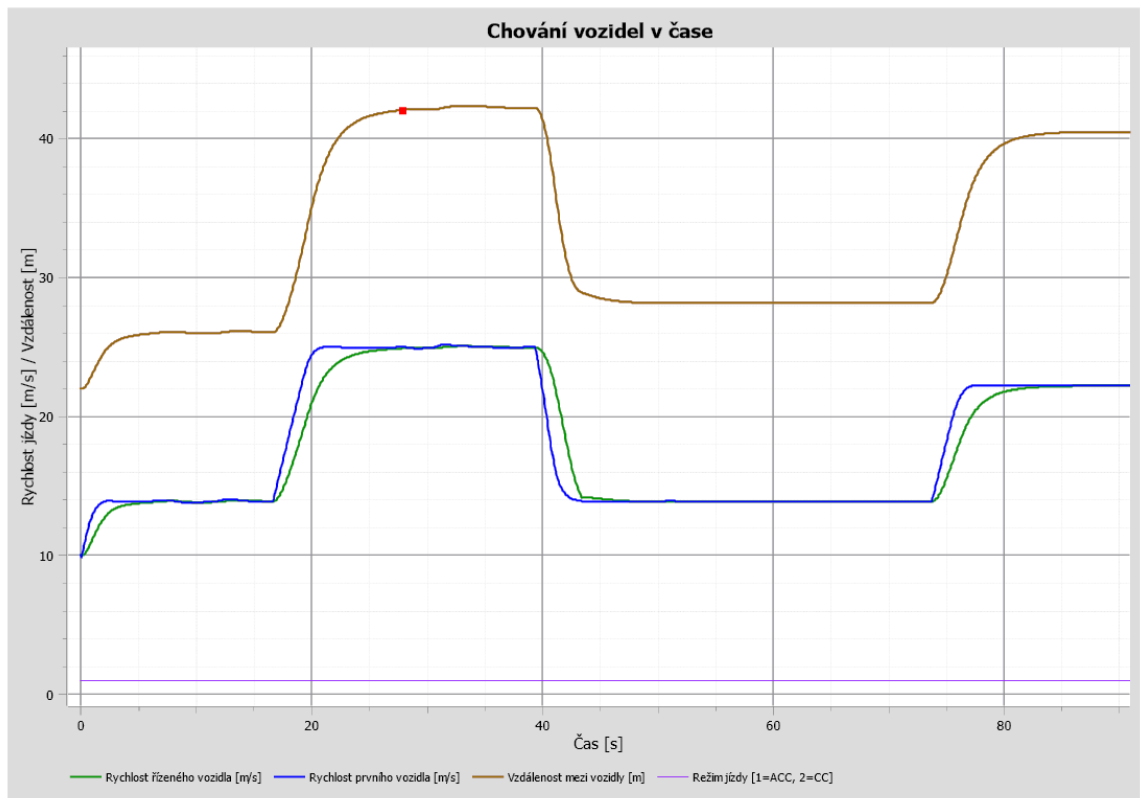
2.1. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$



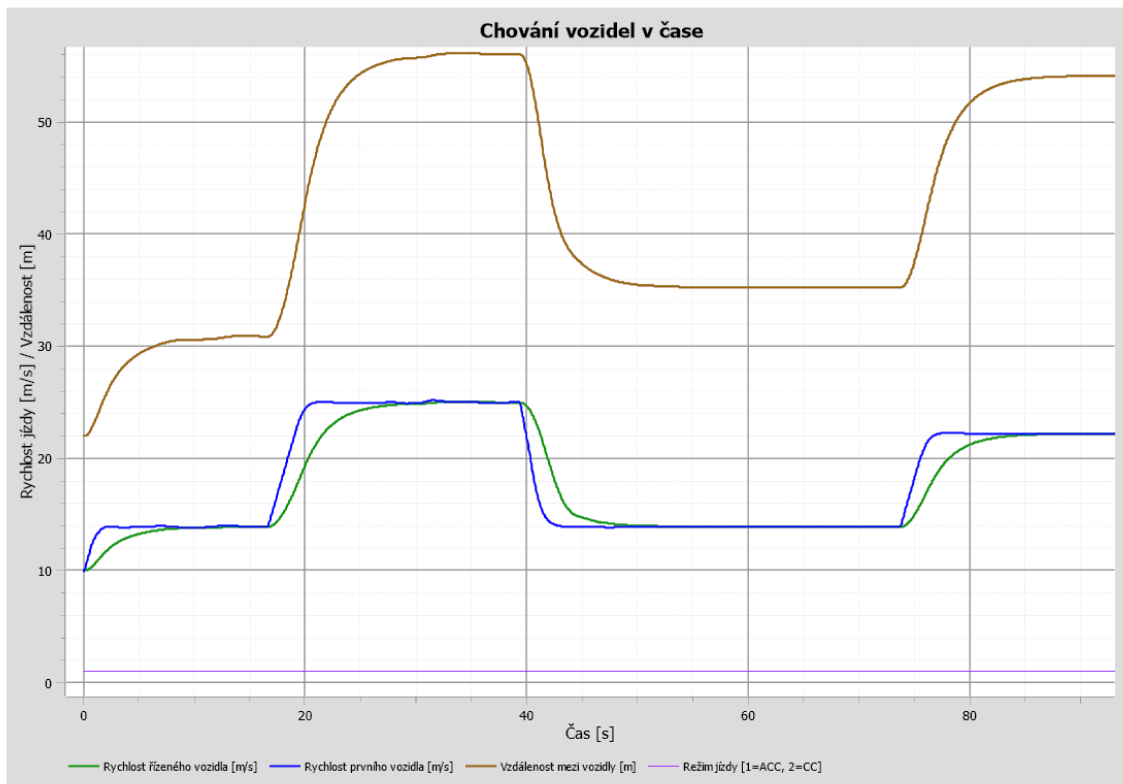
2.2. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$



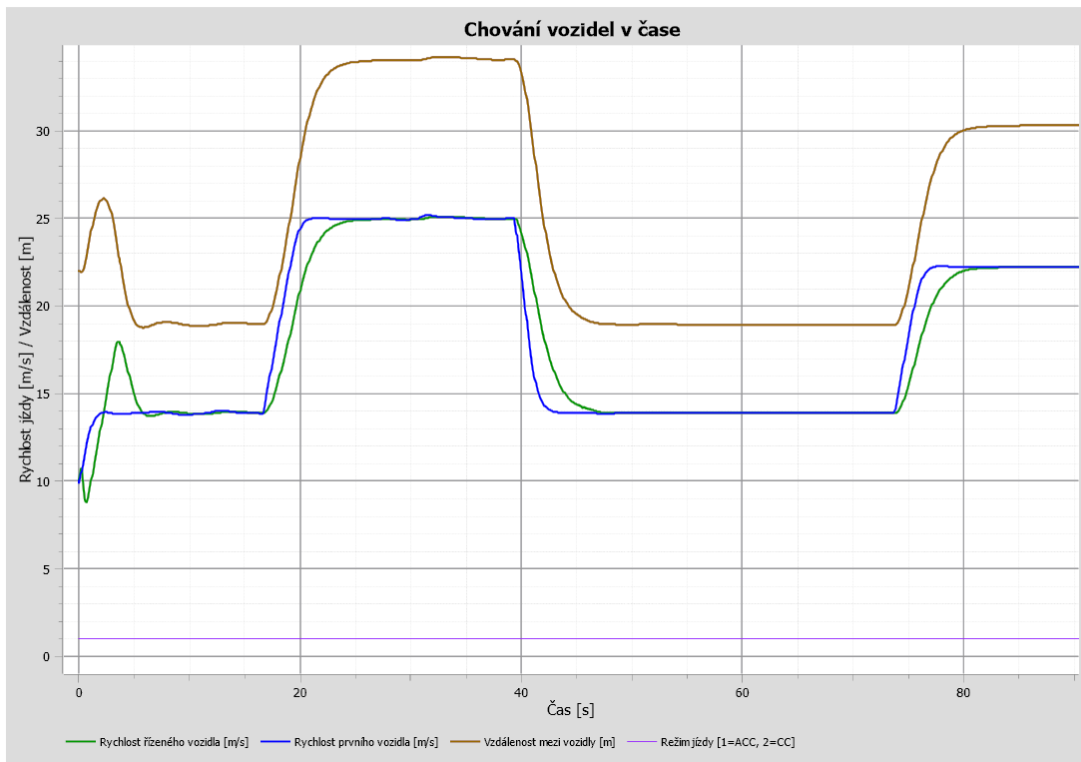
2.3. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$



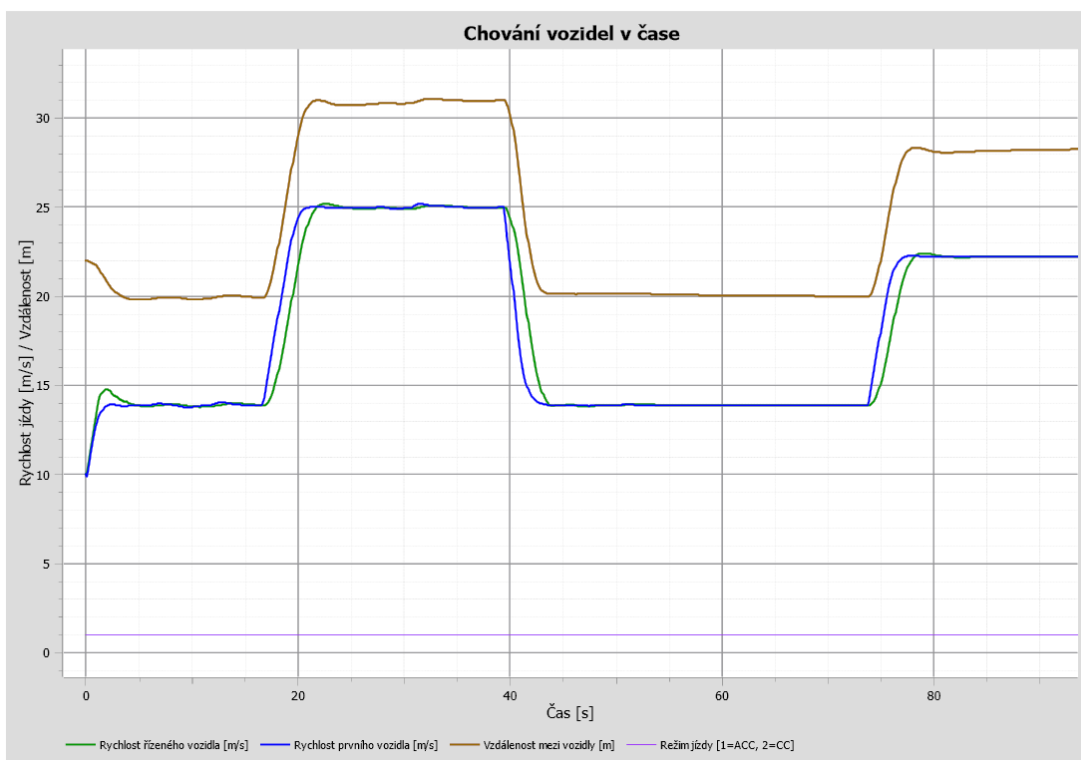
2.4. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=1100$



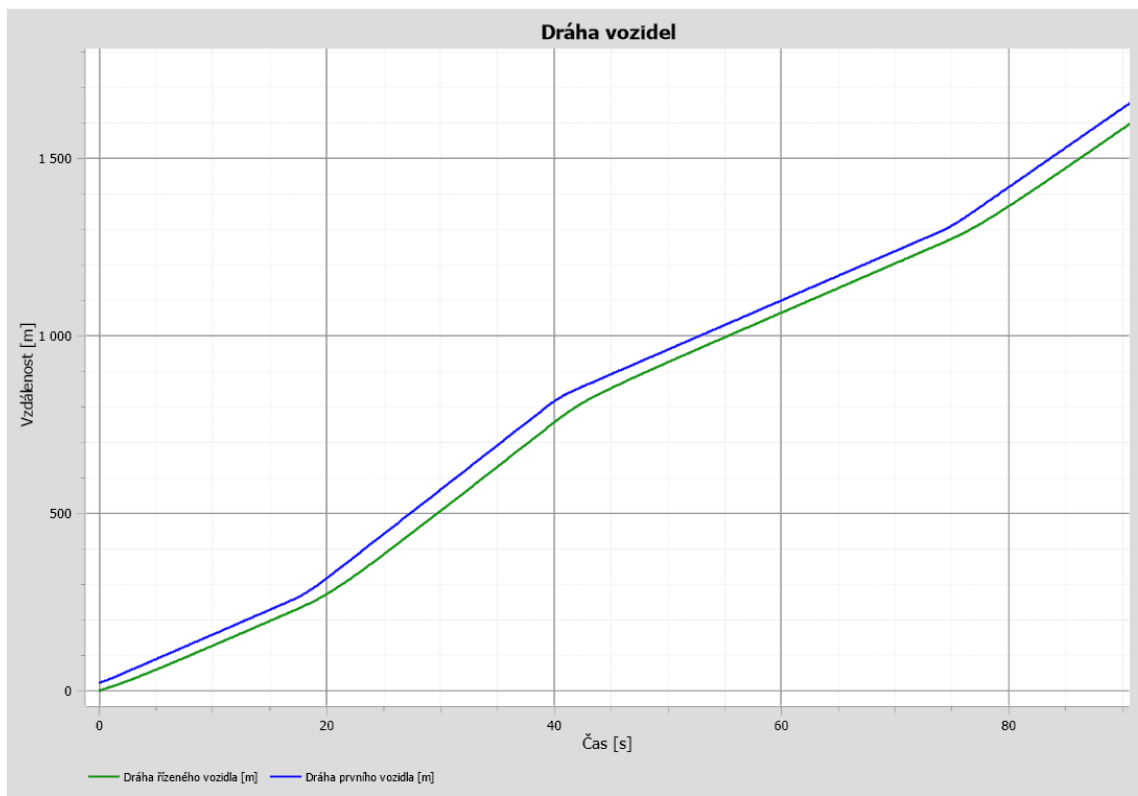
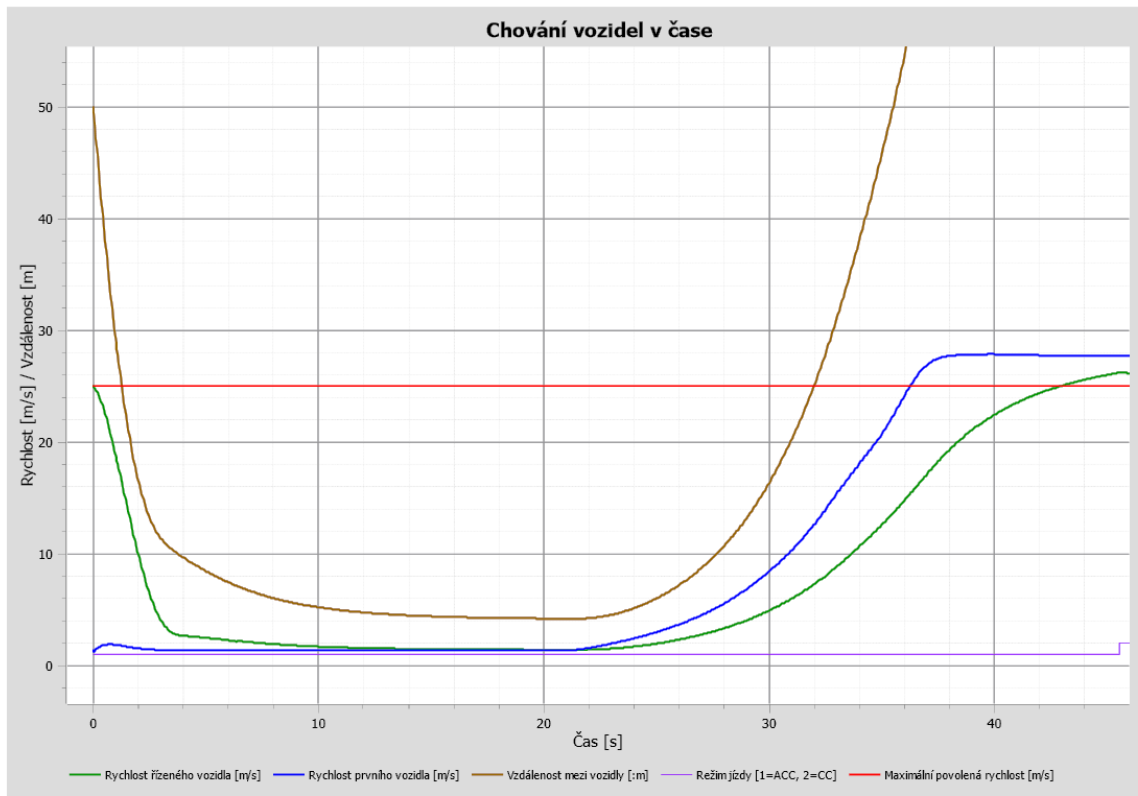
2.5. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru



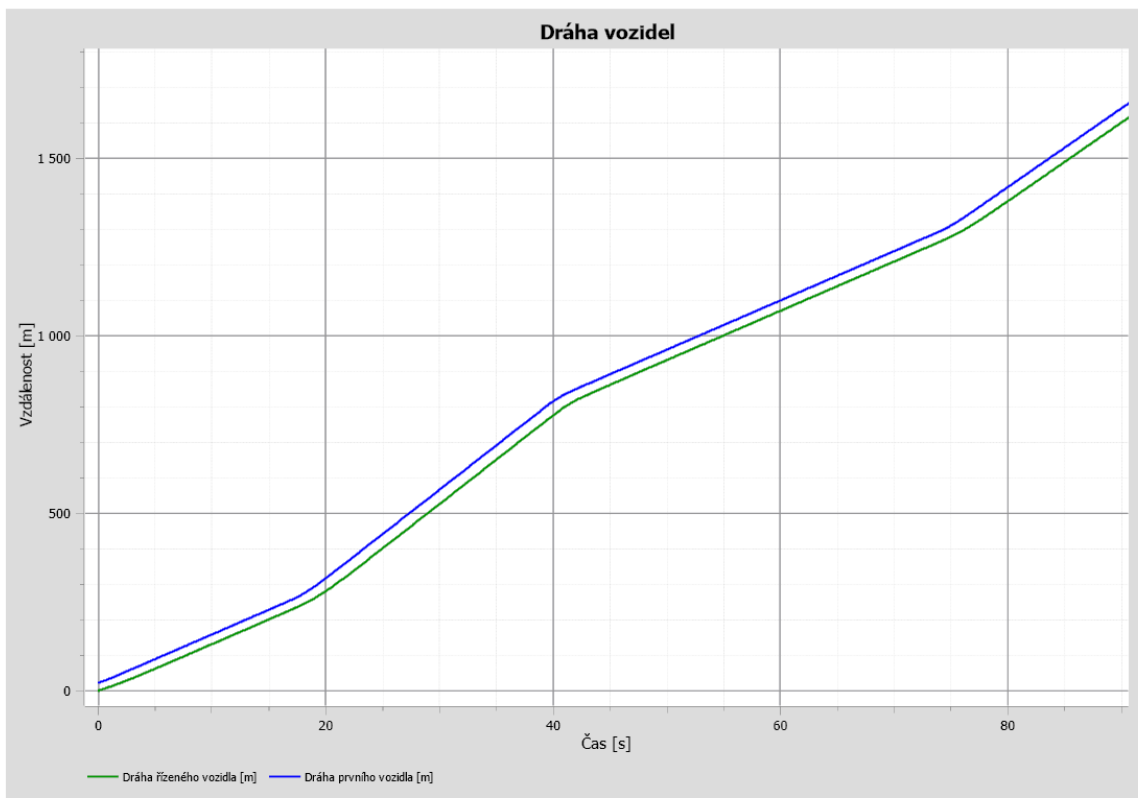
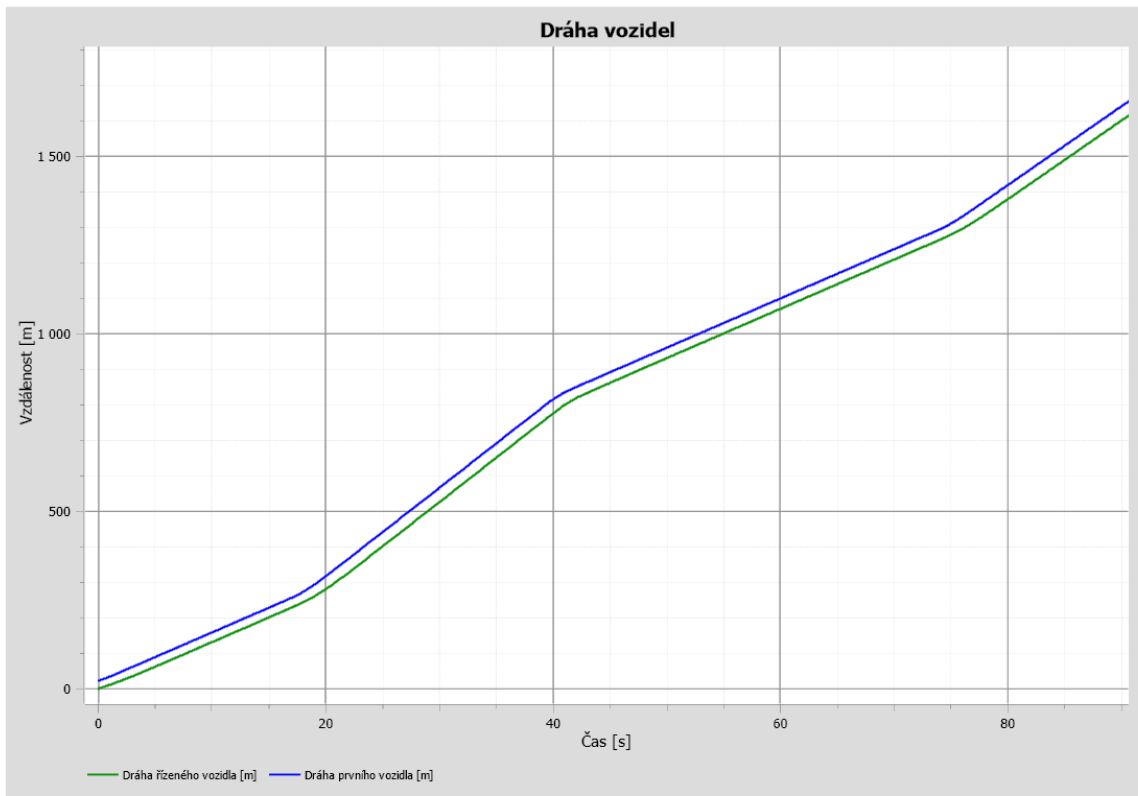
2.6. Výstup ze simulace scénáře č.1 pro Forbes model s univerzálním nastavením



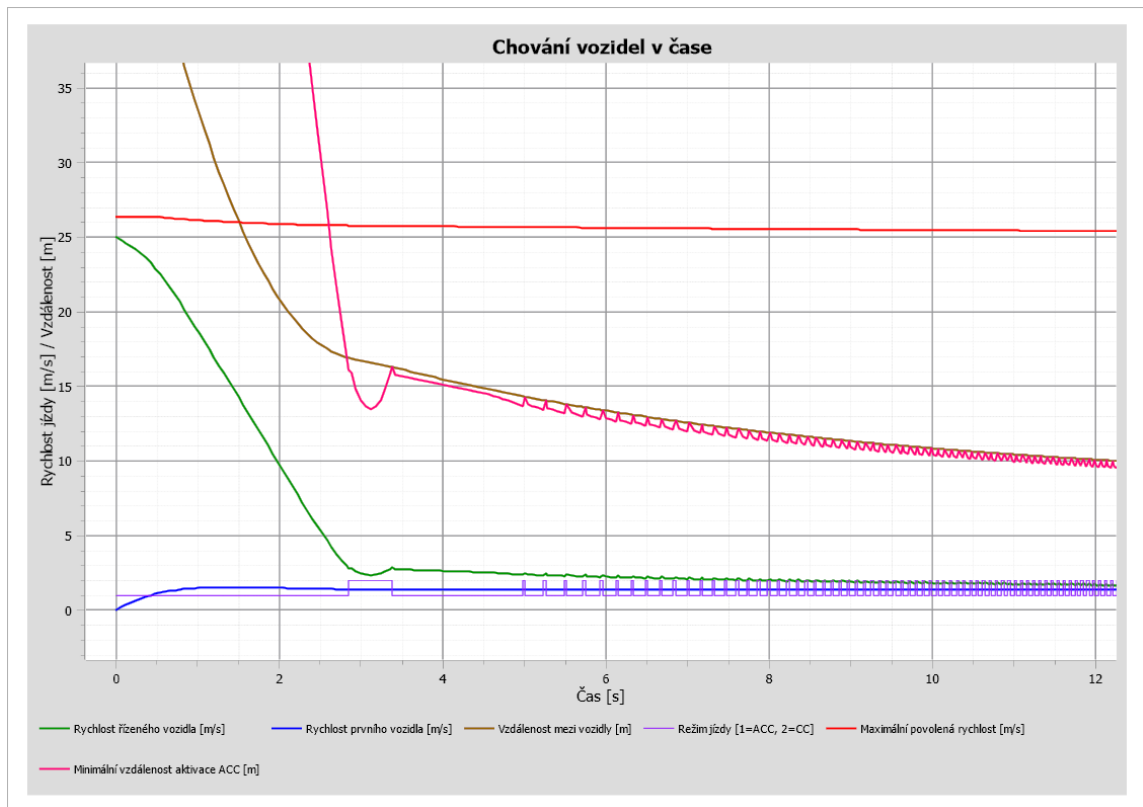
3.1. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$



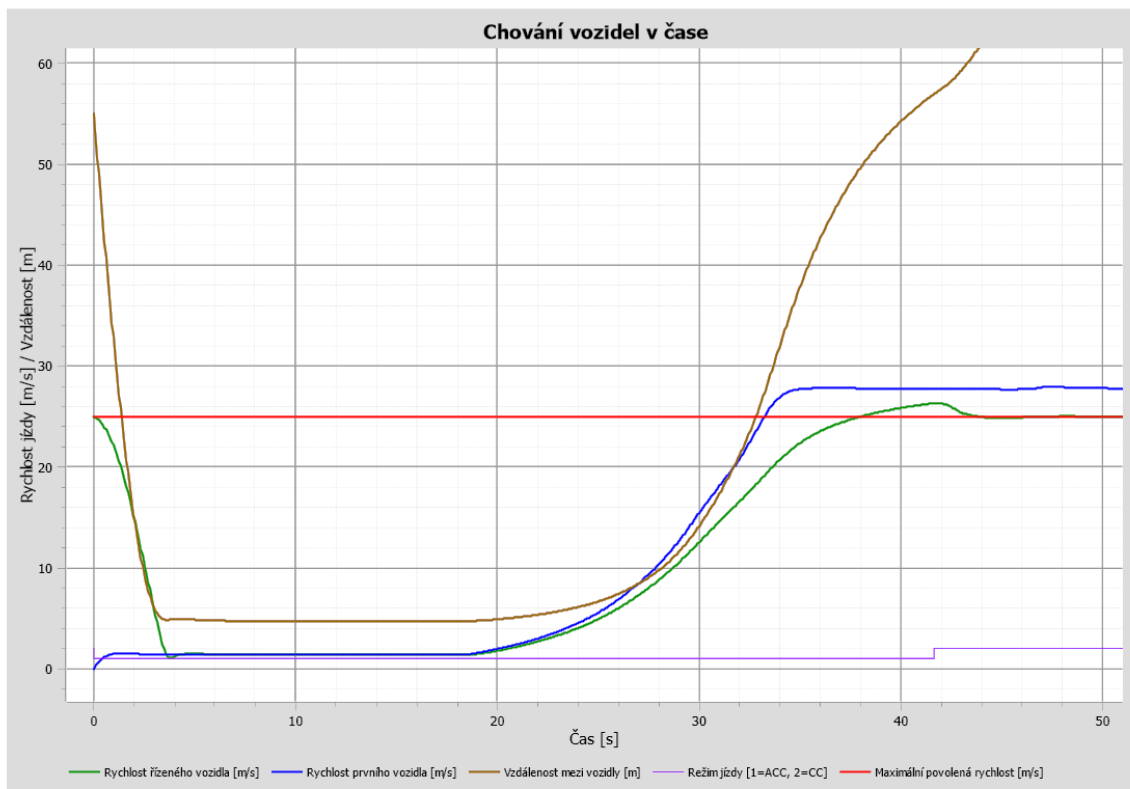
3.2. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$



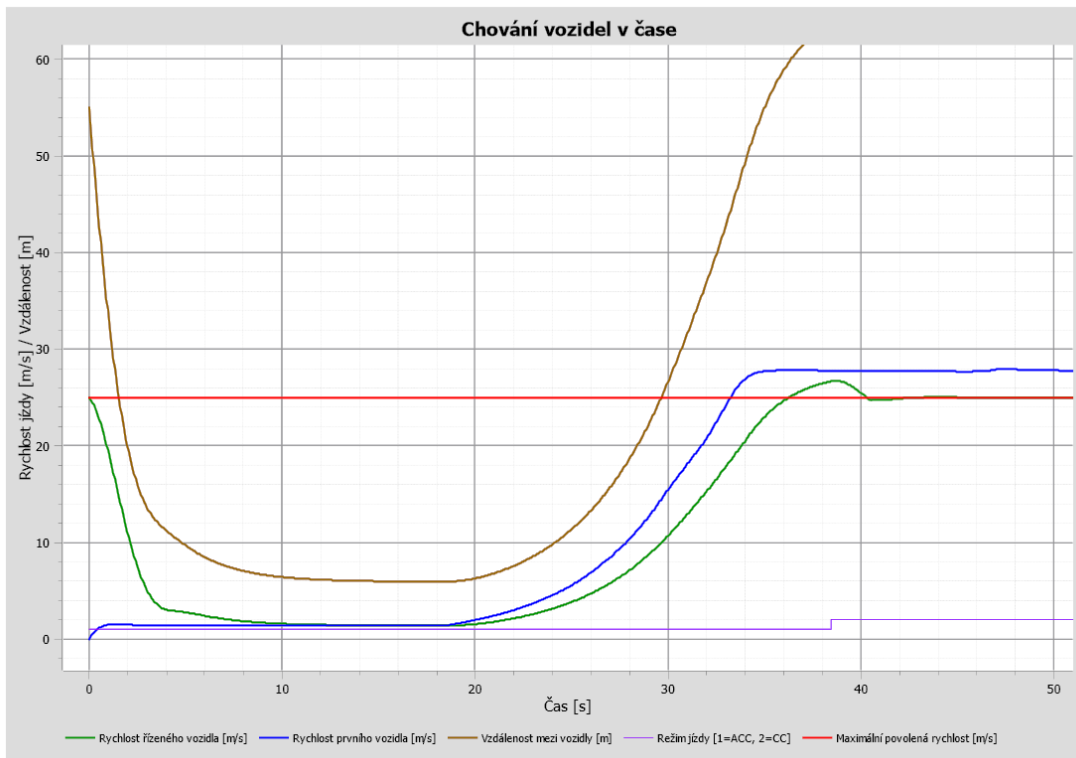
3.3. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$



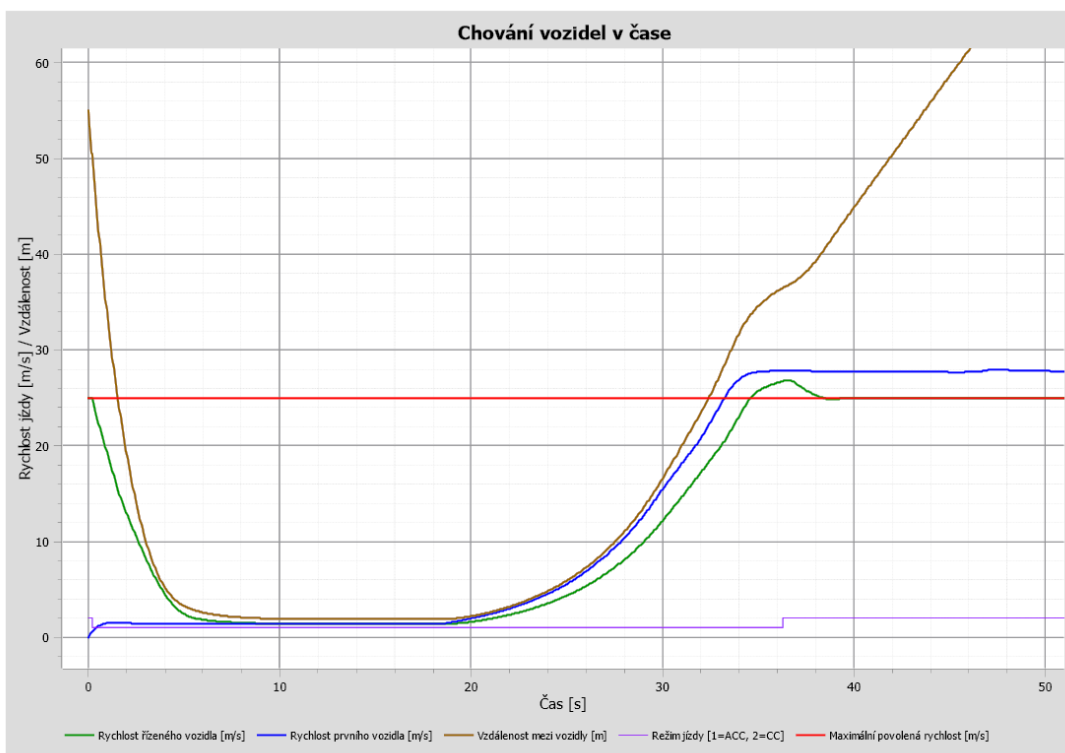
3.4. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=10$



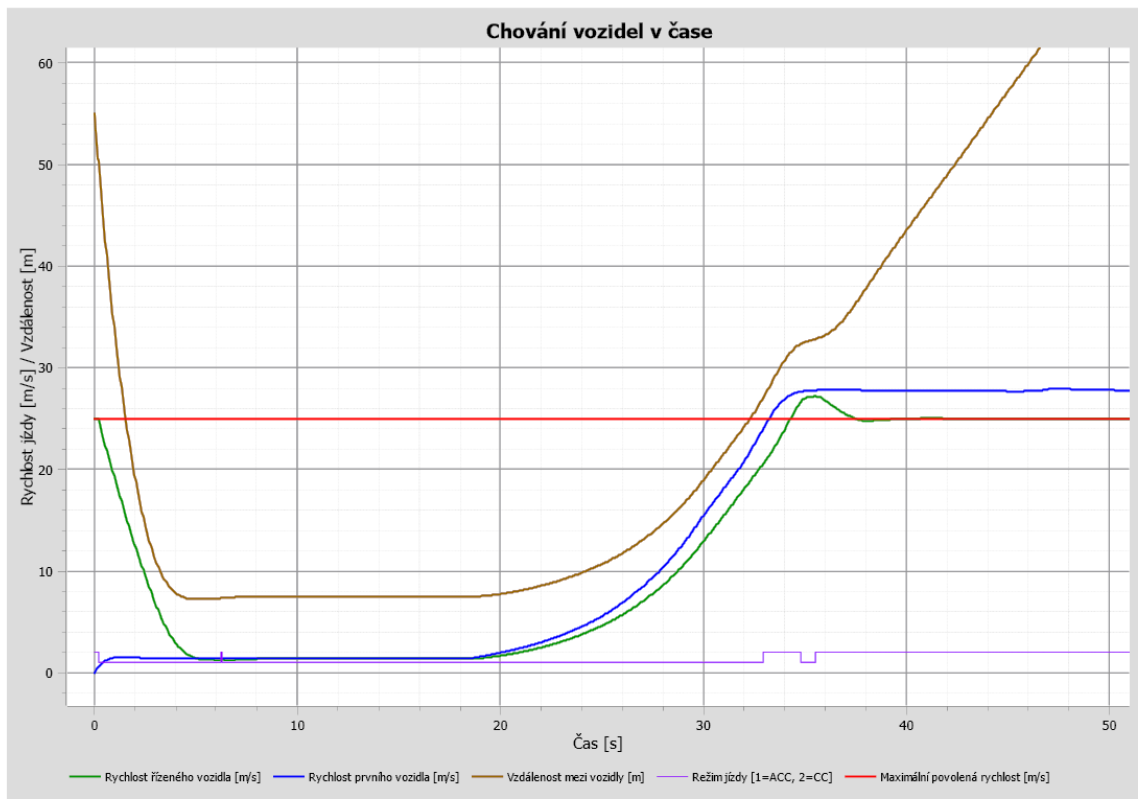
3.5. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=1100$



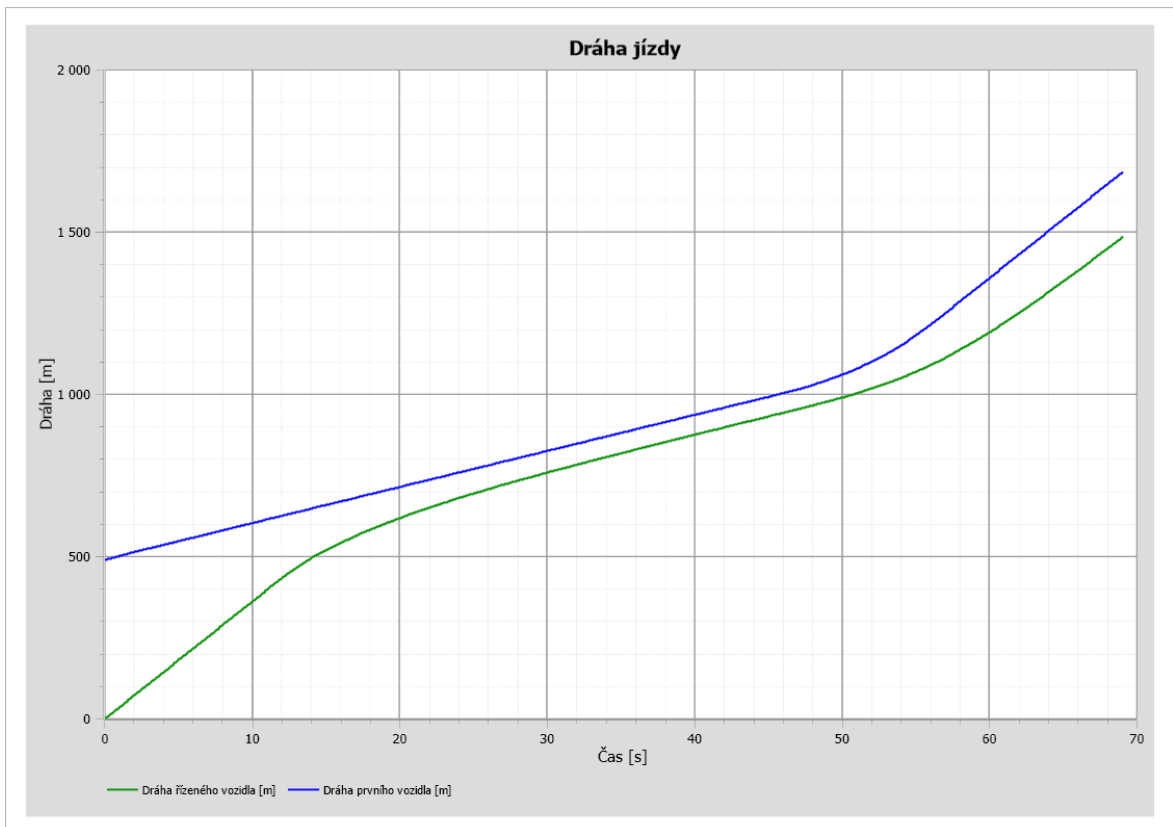
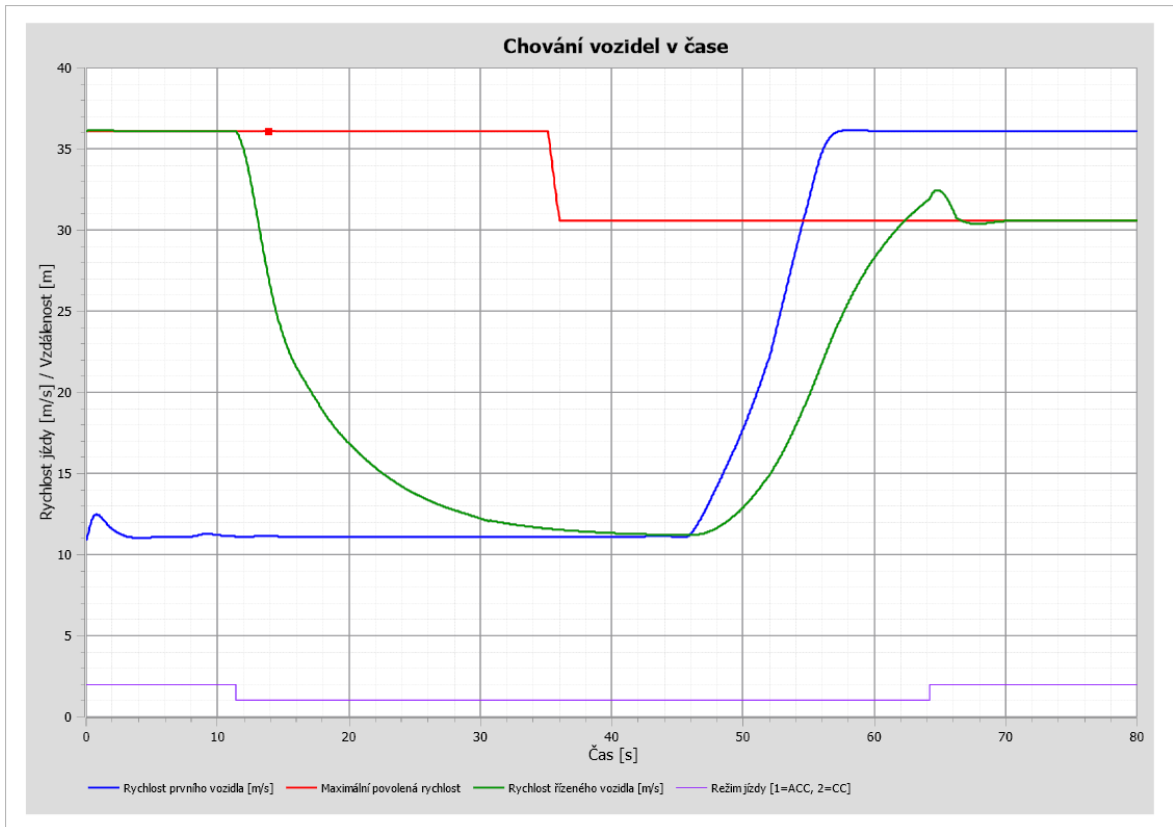
3.6. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru



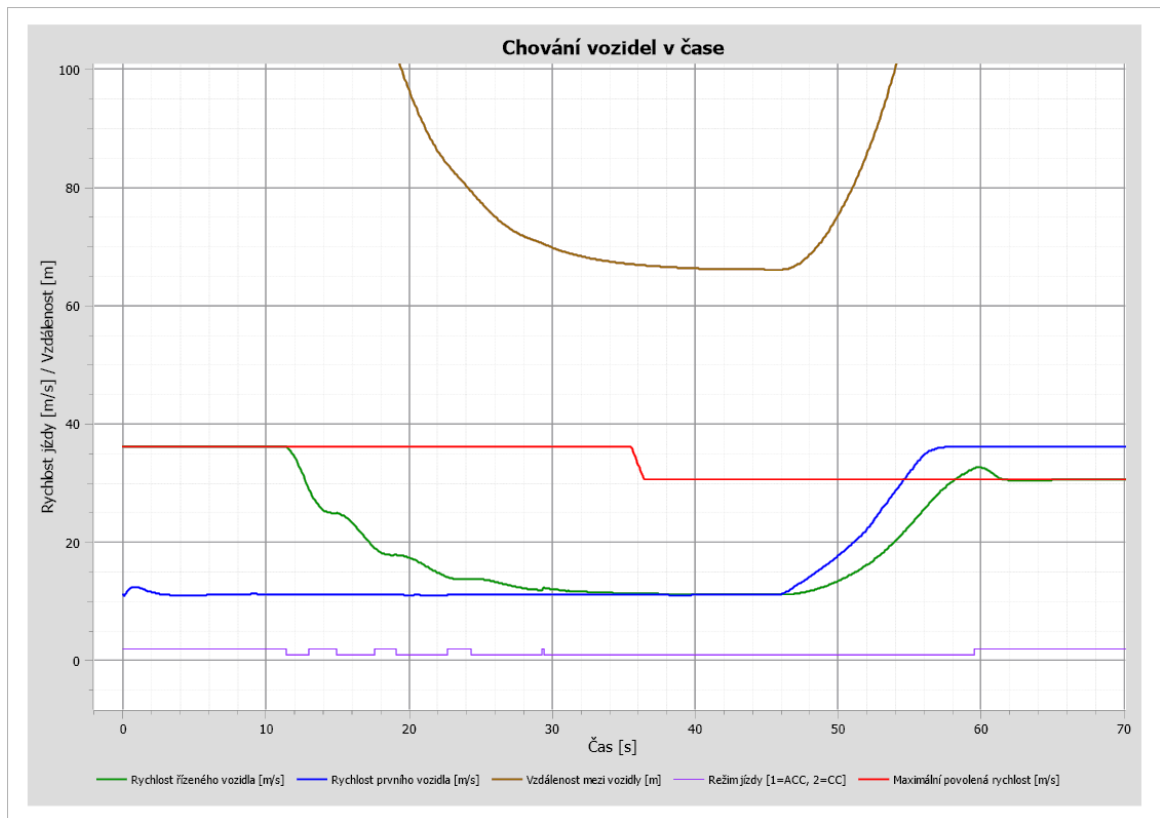
3.7. Výstup ze simulace scénáře č.2 pro Forbes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru



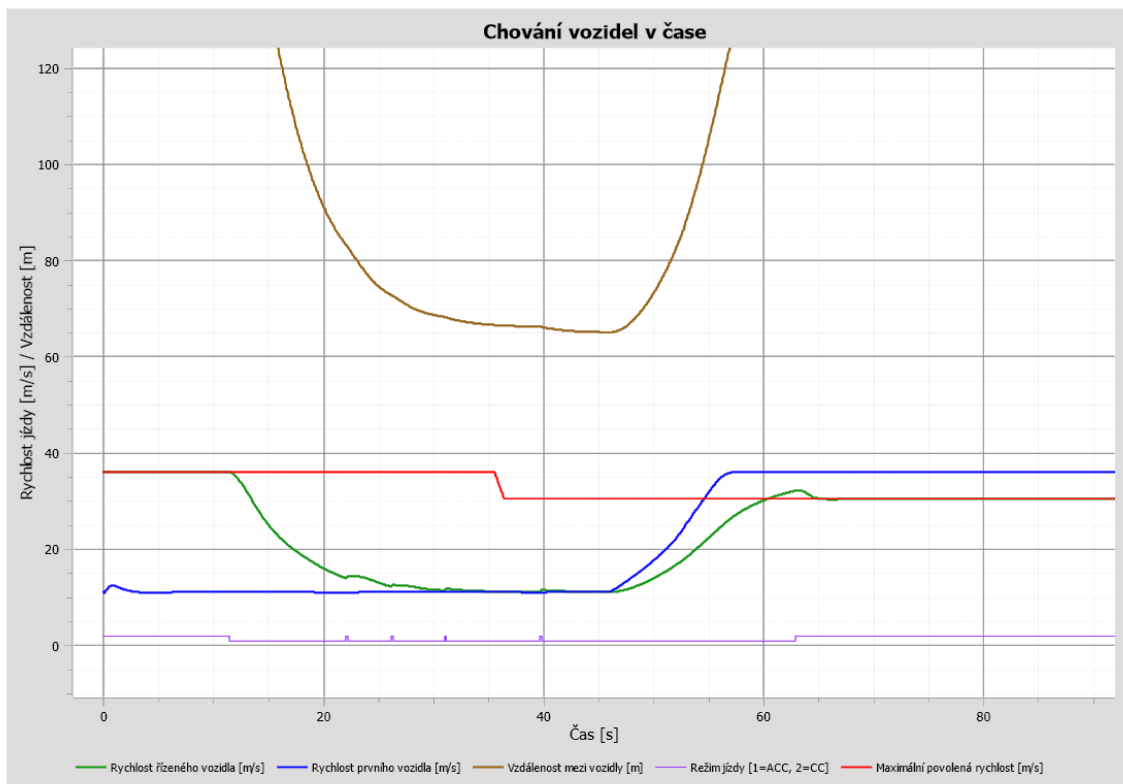
4.1. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$



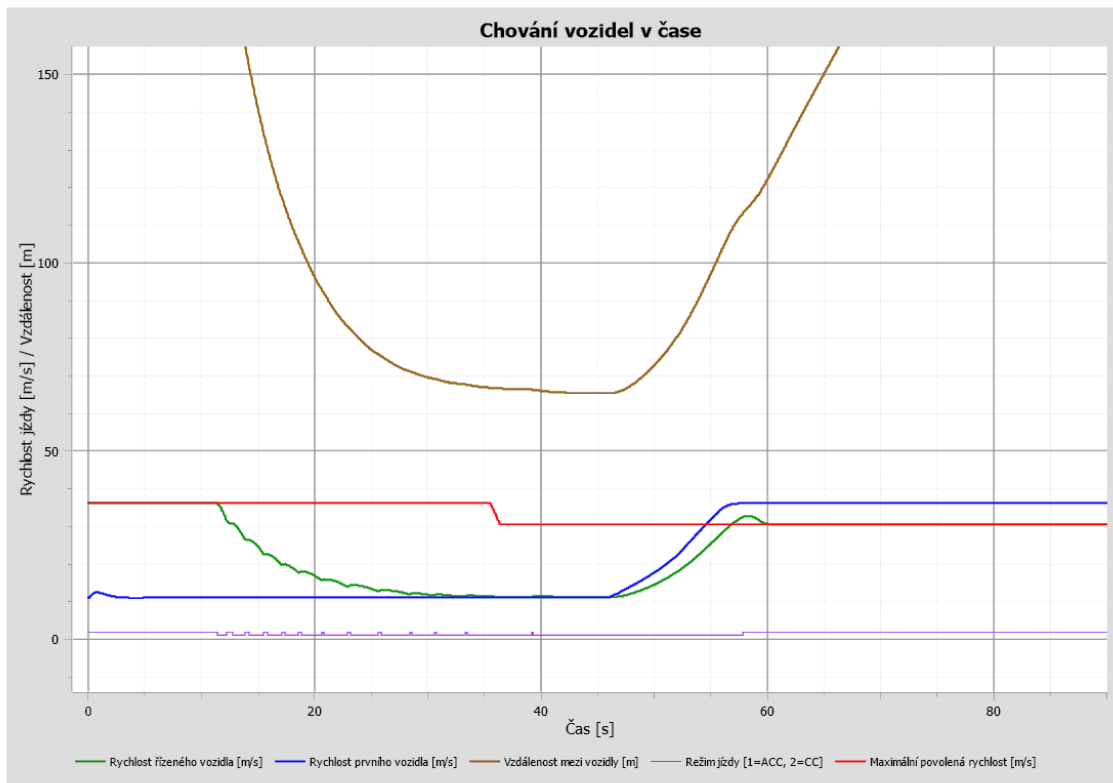
4.2. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$



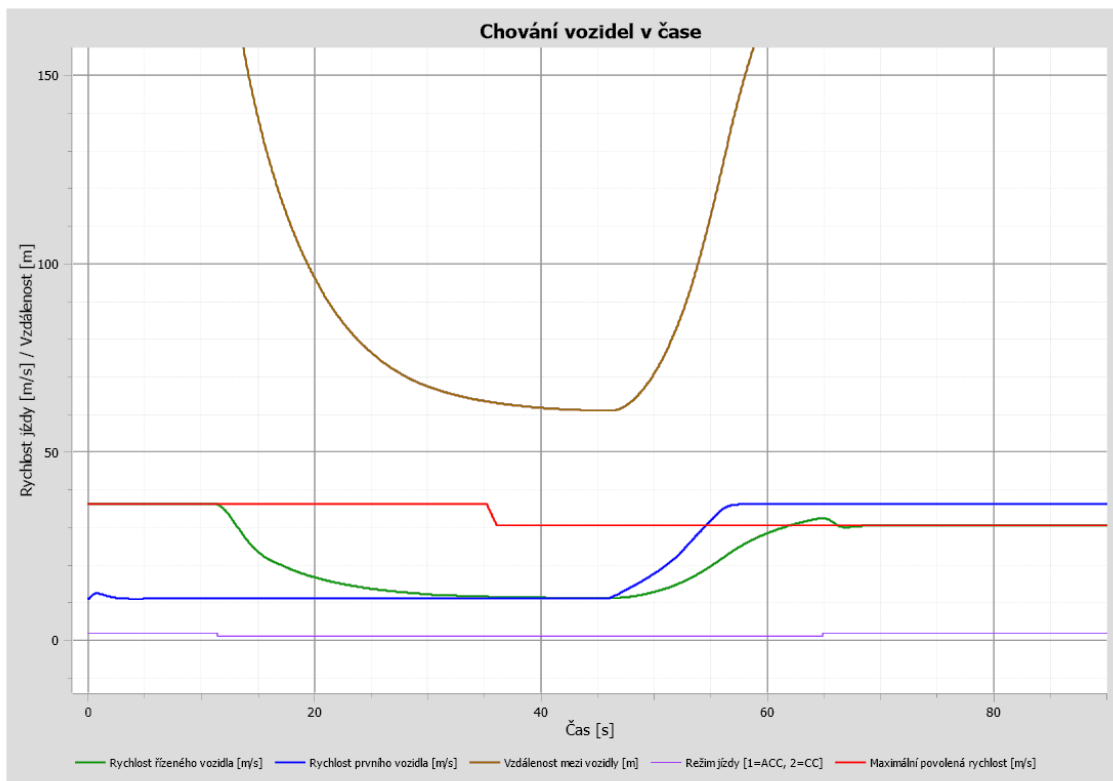
4.3. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$



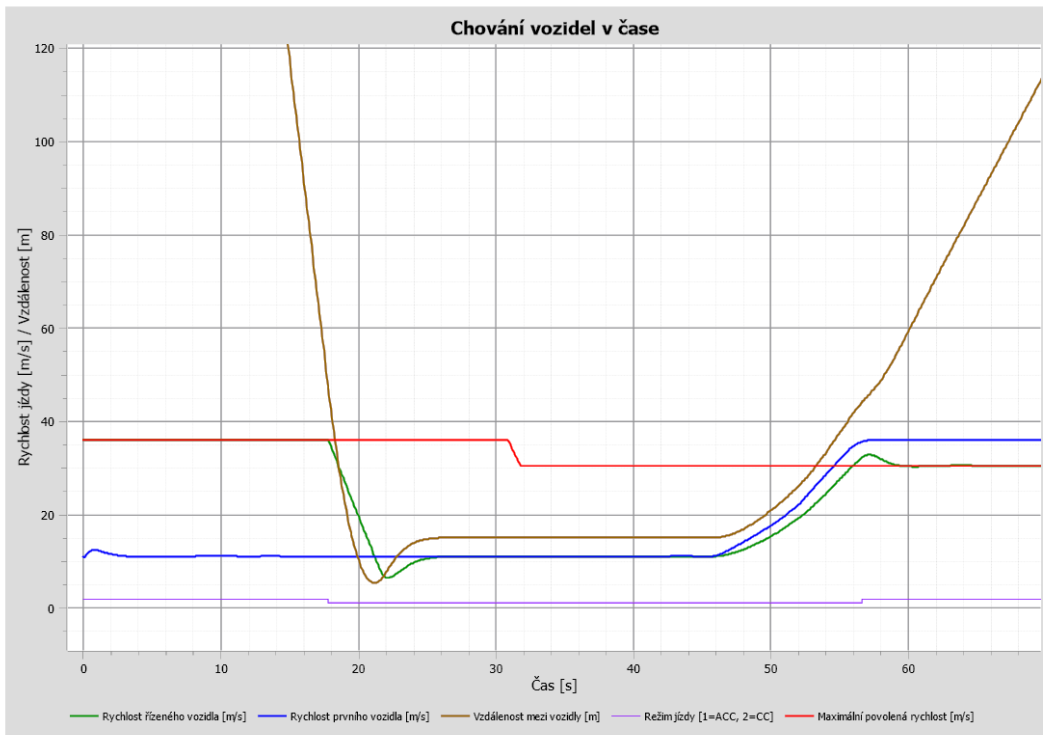
4.4. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=1100$



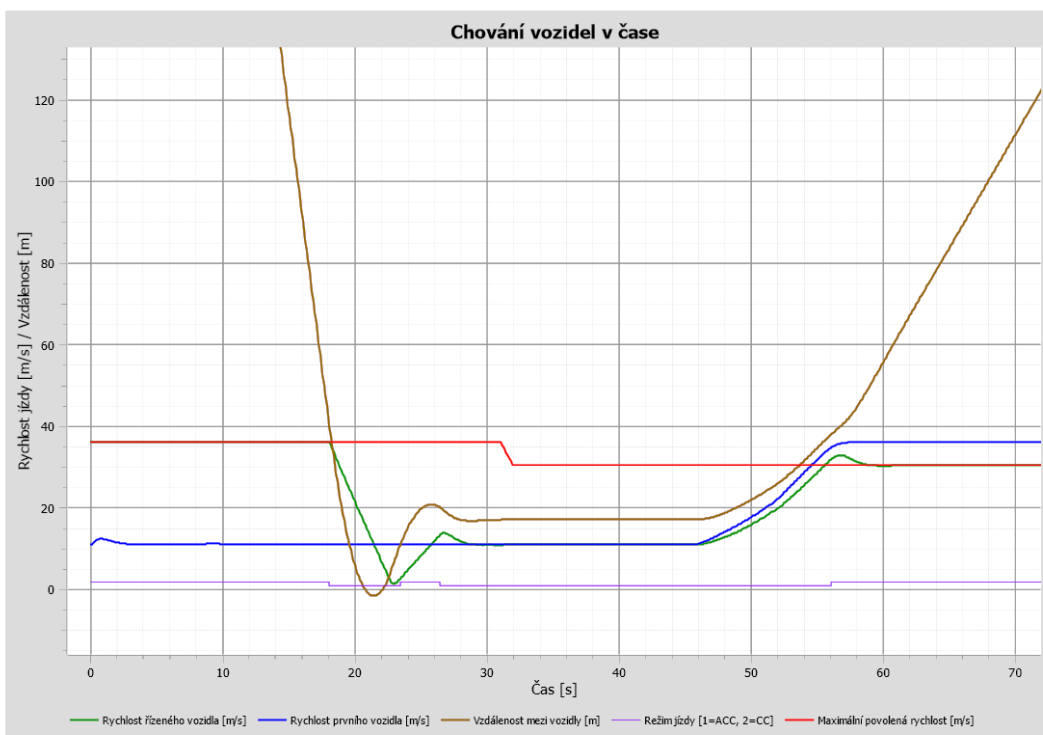
4.5. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=400$



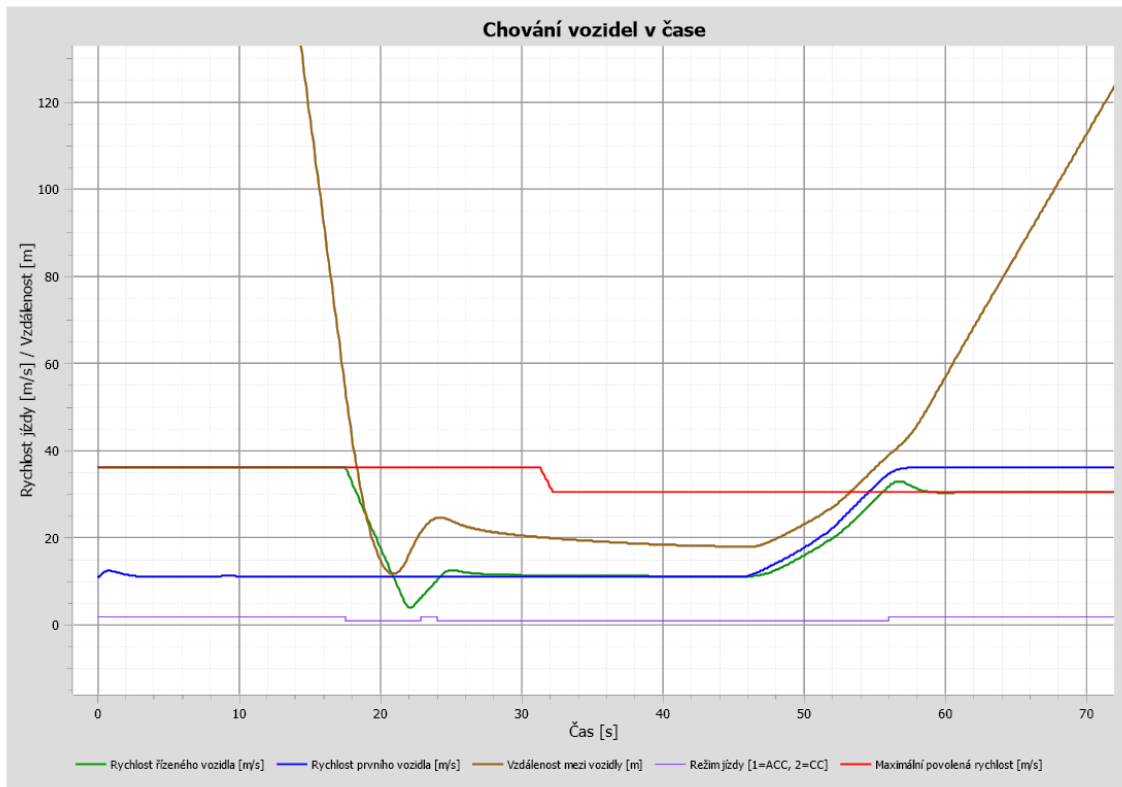
4.6. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru



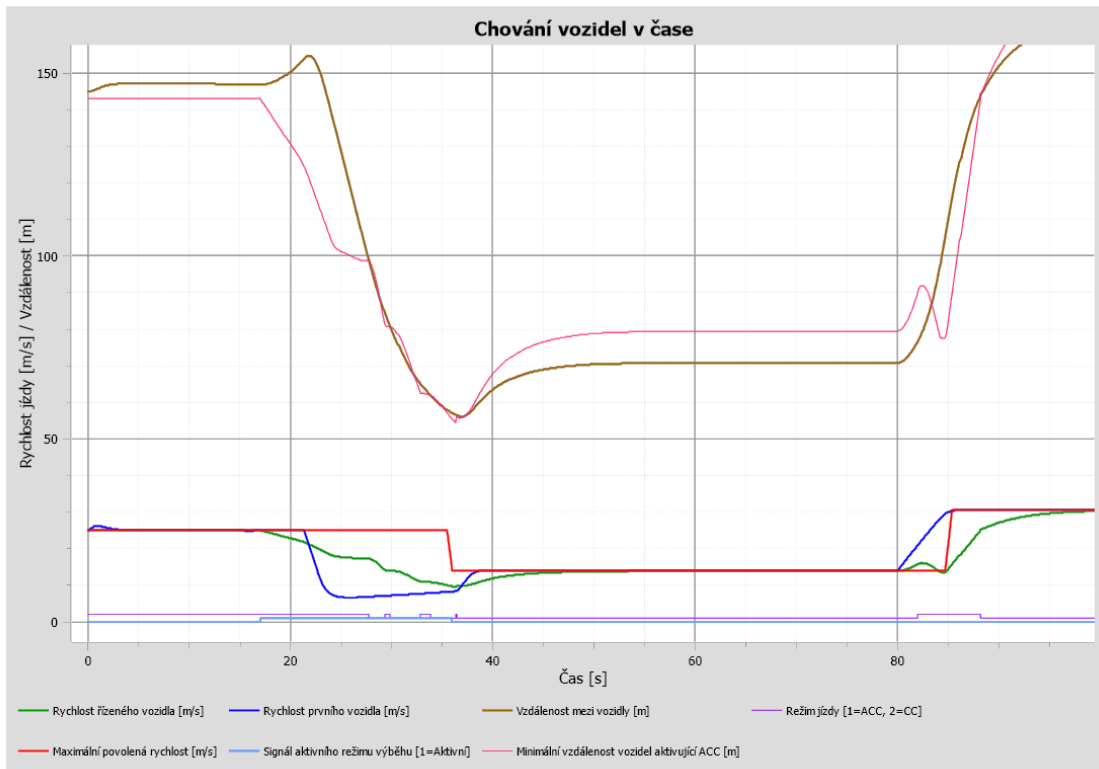
4.7. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Forbes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru



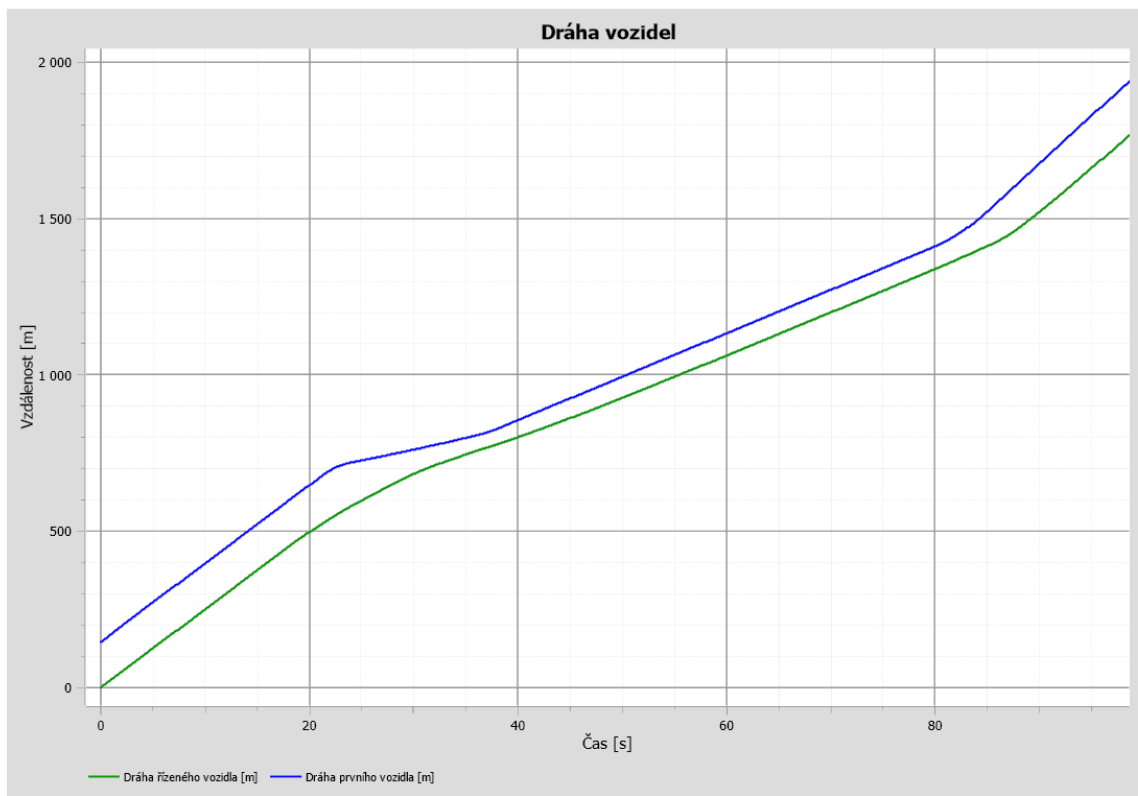
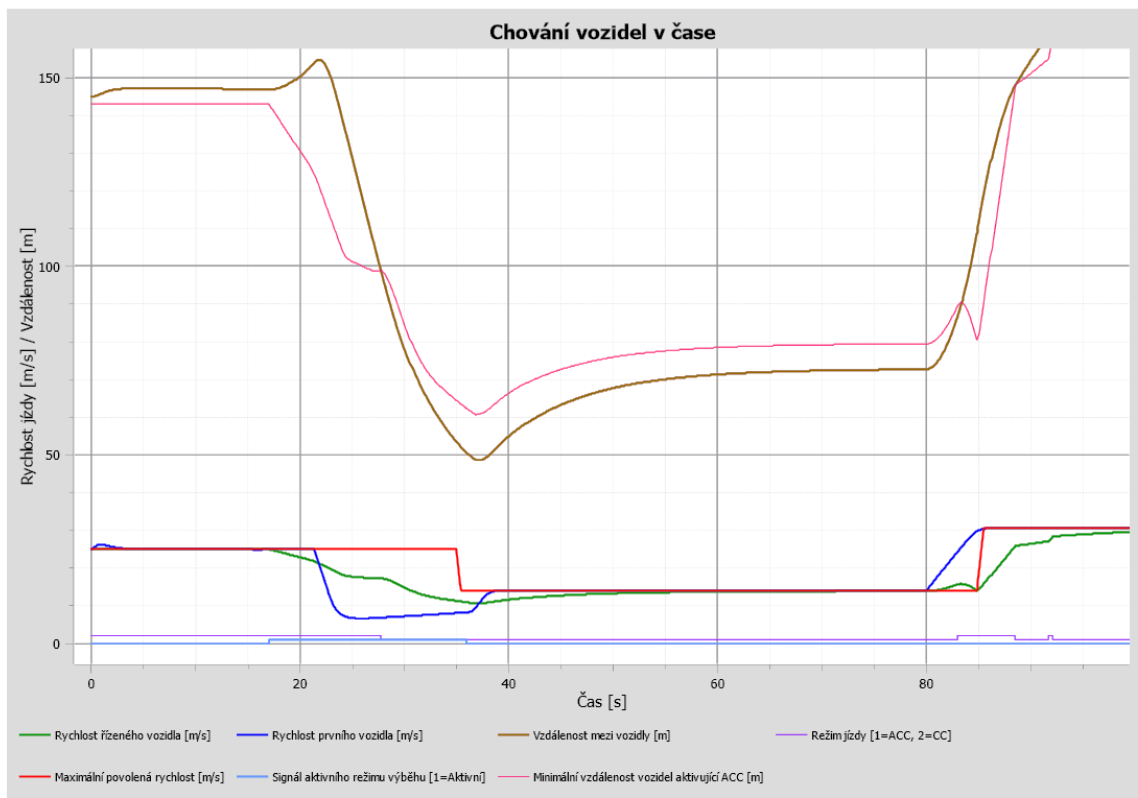
4.8. Výstup ze simulace scénáře č.3 pro Forbes model s univerzálním nastavením



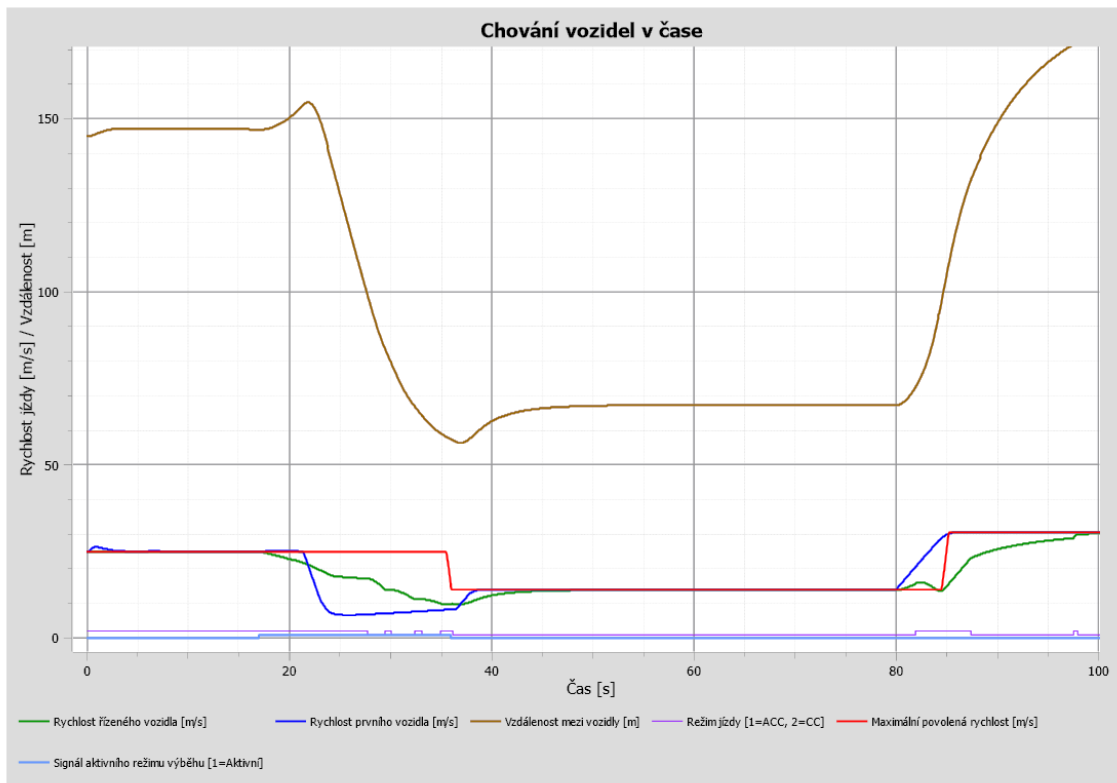
5.1. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=0.9$



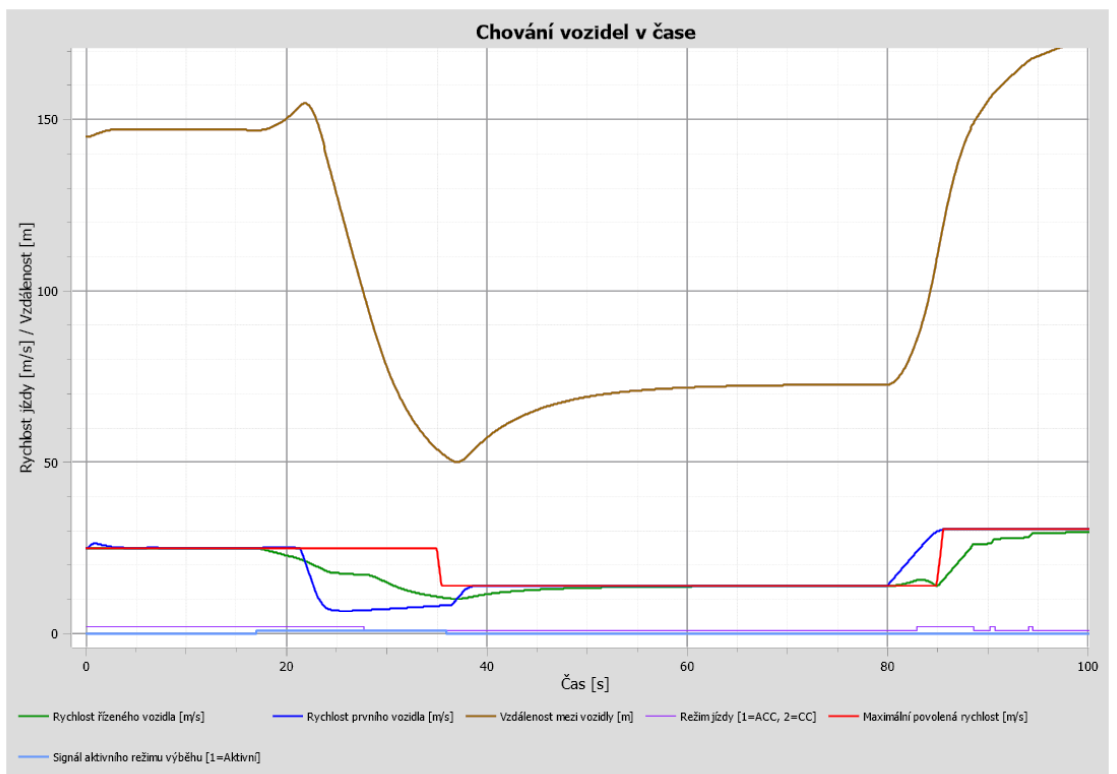
5.2. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro GM nonlinear model s citlivostí $\alpha=1.5$



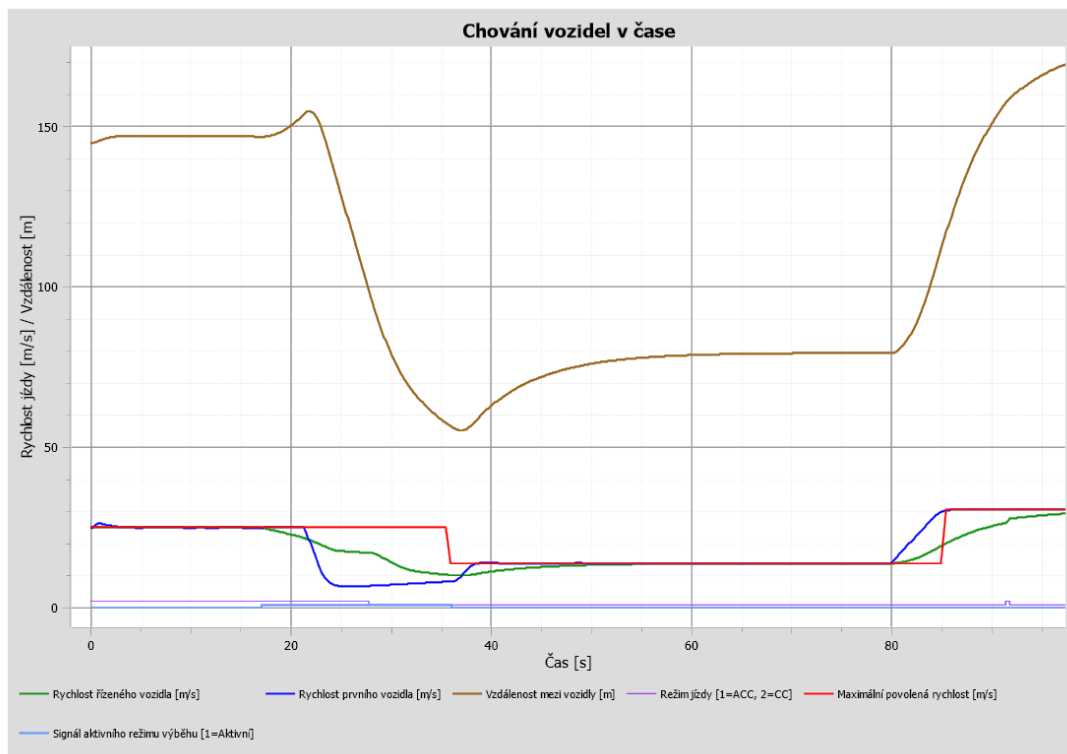
5.3. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=23$



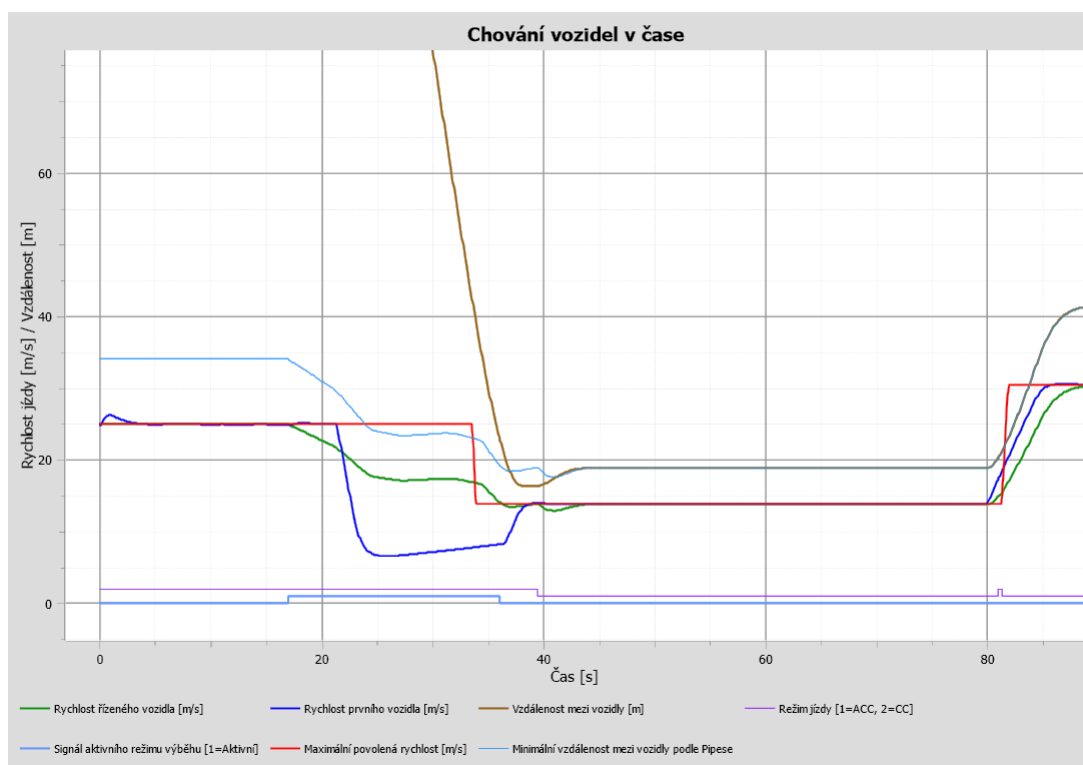
5.4. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Gazis model s citlivostí $\lambda=10$



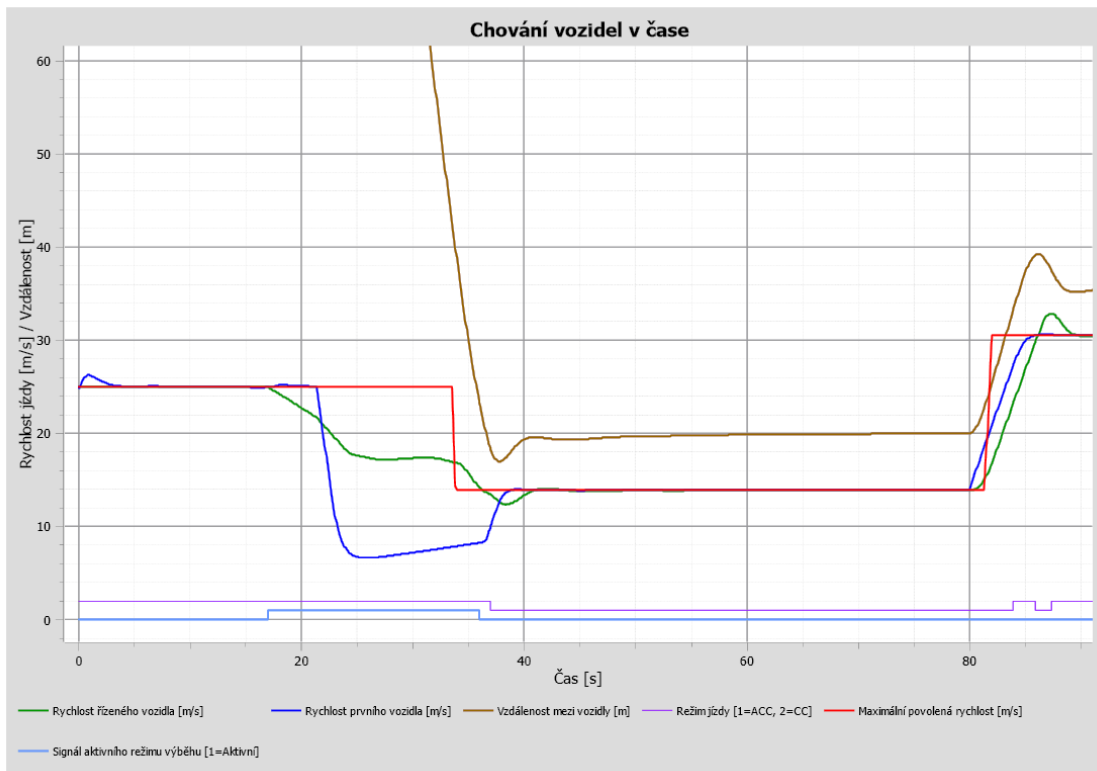
5.5. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Chandler-Hermann-M. model s citlivostí $\lambda=400$



5.6. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Pipes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru



5.7. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Forbes model s upraveným nastavením PID převodního regulátoru



5.8. Výstup ze simulace scénáře č.4 pro Forbes model s univerzálním nastavením

