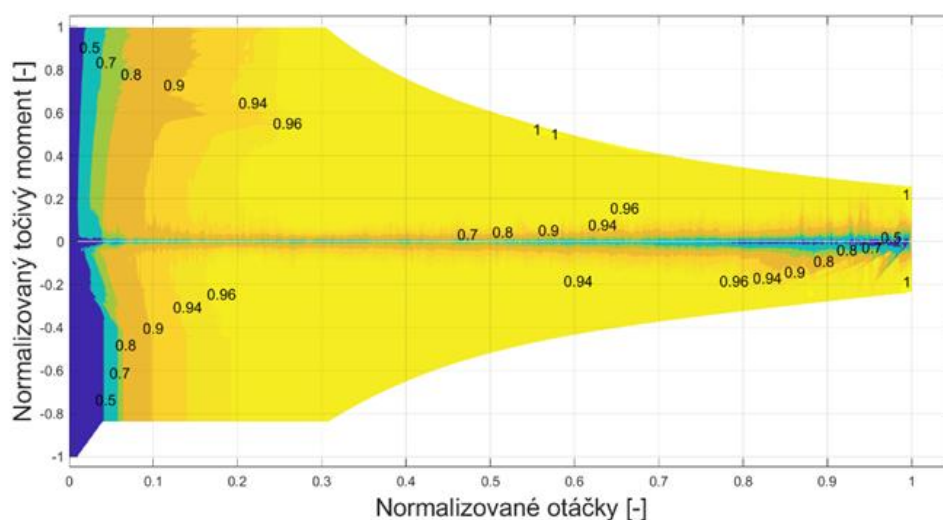


Energeticko-nákladový model vozidla pro zásobování plnicích stanic

R – Software



**Tento software je spolufinancován prostřednictvím Technologické agentury ČR v rámci
Národního plánu obnovy z evropského Nástroje pro oživení a odolnost**

NÁZEV VÝSLEDKU

Energeticko-nákladový model vozidla pro zásobování plnicích stanic

PROJEKT

Národní centrum vodíkové mobility (TN02000007)

NÁZEV DÍLČÍHO PROJEKTU

Podpůrný SW pro akceleraci zavádění vodíkové mobility

AUTOŘI

Josef Štětina (Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně)

AUTORSKÝ TÝM KONCEPČNÍCH MATERIÁLŮ K SOFTWARE

Josef Štětina, Pavel Charvát, Martin Zálešák (Vysoké učení technické v Brně)

Jan Přikryl (Výzkumné centrum RICE, Fakulta elektrotechnická, ZČU)

Bronislav Vahalík (Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.)



Obsah

1	Úvod	4
2	Dosavadní stav techniky	5
3	Novost řešení	6
4	Popis software.....	7
4.1	Konceptní materiály SW	7
4.1.1	Projížděná trasa	8
4.1.2	Grafické rozhraní.....	9
4.1.3	Implementace na MATLAB WebApp Serveru	9
4.2	Způsob přepravy vodíku.....	10
4.3	Přepravní vozidla (jízdni soupravy)	10
4.3.1	Nákladní automobil.....	11
4.3.2	Motorové vozidlo s přívěsem.....	11
4.3.3	Motorové vozidlo s návěsem	12
4.4	Pohonné jednotky vozidel.....	12
4.5	Analýza funkčních požadavků	16
4.6	Ukázka kódu	17
5	Ověření funkčnosti SW	19
6	Umístění SW	22
7	Způsob využití	22
8	Seznam příloh.....	23
9	Seznam obrázků	23
10	Seznam tabulek.....	23
	Reference	23

1 Úvod

Přeprava vodíku je nezbytnou součástí vodíkové dopravní infrastruktury (1). Ne vždy je možné vodík vyrábět přímo v místě vodíkových plnicích stanic, takže vzniká potřeba vodík přepravovat. Centralizovaná výroba vodíku umožňuje snížit náklady, případně emisní stopu výroby vodíku a tím lze kompenzovat náklady a emisní stopu spojenou s přepravou vodíku. S rozvojem vodíkové ekonomiky lze očekávat přepravu vodíku pomocí produktovodů, ale v současné době, a ve střednědobé budoucnosti, bude v podmínkách České republiky silniční doprava vodíku (2) nejčastějším způsobem přepravy vodíku z místa výroby k vodíkovým čerpacím stanicím. Tato skutečnost je hlavní motivací pro vývoj energeticko-nákladového modelu vozidla pro zásobování vodíkových plnicích stanic. V dohledné budoucnosti budou pro přepravu vodíku užívána nákladní vozidla s motory spalujícími fosilní paliva (především motorovou naftu). Proto jsou v energeticko-nákladového modelu tato vozidla uvažována jako základní scénář přepravy vodíku. V budoucnu lze očekávat elektrifikaci nákladní silniční dopravy. Proto vytvořený software umožňuje modelovat také přepravu vodíku elektrickými vozidly, a to jak bateriovými elektrickými vozidly, tak elektrickými vozidly s palivovými články. Vzhledem k nedostatku dat o provozních charakteristikách elektrických nákladních vozidel poskytuje model pro tento typ vozidel pouze orientační výsledky. S přibývajícím množstvím vstupních dat bude možné model dále zpřesňovat.

2 Dosavadní stav techniky

Vodík se používá k řadě účelů a jeho doprava po pozemních komunikacích, jak v kapalném, tak v plynném skupenství, je zvládnutá. Při zásobování plnicích vodíkových stanic kapalným vodíkem lze s pomocí jednoho motorového vozidla přepravovat poměrně velké množství vodíku, protože hustota kapalného vodíku je přibližně 71 kg/m^3 (teplota kapalného vodíku je -253 °C). Zkapalněný vodík se přepravuje v tepelně izolovaných nádržích při tlaku pouze několika atmosfér. Jedním motorovým vozidlem (jízdní soupravou) lze přepravovat až několik tisíc kilogramů kapalného vodíku. Přepravní vozidlo nebo plnicí stanice však musí být vybaveny zařízením pro zplyňování kapalného vodíku a následné stlačování plynného vodíku na vysoké tlaky. Zařízení pro výrobu vodíku, ze kterého se vodík dopravuje, musí mít možnost vodík zkapalňovat.

Při přepravě stlačeného plynného vodíku odpadá potřeba vodík zkapalňovat a následně zplyňovat, ale množství vodíku přepravovaného jedním motorovým vozidlem (jízdní soupravou) je podstatně menší. V plynném skupenství má vodík nízkou hustotu (0.083 kg/m^3 při atmosférickém tlaku a teplotě 20 °C). Efektivita dopravy se zvyšuje s rostoucím množstvím (hmotností) přepravovaného vodíku a z tohoto důvodu je výhodné přepravovat plynný vodík při co nejvyšších tlacích (hustotách). Stlačený vodík se přepravuje v tlakových nádobách, jejichž hmotnost je zpravidla mnohonásobně vyšší než hmotnost přepravovaného vodíku. Jednou z nejrozšířenějších nádob pro přepravu vodíku je ocelová tlaková lahev o objemu 50 litrů, ve které se vodík přepravuje při tlaku 20 MPa (200 bar). Hmotnost ocelové tlakové lahve je 60 až 70 kg (3) a hmotnost vodíku přibližně 0.75 kg. Z tohoto důvodu nejsou tyto lahve vhodné pro zásobování vodíkových plnicích stanic. Řada výrobců nabízí systémy pro přepravu plynného vodíku při tlacích až 50 MPa (500 bar). Při tlaku 50 MPa a teplotě 20 °C má vodík hustotu přibližně 31 kg/m^3 . Využitím kompozitních materiálů lze snížit hmotnost tlakových nádob pro přepravu vodíku a tím také efektivitu jeho přepravy. Jedním motorovým vozidlem (jízdní soupravou) lze za těchto podmínek přepravovat více než 1000 kg vodíku.

Z hlediska energeticko-nákladového modelu vozidla nemá skupenství přepravovaného vodíku, ani tlak přepravovaného vodíku, podstatný vliv. Model zohledňuje pouze energii a náklady spojené s přepravou vodíku, které se promítají do jednotkového množství přepravovaného vodíku. Náklady a energie spojené se zkapalňováním, zplyňováním a stlačováním vodíku model nezohledňuje.

3 Novost řešení

Vodíková mobilita je odvětvím, které je v současné době stále ještě na samém počátku svého rozvoje. Přestože existuje řada simulačních modelů pro různé oblasti vodíkové mobility, tyto modely nepokrývají veškerou problematiku. Navíc, jen málo modelů bylo validováno experimentálními data. Vytvořený energeticko-nákladový počítačový model vozidla pro zásobování vodíkových plnicích stanic zohledňuje množství parametrů a vstupních údajů a je koncipován tak, aby jej bylo možné v budoucnu validovat reálnými jízdními daty.

Základní vlastnosti modelu vozidla jsou uvedeny níže:

- Model vozidla “projíždí” reálnou trasu získanou z mapových podkladů (předpokládá se využití mapy České republiky vytvořená Centrem dopravního výzkumu, v. v. i., ale model je možné navázat také na jiné mapové podklady).
- Model reprezentuje konkrétní vozidlo (jízdní soupravu), se zahrnutím množství parametrů (rozměry, hmotnosti, charakteristiky pohonu, odporové charakteristiky apod.).
- U elektrických pohonů (bateriová elektrická vozidla, vozidla poháněná vodíkovými palivovými články) je uvažována rekuperace energie při brzdění.
- Model zohledňuje charakteristiku trasy (stoupání, klesání, rychlostní limity).
- Model zohledňuje jízdní styl řidiče (úsporná jízda, normální jízda, agresivní jízda).
- Pokud jsou k dispozici údaje o teplotě vzduchu a rychlosti a směru větru, dokáže je model při výpočtu zohlednit.

Unikátnost vyvinutého softwaru, tedy vysoká přesnost a zároveň vysoká rychlost výpočtu, je založena na unikátním a rychlém vyhledávání v tabulkách vstupních parametrů, které je spojeno s jejich interpolacemi a extrapolacemi.

4 Popis software

Vytvořený model je fyzikálním popisem pohybu vozidla po zadané trase. Jako vstupní údaje modelu je třeba zadat popis trasy a popis vozidla včetně nákladu.

4.1 Koncepční materiály SW

Software se skládá z následujících částí:

- Grafické rozhraní vytvořené v MATLAB App Designer (4)
- Výpočtový model vozidla pro přepravu vodíku
- Rozhraní webové aplikace přístupné přes MATLAB WebApp Server

Software je strukturován tak, aby umožnil efektivní výpočty a vizualizaci při simulaci přepravy vodíku v rámci dané trasy. Jeho architektura a design vycházejí z několika klíčových principů zaměřených na modularitu, flexibilitu a uživatelskou přívětivost.

Výpočtový model vozidla pro přepravu vodíku je implementován ve formě MATLAB skriptu, který zahrnuje komplexní algoritmy pro výpočet spotřeby vodíku na základě vstupních parametrů, jako jsou hmotnost vozidla, maximální povolená rychlost, topografie trasy a další faktory ovlivňující spotřebu. Vstupním parametrem do modelu vozidla je struktura „Vehicle,“ která v sobě zahrnuje parametry vozidla pro přepravu vodíku. Tyto parametry lze členit do následujících kategorií.

Aerodynamika

Vehicle.Aero.Cx = .29; % [-] Koeficient aerodynamického odporu

Vehicle.Aero.S = 1.815*(1.535-0.13); % [m^2] Čelní plocha vozidla

Vehicle.Aero.T = 20; % [°] Teplota

Vehicle.Aero.p = 980; % [hPa] Tlak

Vehicle.Aero.phi = 45; % [%] Vlhkost

Vehicle.Aero.ro = 1.3; % [kg/m^2] Hustota vzduch

Konfigurace

Vehicle.Config.Vehicle = 0; % 0 samo, 1 s vlekem 2 s navesem 3 s navesem i vlekem

Vehicle.Config.NuAxle = 2; % front wheel drive?

Vehicle.Config.NuDriveAxle = 1;

Hmotnosti

Vehicle.Weight.m_whole = 1945; % [kg] Celková hmotnost vozidla

Vehicle.Weight.m_empty = 1850; % [kg] Hmotnost prázdného vozidla

Vehicle.Weight.m_load = 0; % [kg] Náklad

Vehicle.Weight.m_fuel = 5 + 90; % [kg] Palivo + řidič

Vehicle.Weight.g = 9.81; % [m/s^2] Gravitational Constant

Motor

Vehicle.Engine.Vcil = 1040; % [cm^3]

Vehicle.Engine.wmin = 850; % [1/min]

Vehicle.Engine.Je = .08; % [kg.m²] Engine's Moment of Inertia
Vehicle.Engine.werpm = [1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3250, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500]; % [rpm]
Vehicle.Engine.mep = [5.985, 8.5785, 8.841, 9.3345, 9.513, 9.6705, 9.6075, 9.6285, 9.4815, 8.9250, 8.2530, 7.791, 7.119]; % [bar]
Vehicle.Engine.consupion = [300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0]; % [g/kWh] spotreba

Převody

Vehicle.Gear.Tf = 0.281; % [-] Differential Transmission Ratio
Vehicle.GearN = 6; % [-] % Počet převodových stupňů
Vehicle.Gears = [3.0, 2.22, 1.99, 1.22, 1.00, 0.92]; % převod
Vehicle.Permanent = 3.88; % převod
Vehicle.Gearefficiencyt = .9; % [-] Účinnost pohonu
Vehicle.Engine.ts = 1; % [s] % Time of Shifting Between Gears

Rozměry vozidla

Vehicle.Dimension.l = 2.92; % [m] Rozvor tažného vozidla
Vehicle.Dimension.a = 1.15; % [m] Horizontal Distance From Center of Gravity -> Front Wheel
Vehicle.Dimension.b = Vehicle.Dimension.l - Vehicle.Dimension.a; % [m] Horizontal Distance From Center of Gravity -> Rear Wheel
Vehicle.Dimension.hG = .5; % [m] Height of Center of Gravity

Pneumatiky

Vehicle.Tire.wheel_indication = '155/65R13'; % Wheel Indication (235/55R19 245/45R20)
Vehicle.Tire.R0 = 13*25.4/2 + .65*155; % [mm] % Wheel Radius
Vehicle.Tire.Re = .98*R0*10⁻³; % [m] % Wheel Effective Radius
Vehicle.Tire.Jw = 1.6; % [kg.m²] Wheels' Moment of Inertia

Odpory

alpha = atan(0:0.1:0.4); % [-] Angle of Inclination
Vehicle.Resistance.f0 = .013; % [-] Rolling Resistance Coefficient 1
Vehicle.Resistance.K = 6.51*10⁻⁶; % [s²/m²] Rolling Resistance Coefficient 2

Dalším vstupem do modelu vozidla jsou data z mapových podkladů. Trasa je segmentována po délce mezi křižovatkami. Pro každý ze segmentů trasy jsou zadány následující parametry:

4.1.1 Projížděná trasa

Trasa je získána z mapových podkladů a převedena na vstupní soubor pro výpočtový řešič. Model automobilu provádí výpočet po úsecích. Standardní úsek získaný z mapových podkladů tvoří trasa mezi křižovatkami. Model si úseky z mapy interně dělí na kratší úseky, aby bylo možné lépe postihnout dynamické chování vozidla. Z mapových podkladů jsou v současné verzi nástroje získávána následující data:

- Délka úseku [m]
- Maximální povolená rychlost na úseku [km/h]
- Kumulativní stoupání na úseku [m]
- Typ vozovky (kategorie)
 - ▪ 1 - dálnice I. třídy
 - ▪ 2 - silnice I. třídy
 - ▪ 3 - silnice II. třídy
 - ▪ 4 - silnice III. třídy
 - ▪ 5 - dálnice II. třídy
 - ▪ 6 - silnice pro motorová vozidla
 - ▪ 7 - ostatní komunikace
- Typ křižovatky na konci úseku
 - 1 = na úsek již nenavazuje další
 - 2 = nejedná se o křižovatku – pouze navazující úseky
 - 3 = křižovatka tří úseků

Na světelných křižovatkách, při odbočování doleva, při vjezdu na hlavní silnici apod., nejsou z mapy k dispozici údaje o aktuálním provozu. V důsledku dopravního značení, dopravní signalizace a dopravní situace může v takových případech dojít k zastavení vozidla a jeho následnému rozjezdu. To má vliv na spotřebu paliva a tím i provozních nákladů. Mezi jednotlivými úseky jsou proto v závislosti na typu křižovatky vygenerovány časové prodlevy (zastavení vozidla) založené statisticky na normálním rozdělení.

4.1.2 Grafické rozhraní

Grafické uživatelské rozhraní (GUI) bylo vytvořeno v prostředí MATLAB App Designer. Toto rozhraní poskytuje intuitivní a interaktivní platformu pro uživatele, kde mohou snadno zadávat potřebné parametry, vybrat požadované vozidlo, vybrat trasu a vizualizovat výsledky. Při přepnutí typu vozidla dojde k výměně parametrů uvnitř struktury Vehicle tak, aby odpovídaly danému způsobu přepravy. Analogicky při přepnutí trasy dojde k výměně mapových podkladů.

4.1.3 Implementace na MATLAB WebApp Serveru

Rozhraní webové aplikace bylo realizováno prostřednictvím MATLAB WebApp Serveru, což umožňuje snadnou distribuci a přístup k aplikaci přes běžný webový prohlížeč bez nutnosti instalace specializovaného softwaru na straně uživatele. Tento přístup výrazně usnadňuje správu aplikace, protože aktualizace a údržba jsou centralizovány.

MATLAB WebApp Server je navržen tak, aby zajistil kompatibilitu aplikace s různými operačními systémy, platformami a zařízeními, což přináší uživatelům maximální flexibilitu. Bez ohledu na to, zda uživatel přistupuje k aplikaci z počítače, tabletu nebo telefonu, je zajištěna konzistentní uživatelská zkušenost. Kromě toho WebApp Server podporuje bezpečnostní protokoly, které chrání data a integritu aplikací při přenosu i během jejich provozu.

4.2 Způsob přepravy vodíku

Vodík je možné přepravovat v kapalném skupenství nebo jako stlačený plyn. Z hlediska modelu vozidla pro přepravu vodíku není v obou způsobech zásadní rozdíl. Pro potřeby zásobování vodíkových plnicích stanic v České republice je uvažováno s přepravou stlačeného plynného vodíku. Na trhu existuje řada systému pro tento způsob přepravy. Parametry těchto systému se promítají do popisu vozidla (rozměry, hmotnost, součinitel aerodynamického odporu apod.). Jako ukázkou lze uvést systém firmy UMOE Advanced Composites, který pro přepravu vodíku využívá kompozitové tlakové nádoby. Systém je modulární, založený na standardních (ISO) velikostech přepravních kontejnerů. Kapacity modulů při různých tlacích jsou uvedeny v Tabulka 1.

Tabulka 1: Přepravní moduly pro vodík (5)

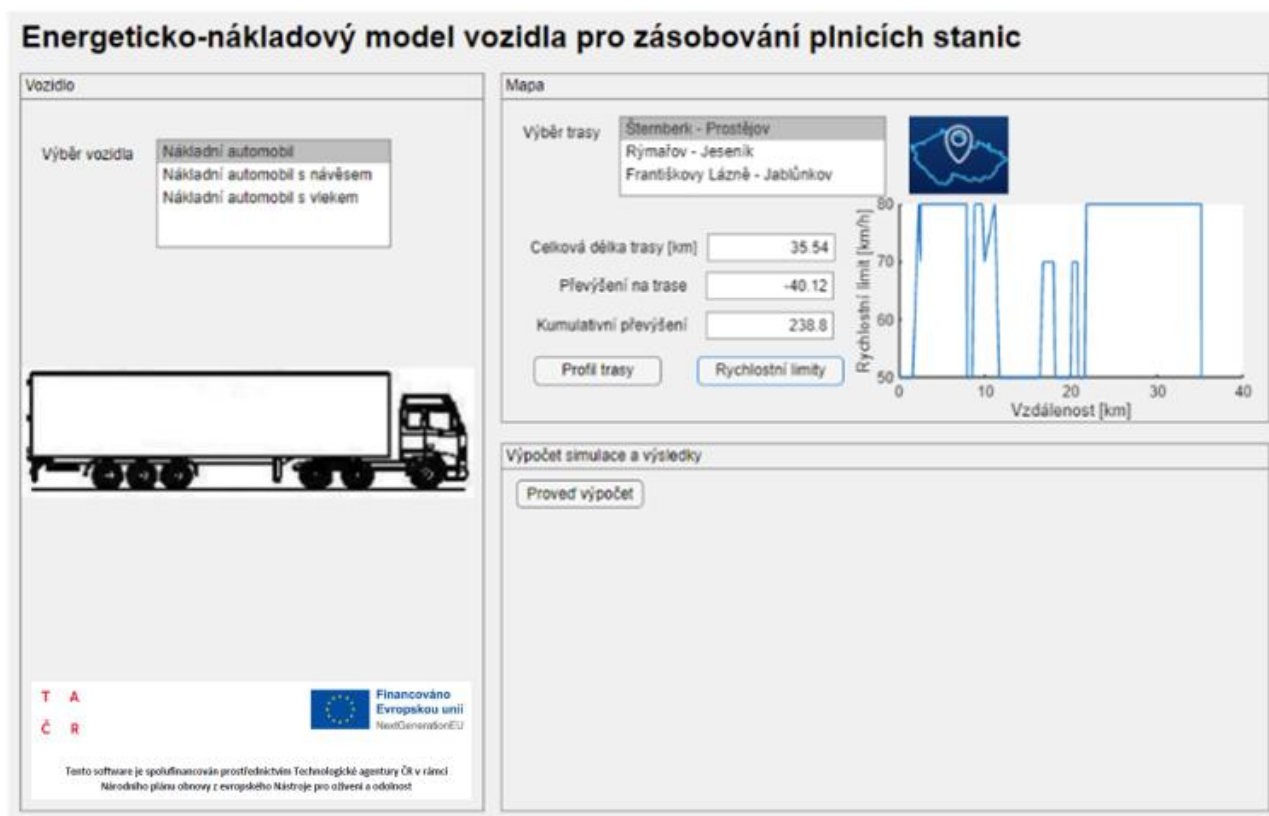
Container size	Unit	20' Hook MEGC Standard	20' ISO Standard	20' ISO High Cube	40' ISO Standard	40' ISO High Cube	45' ISO Standard	45' ISO High Cube
Number of cylinders	#	9	9	11	18	22	18	22
Cylinder volume	l	1 650	1 650	1 650	1 700	1 700	1 925	1 925
Total storage volume (Wc)	l	14 850	14 850	18 150	30 600	37 400	34 650	42 350
Storage capacity (Wp 200 bar)	kg	222	222	271	457	558	517	632
Storage capacity (Wp 250 bar)	kg	269	269	329	555	678	628	768
Storage capacity (Wp 300 bar)	kg	314	314	383	647	791	732	895
Storage capacity (Wp 350 bar)	kg	356	356	435	734	897	831	1 016

4.3 Přepravní vozidla (jízdní soupravy)

Uvažované přepravní možnosti vycházejí z předpisů pro rozměry vozidel (6). V České republice je maximální délka motorového vozidla omezena na 12 m. Jízdní souprava motorového vozidla s návěsem je délkově omezena na 16,5 m a maximální povolená délka jízdní soupravy motorového vozidla s jedním přívěsem je 18,75 m. Přeprava vodíku malými vozidly je neekonomická, a proto jsou jako základní volba uvedeny výše zmíněné možnosti. Pro ilustraci jsou v této kapitole uvažovány přepravní možnosti v kombinaci se systémem pro přepravu stlačeného vodíku z Tabulka 1. V modelu lze obecně uvažovat různá množství přepravovaného vodíku, ale model nekontroluje, jestli je taková přeprava reálně možná. Je zde pouze omezení na celkovou hmotnost vozidla/jízdní soupravy ve smyslu platných předpisů.

4.3.1 Nákladní automobil

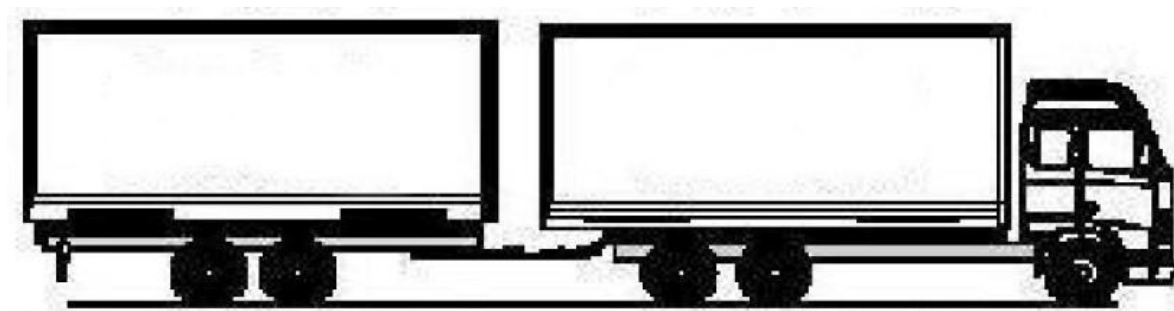
Samotný nákladní automobil (Obrázek 1) umožňuje přepravovat pouze omezené množství vodíku. V případě modulárního systému z Tabulka 1 může nákladní automobil přepravovat jeden kontejner o délce 6 m (20 stop). V případě standardního ISO kontejneru a tlaku vodíku 350 bar to představuje 356 kg vodíku. V případě vysokého kontejneru a tlaku přepravovaného vodíku 350 bar se přepravovaná hmotnost vodíku zvýší na 435 kg. Použití samotného nákladního automobilu by mělo smysl při prostorově omezeném (délkou jízdní soupravy) přístupu k plnicí stanici. V budoucnu se mohou objevit nové systémy pro přepravu vodíku, které hmotnost přepravovaného vodíku zvýší.



Obrázek 1: Nákladní automobil (maximální délka do 12 m)

4.3.2 Motorové vozidlo s přívěsem

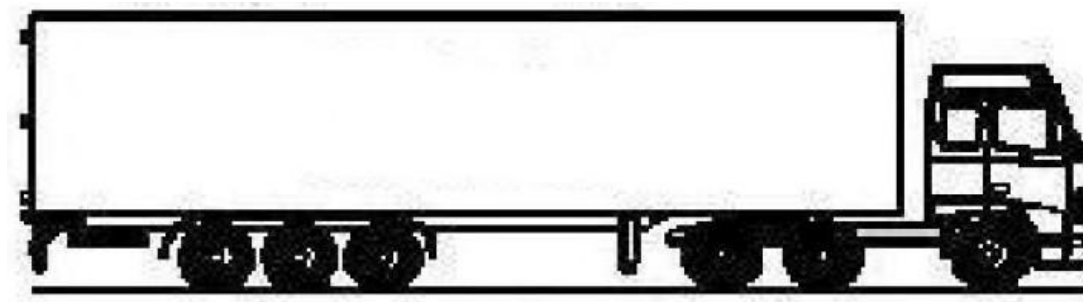
V případě jízdní soupravy složené z motorového vozidla a přívěsu (Obrázek 2) lze pro modulární systém z Tabulka 1 přepravovat dva kontejnery o délce 6 m. Pro standardní rozměry ISO kontejnerů se tak množství přepravovaného vodíku zvýší až na 712 kg a pro vysoké kontejnery až na 870 kg.



Obrázek 2: Motorové vozidlo s přívěsem (maximální délka do 18,75 m)

4.3.3 Motorové vozidlo s návěsem

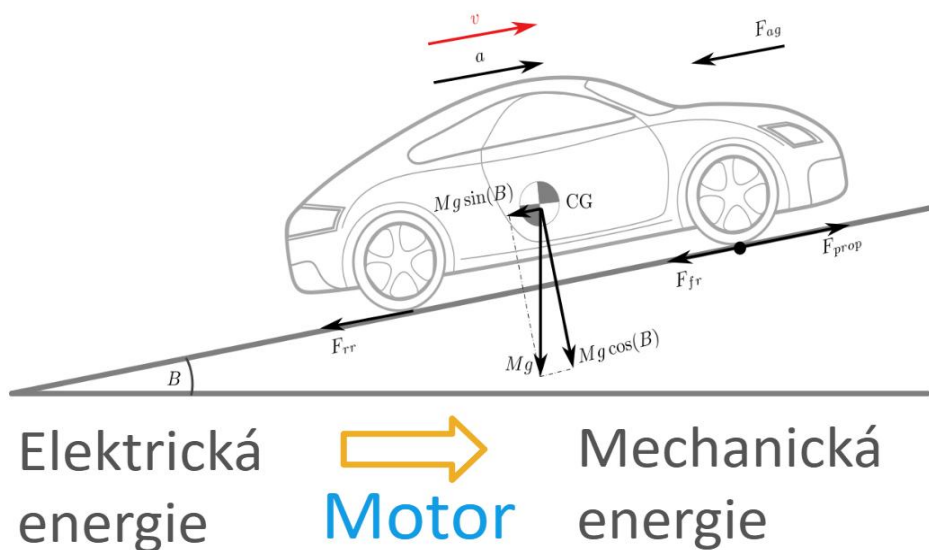
Přestože je maximální povolená délka jízdní soupravy motorového vozidla s návěsem kratší (16,5 m), než u motorového vozidla s přívěsem (18,75 m) umožňuje tato jízdní souprava (Obrázek 3), v případě modulárního systému z Tabulka 1, přepravovat největší hmotnost vodíku a to až 1016 kg v případě modulu o rozměrech vysokého kontejneru s délkou 45 stop.



Obrázek 3: Motorové vozidlo s návěsem (maximální délka do 16.5 m)

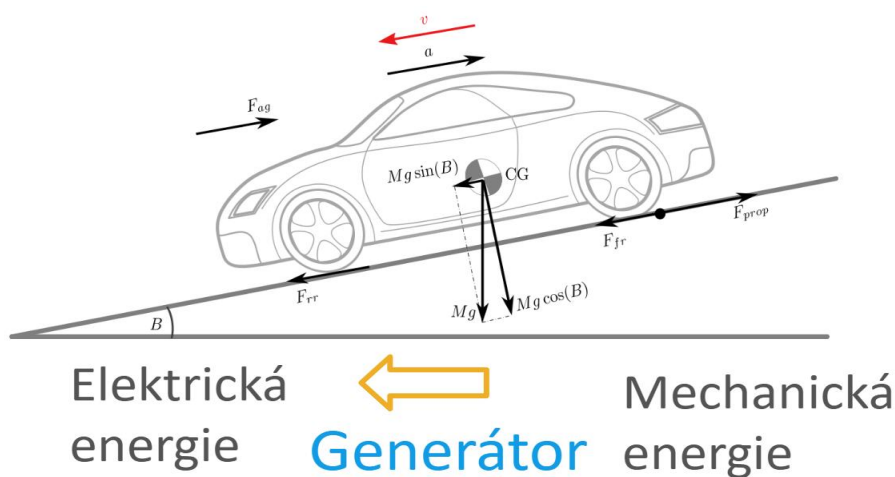
4.4 Pohonné jednotky vozidel

Z důvodu efektivity přepravy jsou pro přepravu vodíku uvažována pouze motorová vozidla a jízdní soupravy s celkovou hmotností nad 12 tun (kategorie N3/O3). Základním typem motoru uvažovaným u vozidla pro přepravu vodíku je vznětový spalovací motor. Alternativně jsou uvažovány elektrické nebo elektrizované pohony. V případě, že vozidlo používá elektrický pohon, hybridní pohon nebo pohon palivovými články, software umožňuje modelovat generátorický chod. U bateriových elektrických vozidel je energie dodávána pouze z baterie, u vodíkových elektrických vozidel je energie dodávána palivovými články, s baterií jako krátkodobým úložištěm energie pro vyrovnání rozdílů mezi okamžitým příkonem elektromotoru a okamžitým výkonem palivových článků. Ukázka sil působící na vozidlo v případě, že elektrický pohon pracuje v motorovém režimu je na Obrázek 4.



Obrázek 4: Jízdní odpory, které musí překonávat pohon vozidla

Ukázka sil působících na vozidlo v případě, že elektrický pohon pracuje v motorovém režimu je na Obrázek 5.



Obrázek 5: Jízdní odpory, které způsobují generování energie

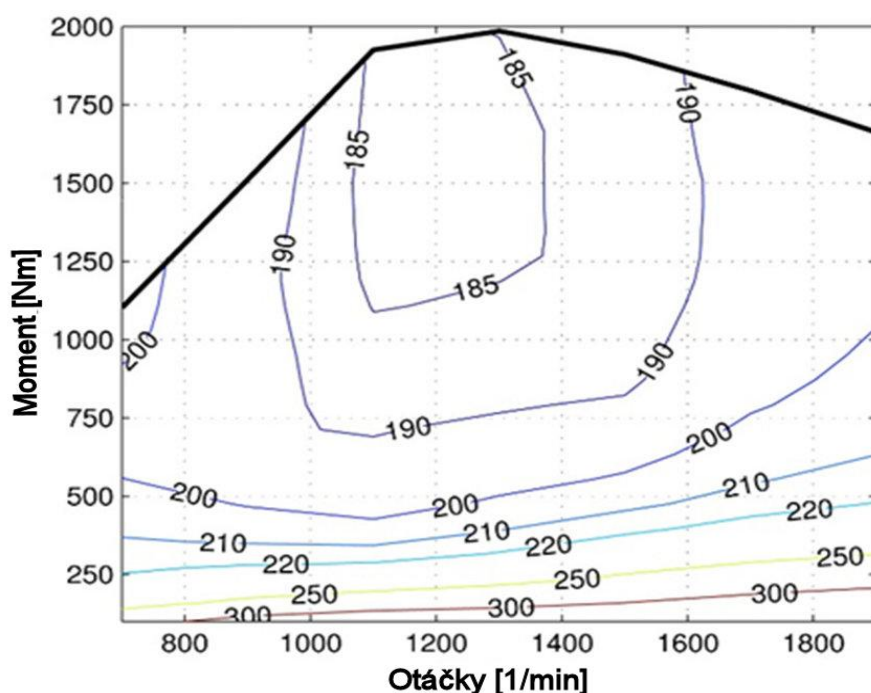
Základní pohonnou jednotkou uvažovanou pro motorová vozidla přepravující vodík je vznětový motor. Výpočet spotřeby paliva probíhá na základě motorové mapy pro aktuální zatížení motoru při průjezdu trasy.

V budoucnu lze uvažovat o přepravě nákladními vozidly s elektrickým pohonem jak s bateriemi, tak i palivovými články nebo se spalovacím motorem na vodík, v provedení zážehového motoru.

Charakteristiky pohonů jsou obtížně dostupné, proto má software integrované typické mapy pohonů ve formě tabulek, které se naplňují off-line z podrobných modelů vozidel zpracovaných v software GT suite. Celý proces tvorby map pohonů je automatizovaný jako součást softwaru, ale je určen pouze pro správce systému.

Tyto kompletní mapy motorů umožňují stanovit spotřebu paliva nebo účinnost motoru v celém jeho provozním rozsahu. Pro každý použitý motor používá software vlastní modelovací nástroj, který kombinuje údaje z měření, data výrobce a model v GT suite integrované do konzistentních, publikovatelných úplných map motoru.

U spalovacích motorů je zvykem používat jako měřítko účinnosti měrnou spotřebu paliva, zatímco u elektrických vozidel je to účinnost elektromotoru. Proto software obsahuje nástroj, které zadané mapy pohonů znormuje a přepočte do podoby účinnosti v tabelární podobě. Příklad motorové mapy těžkého nákladního vozidla je na Obrázek 6. Příklad konverzní účinnosti paliva je v Tabulka 2. V závislosti na aktuálním zatížení lze pomocí tabulky konverzních účinností získat okamžitou spotřebu paliva. Integrací okamžité spotřeby paliva je následně získána celková spotřeba paliva (energie) a podle ceny paliva (energie) také příslušné náklady.

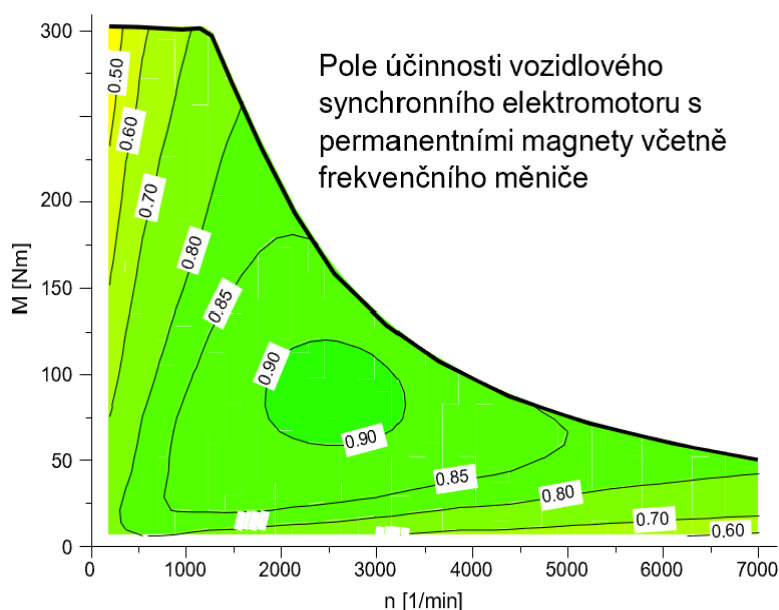


Obrázek 6: Příklad mapy motoru IVECO Cursor 13 pro těžké nákladní automobily

Tabulka 2: Konverzní účinnosti paliva

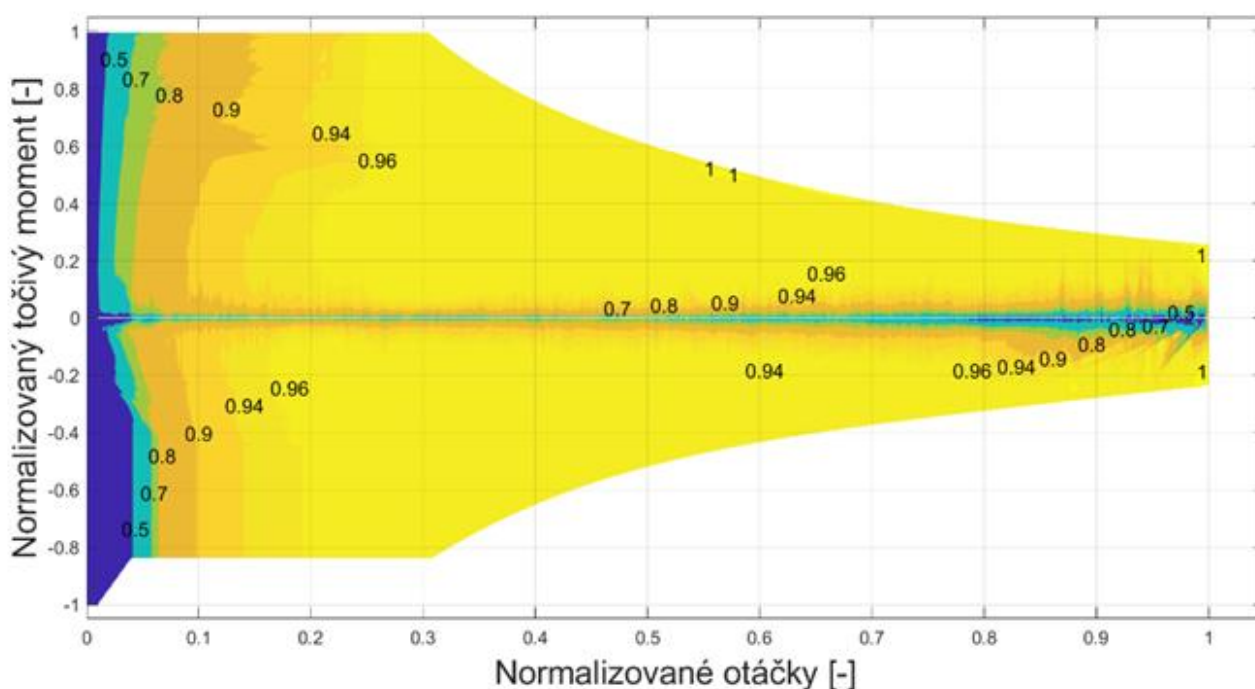
Fuel conversion efficiency [%]	Engine torque [Nm]	15.6	31.2	46.8	62.4	78	93.6	109.2	124.8	140.4	156	171.6
	MEP [bar]	1.03	2.06	3.09	4.12	5.16	6.19	7.22	8.25	9.28	10.31	11.34
Engine speed [rpm]	500	13.53	18.72	22.35	25.02	27.08	26.45	27.40	25.57	28.77	28.77	28.77
	1000	13.54	20.55	24.62	26.92	29.13	28.95	29.32	29.13	28.77	28.77	28.77
	1500	13.54	20.37	23.98	27.08	29.51	31.53	32.56	33.60	32.88	28.77	28.77
	2000	13.95	20.92	24.75	27.56	30.09	31.97	33.85	33.85	33.36	31.53	28.77
	2500	14.85	21.71	25.86	29.13	31.10	33.60	33.85	33.85	33.85	32.42	28.77
	3000	15.87	22.68	26.61	29.70	31.53	32.42	33.36	33.85	33.85	31.97	28.77
	3500	17.70	24.36	28.77	29.51	29.89	30.98	31.97	33.36	33.36	31.53	28.77
	4000	15.87	23.25	26.10	27.24	29.32	30.09	31.53	32.65	31.53	31.10	28.77
	4500	15.34	21.12	23.58	26.15	28.24	29.70	30.49	30.69	30.36	30.09	28.77
	5000	12.11	17.98	21.92	24.88	27.08	29.13	29.25	29.70	29.28	29.13	28.77
	5500	10.96	16.21	19.67	22.68	25.29	28.07	27.73	28.07	28.42	28.59	28.77
	6000	10.96	15.66	19.18	22.13	24.75	26.46	27.73	28.07	28.42	28.77	28.77

Podobně jako u spalovacích motorů, je u elektromotorů mechanický výkon funkcí krouticího momentu a otáček. Příklad momentové charakteristiky elektromotoru se zobrazením účinnosti elektrického pohonu je na Obrázek 7.



Obrázek 7: Příklad mapy elektrického pohonu

Jak již bylo uvedeno, elektropohony mají možnost rekuperace, a proto je nezbytné mít mapu pohonu také pro záporné momenty. V případě elektrických pohonů musí software navíc řešit přepínání mezi brzděním elektromotorem a hydraulickými brzdami. To je vidět na přiložené mapě, kde záporné, tzv. brzdné momenty, jsou omezeny čarou zásahu brzd vozidla (Obrázek 8).



Obrázek 8: Příklad momentové mapy elektrického pohonu

Důležitou součástí výpočetního software je přepočítání momentů a otáček z pohonu na kola vozidla. Součástí vstupních parametrů vozidla musí být převodové ústrojí (převodové stupně, stálý převod a rozměry hnacích kol viz 4.1).

4.5 Analýza funkčních požadavků

Software umožňuje uživatelům, bez detailních znalostí nebo přístupu k podrobným informacím, modelovat přepravu vodíku různými typy vozidel. Modely vozidel obsahují parametry konkrétních vozidel dostupných na trhu nebo vozidel připravovaných výrobcem. Základní myšlenkou je nabídnout uživatelům výběr z databáze vozidel, bez toho, aby uživatelé museli zadávat detailní charakteristiky vozidla. Vzhledem k tomu, že je software koncipován jako webová aplikace, je možné databázi vozidel průběžně rozšiřovat. Základní rysy software jsou uvedeny níže.

Interaktivní a uživatelsky přívětivé prostředí

- Webová dostupnost: Uživatelé mohou přistupovat k simulaci odkudkoliv bez nutnosti instalace softwaru.
- Modularita: Možnost přizpůsobit nástroje a zobrazení podle potřeb konkrétních uživatelů (výrobci vozidel, fleet manažeři, akademická sféra).
- Vizualizace výsledků: Pokročilé grafy a mapy, které umožňují analyzovat data v reálném čase.

Integrace s mapovými podklady

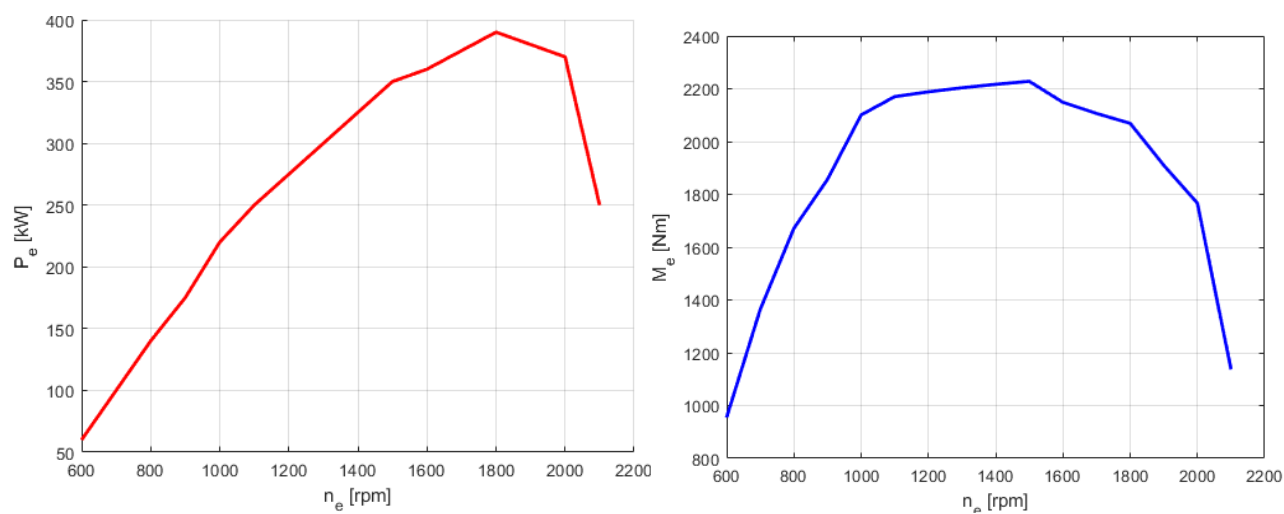
- Plánování tras přepravy vodíku. Využití pro optimalizaci tras a typu přepravních vozidel.

4.6 Ukázka kódu

Níže je uvedena část kódu sloužící pro vykreslení maximálního výkonu a momentu uvažovaného motoru vozidla. Závislosti maximálního výkonu a kroutícího momentu jsou uvedeny na Obrázek 9.

```
%% VÝPOČET MAXIMÁLNÍHO VÝKONU DOSTUPNÉHO NA KOLECH.
% Definice otáček a MEP podle zadání v mapě motoru
% werpm = [1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3250, 3500, 4000, 4500,
5000, 5500, 6000, 6500]; % [1/min]
werpm = [600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400, 1500,
1600, 1700, 1800, 1900, 2000, 2100];
we = % [rad/s]
(2*pi/60).*werpm;

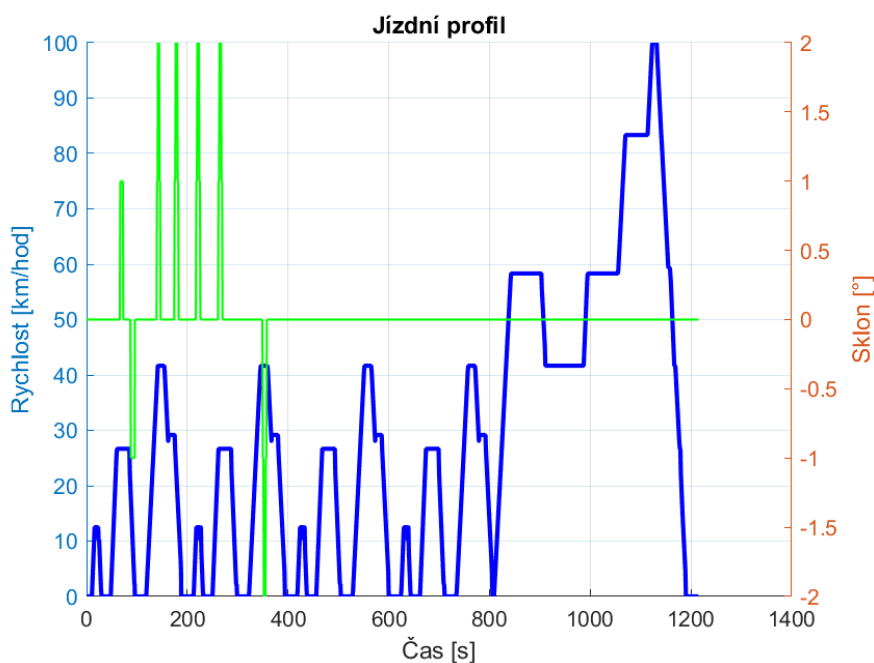
% mep = [5.985, 8.5785, 8.841, 9.3345, 9.513, 9.6705, 9.6075, 9.6285,
9.4815, 8.9250, 8.2530, 7.791, 7.119]; % [bar]
Me = [954.9, 1364.2, 1671.1, 1856.8, 2100.8, 2170.3, 2188.4, 2203.7,
2216.8, 2228.2, 2148.6, 2106.5, 2069.0, 1909.9, 1766.6, 1136.8];
% Použití čtyřtakového motoru
k = .5;
LenCharakteristic = length(werpm);
% Deklarovat vektory Pe a Me jako nuly
Pe = zeros(LenCharakteristic, 1);
mep = zeros(LenCharakteristic, 1);
for i = 1:LenCharakteristic
    Pe(i) = we(i) * Me(i);
    mep(i) = Pe(i) / (.1*k*VolumeEngine*we(i)/(2*pi));
end
% Načrtněte požadované grafy v části II
figure;
hold on;
%subplot(2, 2, 1);
plot(werpm, Pe/1000.0, '-r', 'linewidth', 2);
xlabel('n_e [rpm]');
ylabel('P_e [kW]');
title('Výkon vs Otáčky');
grid on;
saveas(gcf, 'Vykon.png');
figure;
%subplot(2, 2, 2);
plot(werpm, Me, '-b', 'linewidth', 2);
xlabel('n_e [rpm]');
ylabel('M_e [Nm]');
title('Moment vs Otáčky');
grid on;
saveas(gcf, 'Moment.png');
```



Obrázek 9: Maximální dostupný výkon a krouticí moment v závislosti na otáčkách

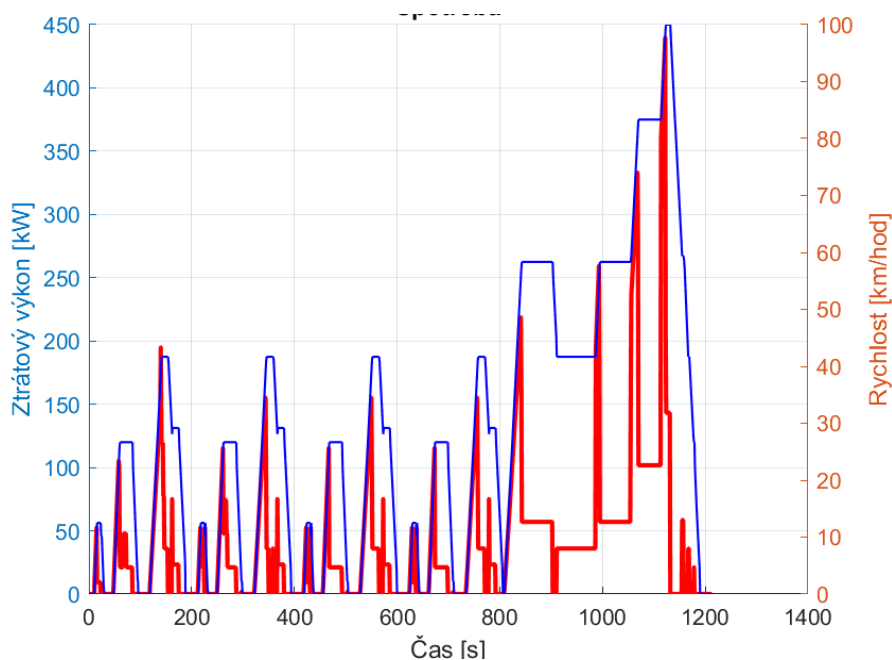
5 Ověření funkčnosti SW

Funkčnost softwaru byla ověřena na NEDC (New European Driving Cycle) cyklu. Tento cyklus se skládá se ze dvou fází: městské (UDC) s častými zastávkami a rozjezdy a mimoměstské (EUDC) s vyššími rychlostmi. Celkově trvá 20 minut, pokrývá 10 km, a má průměrnou rychlost 33 km/h. Jízdní profil v závislosti na čase je na Obrázek 10. Standardní testovací cykly NEDC a WLTP jsou určeny pro osobní a lehká užitková vozidla. Pro přepravu vodíku se používají těžká nákladní vozidla a jízdní soupravy, pro které neexistuje jednotná mezinárodní metodika testování z hlediska spotřeby energie. NEDC cyklus se už pro testování osobních a lehkých užitkových vozidel nepoužívá, ale v současnosti používaný WLTP cyklus uvažuje vyšší hodnoty zrychlení a vyšší rychlosti (130 km/hod), které jsou méně realistické v případě nákladních vozidel a jízdních souprav. WLTP navíc zohledňuje spotřebu palubních systémů vozidel (např. klimatizace), které software v současné verzi neřeší.

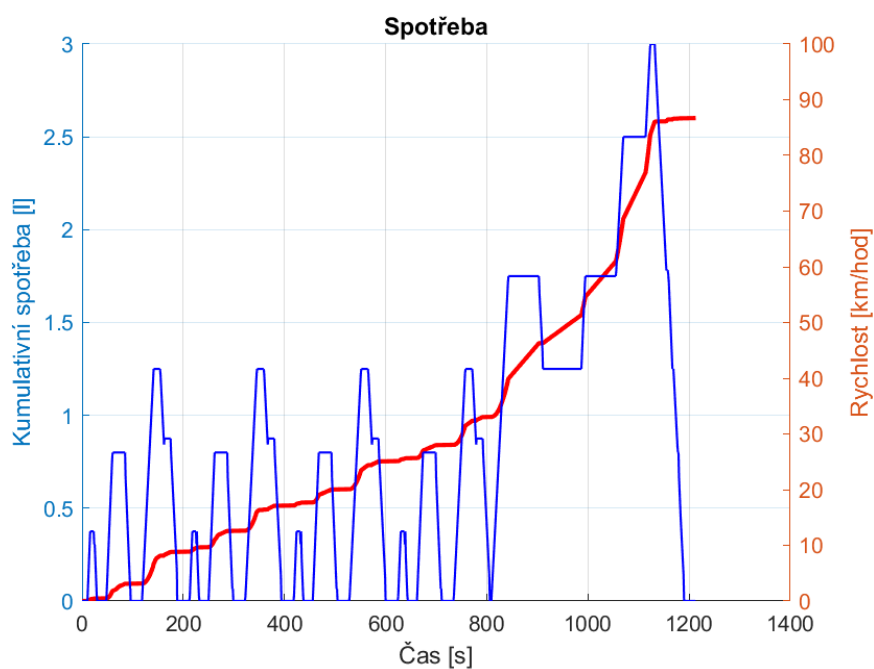


Obrázek 10: Průběh rychlosti a sklonu trasy v závislosti na čase

Graf na Obrázek 11 ukazuje potřebný výkon a rychlosti nákladního vozidla se vznětovým motorem v závislosti na čase. Z grafu je zřejmé, že největší okamžitá spotřeba paliva je v průběhu akcelerace vozidla. Na Obrázek 12 je zobrazena kumulativní spotřeba paliva na trase. Z průběhu kumulativní spotřeby paliva je opět zřejmý nárůst spotřeby při akceleraci. Pro přesnost výsledků odtud vyplývá důležitost přesného popisu trasy včetně změn rychlostních limitů a zastavení vozidla (světelné křižovatky, odbočování vlevo apod.).

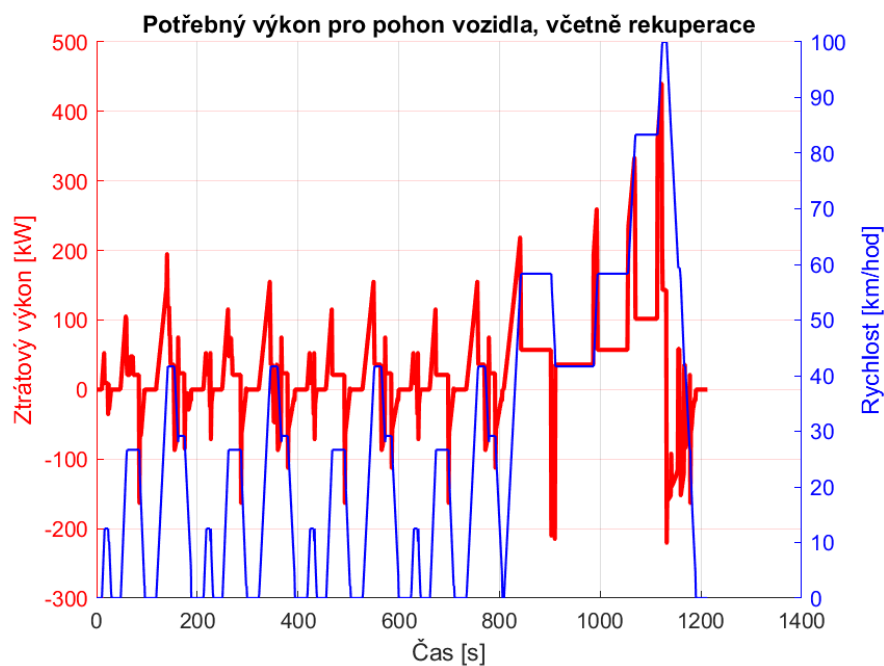


Obrázek 11: Okamžitý potřebný výkon pohonu vozidla se vznětovým motorem

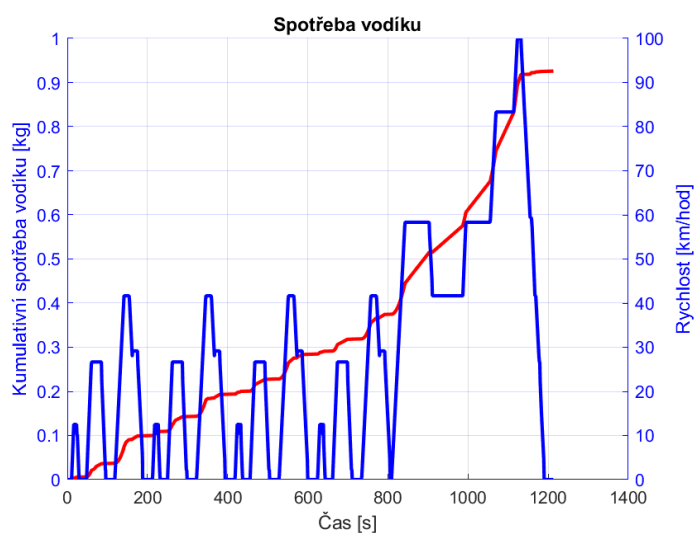


Obrázek 12: Kumulativní spotřeba paliva vozidla se vznětovým motorem

Na Obrázek 13 je potřebný výkon pro nákladní automobil poháněný palivovými články. Na rozdíl od nákladního automobilu poháněného vznětovým spalovacím motorem je v tomto případě možné při brždění část energie rekuperovat (získat zpět) s využitím baterie. Kumulativní spotřeba vodíku je znázorněna v grafu na Obrázek 14.



Obrázek 13: Okamžitý potřebný výkon pohonu vozidla s palivovými články



Obrázek 14: Kumulativní spotřeba paliva vozidla s palivovými články

6 Umístění SW

Software je dostupný přes webovou stránku <https://mws.fme.vutbr.cz/>. Pro použití softwaru je nutný přístupový kód. Počet přístupových kódů je limitován z důvodu výpočetní náročnosti modelu se snahou eliminovat útoky DDoS, ke kterým docházelo při zkušebním provozu software.

7 Způsob využití

Energeticko-nákladový model vozidla slouží primárně jako jeden modul v rámci podpůrného SW pro akceleraci zavádění vodíkové mobility. Model je závislý na mapových podkladech (trase). Model využívá parametry trasy načtené ze souboru. Model projíždí trasu a na základě specifikací vozidla a nákladu (přepravovaného vodíku) poskytuje informace o spotřebě energie a nákladech na přepravu. Tyto výstupní údaje budou dále zahrnuty v analýzách ostrovního provozu vodíkové infrastruktury, kterou vozidlo zásobuje.

Využití softwaru se očekává také v oblasti výuky, kde lze poměrně názorným způsobem demonstrovat provozní charakteristiky nákladních vozidel s různým typem pohonu. Výpočtové modely, které jsou součástí software, mohou být dále rozvíjeny a zdokonalovány v rámci diplomových nebo disertačních prací. Současná verze softwaru přímo nezohledňuje spotřebu energie palubních systémů, jako je např. klimatizace. U těžkých nákladních vozidel je energie potřebná na klimatizaci kabiny relativně malá v porovnání s energií potřebnou na pohon vozidla.

8 Seznam příloh

Příloha 1: Videosoubor se záznamem funkčnosti

- [Model nákladního vozidla se vznětovým spalovacím motorem](#)
- [Model nákladního vozidla s vodíkovými palivovými články](#)

Příloha 2: Uživatelská příručka pro energeticko-nákladový model vozidla pro zásobování plnicích stanic

Viz níže.

9 Seznam obrázků

Obrázek 1: Nákladní automobil (maximální délka do 12 m)	11
Obrázek 2: Motorové vozidlo s přívěsem (maximální délka do 18,75 m)	12
Obrázek 3: Motorové vozidlo s návěsem (maximální délka do 16.5 m)	12
Obrázek 4: Jízdní odpory, které musí překonávat pohon vozidla	13
Obrázek 5: Jízdní odpory, které způsobují generování energie	13
Obrázek 6: Příklad mapy motoru IVECO Cursor 13 pro těžké nákladní automobily	14
Obrázek 7: Příklad mapy elektrického pohonu	15
Obrázek 8: Příklad momentové mapy elektrického pohonu	16
Obrázek 9: Maximální dostupný výkon a kroutící moment v závislosti na otáčkách	18
Obrázek 10: Průběh rychlosti a sklonu trasy v závislosti na čase	19
Obrázek 11: Okamžitý potřebný výkon pohonu vozidla se vznětovým motorem	20
Obrázek 12: Kumulativní spotřeba paliva vozidla se vznětovým motorem	20
Obrázek 13: Okamžitý potřebný výkon pohonu vozidla s palivovými články	21
Obrázek 14: Kumulativní spotřeba paliva vozidla s palivovými články	21

10 Seznam tabulek

Tabulka 1: Převážné moduly pro vodík (5)	10
Tabulka 2: Konverzní účinnosti paliva	15

Reference

1. **Parolin F., Colbertaldo P., Campanari S.** Optimal design of hydrogen delivery infrastructure for multi-sector end uses at regional scale. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024, Sv. 79, pp. 839-849.
2. **Fragiacomo P., Genovese M., Piraino P., Massari F., Boroomandnia M.** Analysis of a distributed green hydrogen infrastructure designed to support the sustainable mobility of a heavy-duty fleet. *International Journal of Hydrogen Energy*. 2024, Sv. 51, Part D.

3. Air Liquide. [Online] <https://specialty.airliquide.co.uk/product/hydrogen-5-0-501/?industry=oil-and-gas>.
4. The MathWorks, Inc. MATLAB® App Building. [Online] 2024. https://www.mathworks.com/help/pdf_doc/matlab/creating_guis.pdf.
5. UMOE Advanced Composites. [Online] <https://www.uac.no/container-transportation-solutions/hydrogen/>.
6. *Sb., Vyhláška č. 209/2018*. 2018, Vyhláška o hmotnostech, rozměrech a spojitelnosti vozidel.

Příloha 2 – Manuál k software Energeticko-nákladový model vozidla pro zásobování plnicích stanic

Představení software

Vodík se používá k řadě účelů a jeho doprava po pozemních komunikacích, jak v kapalném, tak v plynném skupenství, je zvládnutá. Při zásobování plnicích vodíkových stanic kapalným vodíkem lze s pomocí jednoho motorového vozidla přepravovat poměrně velké množství vodíku, protože hustota kapalného vodíku je přibližně 71 kg/m³ (teplota kapalného vodíku je -253 °C). Zkapalněný vodík se přepravuje v tepelně izolovaných nádržích při tlaku pouze několika atmosfér. Jedním motorovým vozidlem (jízdni soupravou) lze přepravovat až několik tisíc kilogramů kapalného vodíku. Přepravní vozidlo nebo plnicí stanice však musí být vybaveny zařízením pro zplyňování kapalného vodíku a následné stlačování plynného vodíku na vysoké tlaky. Zařízení pro výrobu vodíku, ze kterého se vodík dopravuje, musí mít možnost vodík zkapalňovat.

Při přepravě stlačeného plynného vodíku odpadá potřeba vodík zkapalňovat a následně zplyňovat, ale množství vodíku přepravovaného jedním motorovým vozidlem (jízdni soupravou) je podstatně menší. V plynném skupenství má vodík nízkou hustotu (0.083 kg/m³ při atmosférickém tlaku a teplotě 20 °C). Efektivita dopravy se zvyšuje s rostoucím množstvím (hmotností) přepravovaného vodíku a z tohoto důvodu je výhodné přepravovat plynný vodík při co nejvyšších tlacích (hustotách). Stlačený vodík se přepravuje v tlakových nádobách, jejichž hmotnost je zpravidla mnohonásobně vyšší než hmotnost přepravovaného vodíku. Jednou z nejrozšířenějších nádob pro přepravu vodíku je ocelová tlaková lahev o objemu 50 litrů, ve které se vodík přepravuje při tlaku 20 MPa (200 bar). Hmotnost ocelové tlakové lahve je 60 až 70 kg a hmotnost vodíku přibližně 0.75 kg. Z tohoto důvodu nejsou tyto lahve vhodné pro zásobování vodíkových plnicích stanic. Řada výrobců nabízí systémy pro přepravu plynného vodíku při tlacích až 50 MPa (500 bar). Při tlaku 50 MPa a teplotě 20 °C má vodík hustotu přibližně 31 kg/m³. Využitím kompozitních materiálů lze snížit hmotnost tlakových nádob pro přepravu vodíku a tím efektivitu jeho přepravy. Jedním motorovým vozidlem (jízdni soupravou) lze za těchto podmínek přepravovat více než 1000 kg vodíku.

Z hlediska energeticko-nákladového modelu vozidla nemá skupenství přepravovaného vodíku, ani tlak přepravovaného vodíku, podstatný vliv. Model zohledňuje pouze energii a náklady spojené s přepravou vodíku, které se promítají do jednotkového množství přepravovaného vodíku. Náklady a energie spojené se zkapalňováním, zplyňováním a stlačováním vodíku model nezohledňuje.

Modelový přístup

Vytvořený model je fyzikálním popisem pohybu vozidla po zadané trase. Jako vstupní údaje modelu je třeba zadat popis trasy a popis vozidla včetně nákladu.

Software se skládá z následujících částí:

- Grafické rozhraní vytvořené v MATLAB App Designer
- Výpočtový model vozidla pro přepravu vodíku
- Rozhraní webové aplikace přístupné přes MATLAB WebApp Server

Software je strukturován tak, aby umožnil efektivní výpočty a vizualizaci při simulaci přepravy vodíku v rámci dané trasy. Jeho architektura a design vycházejí z několika klíčových principů zaměřených na modularitu, flexibilitu a uživatelskou přívětivost.

Model vozidla

Výpočtový model vozidla pro přepravu vodíku je implementován ve formě MATLAB skriptu, který zahrnuje komplexní algoritmy pro výpočet spotřeby vodíku na základě vstupních parametrů, jako jsou hmotnost vozidla, maximální povolená rychlost, topografie trasy a další faktory ovlivňující spotřebu. Vstupním parametrem do modelu vozidla je struktura „Vehicle,“ která v sobě zahrnuje parametry vozidla pro přepravu vodíku. Tyto parametry lze členit do následujících kategorií.

Aerodynamika

Vehicle.Aero.Cx = .29; % [-] Koeficient aerodynamického odporu
Vehicle.Aero.S = 1.815*(1.535-0.13); % [m^2] Čelní plocha vozidla
Vehicle.Aero.T = 20; % [°] Teplota
Vehicle.Aero.p = 980; % [hPa] Tlak
Vehicle.Aero.phi = 45; % [%] Vlhkost
Vehicle.Aero.ro = 1.3; % [kg/m^2] Hustota vzduch

Konfigurace

Vehicle.Config.Vehicle = 0; % 0 samo, 1 s vlekem 2 s navesem 3 s navesem i vlekem
Vehicle.Config.NuAxle = 2; % front wheel drive?
Vehicle.Config.NuDriveAxle = 1;

Hmotnosti

Vehicle.Weight.m_whole = 1945; % [kg] Celková hmotnost vozidla
Vehicle.Weight.m_empty = 1850; % [kg] Hmotnost prázdného vozidla
Vehicle.Weight.m_load = 0; % [kg] Náklad
Vehicle.Weight.m_fuel = 5 + 90; % [kg] Palivo + řidič
Vehicle.Weight.g = 9.81; % [m/s^2] Gravitational Constant

Motor

Vehicle.Engine.Vcil = 1040; % [cm^3]
Vehicle.Engine.wmin = 850; % [1/min]
Vehicle.Engine.Je = .08; % [kg.m^2] Engine's Moment of Inertia
Vehicle.Engine.werpm = [1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3250, 3500, 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500]; % [rpm]
Vehicle.Engine.mep = [5.985, 8.5785, 8.841, 9.3345, 9.513, 9.6705, 9.6075, 9.6285, 9.4815, 8.9250, 8.2530, 7.791, 7.119]; % [bar]
Vehicle.Engine.consupion = [300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0, 300.0]; % [g/kWh] spotreba

Převody

Vehicle.Gear.Tf = 0.281; % [-] Differentail Transmission Ratio

Vehicle.GearN = 6; %[-] % Počet převodových stupňů
Vehicle.Gears = [3.0, 2.22, 1.99, 1.22, 1.00, 0.92]; % převod
Vehicle.Permanent = 3.88; % převod
Vehicle.Gearefficiencyt = .9; % [-] Účinnost pohonu
Vehicle.Engine.ts = 1; %[s] % Time of Shifting Between Gears

Rozměry vozidla

Vehicle.Dimension.l = 2.92; % [m] Rozvor tažného vozidla
Vehicle.Dimension.a = 1.15; % [m] Horizontal Distance From Center of Gravity -> Front Wheel
Vehicle.Dimension.b=Vehicle.Dimension.l-Vehicle.Dimension.a; % [m] Horizontal Distance From Center of Gravity -> Rear Wheel
Vehicle.Dimension.hG = .5; % [m] Height of Center of Gravity

Pneumatiky

Vehicle.Tire.wheel_indication = '155/65R13'; % Wheel Indication (235/55R19 245/45R20)
Vehicle.Tire.R0 = $13 * 25.4 / 2 + .65 * 155$; %[mm] % Wheel Radius
Vehicle.Tire.Re = $.98 * R0 * 10^{-3}$; % [m] % Wheel Effective Radius
Vehicle.Tire.Jw = 1.6; % [kg.m²] Wheels' Moment of Inertia

Odpory

alpha = atan(0:0.1:0.4); %[-] Angle of Inclination
Vehicle.Resistance.f0 = .013; %[-] Rolling Resistance Coefficient 1
Vehicle.Resistance.K = $6.51 * 10^{-6}$; %[s²/m²] Rolling Resistance Coefficient 2

Uvažované přepravní možnosti vycházejí z předpisů pro rozměry vozidel. V České republice je maximální délka motorového vozidla omezena na 12 m. Jízdní souprava motorového vozidla s návěsem je délkově omezena na 16,5 m a maximální povolená délka jízdní soupravy motorového vozidla s jedním přívěsem je 18,75 m.

Model trasy

Trasa je získána z mapových podkladů a převedena na vstupní soubor pro výpočtový řešič. Model automobilu provádí výpočet po úsecích. Standardní úsek získaný z mapových podkladů tvoří trasa mezi křižovatkami. Model si úseky z mapy interně dělí na kratší úseky, aby bylo možné lépe postihnout dynamické chování vozidla. Z mapových podkladů jsou v současné verzi nástroje získávána následující data:

- Délka úseku [m]
- Maximální povolená rychlost na úseku [km/h]
- Kumulativní stoupání na úseku [m]
- Typ vozovky (kategorie)
 - ▪ 1 - dálnice I. třídy
 - ▪ 2 - silnice I. třídy
 - ▪ 3 - silnice II. třídy
 - ▪ 4 - silnice III. třídy

- ▪ 5 - dálnice II. třídy
- ▪ 6 - silnice pro motorová vozidla
- ▪ 7 - ostatní komunikace
- Typ křižovatky na konci úseku
 - 1 = na úsek již nenavazuje další
 - 2 = nejedná se o křižovatku – pouze navazující úseky
 - 3 = křižovatka tří úseků

Na světelných křižovatkách, při odbočování doleva, při vjezdu na hlavní silnici apod., nejsou z mapy k dispozici údaje o aktuálním provozu. V důsledku dopravního značení, dopravní signalizace a dopravní situace může v takových případech dojít k zastavení vozidla a jeho následnému rozjezdu. To má vliv na spotřebu paliva a tím i provozních nákladů. Mezi jednotlivými úseky jsou proto v závislosti na typu křižovatky vygenerovány časové prodlevy (zastavení vozidla) založené statisticky na normálním rozdělení.

Implementace na MATLAB WebApp Serveru

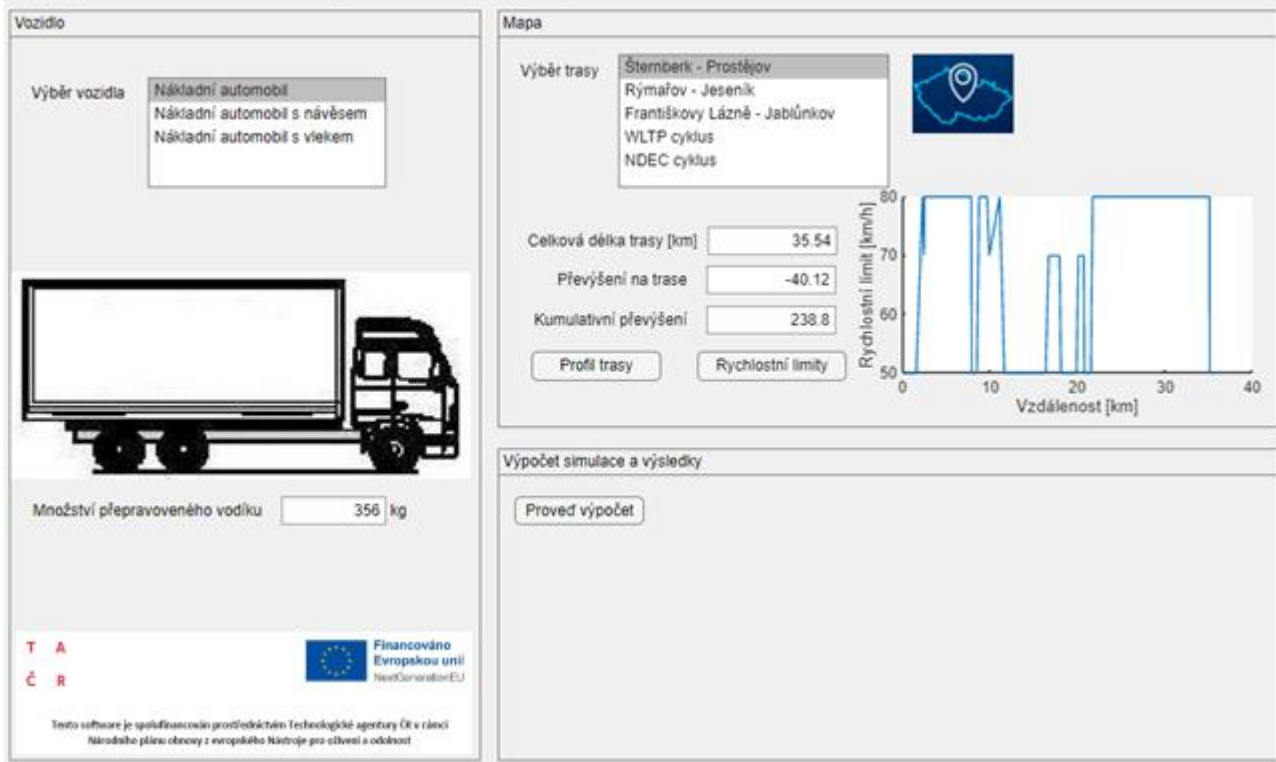
Rozhraní webové aplikace bylo realizováno prostřednictvím MATLAB WebApp Serveru, což umožňuje snadnou distribuci a přístup k aplikaci přes běžný webový prohlížeč bez nutnosti instalace specializovaného softwaru na straně uživatele. Tento přístup výrazně usnadňuje správu aplikace, protože aktualizace a údržba jsou centralizovány.

MATLAB WebApp Server je navržen tak, aby zajistil kompatibilitu aplikace s různými operačními systémy, platformami a zařízeními, což přináší uživatelům maximální flexibilitu. Bez ohledu na to, zda uživatel přistupuje k aplikaci z počítače, tabletu nebo telefonu, je zajištěna konzistentní uživatelská zkušenost. Kromě toho WebApp Server podporuje bezpečnostní protokoly, které chrání data a integritu aplikací při přenosu i během jejich provozu.

Grafické uživatelské rozhraní (GUI)

Grafické uživatelské rozhraní (GUI) je vytvořeno v prostředí MATLAB App Designer. Toto rozhraní poskytuje intuitivní a interaktivní platformu pro uživatele, kde mohou snadno zadávat potřebné parametry, vybrat požadované vozidlo, vybrat trasu a vizualizovat výsledky. Při přepnutí typu vozidla dojde k výměně parametrů uvnitř struktury „Vehicle“ tak, aby odpovídaly danému způsobu přepravy. Výběrem vozidla v uživatelském rozhraní dochází k předání parametrů daného vozidla do výpočetního modelu. Analogicky při přepnutí trasy dojde k načtení příslušných parametrů tras.

Energeticko-nákladový model vozidla pro zásobování plyníčních stanic



Vozidlo

Výběr vozidla: **Nákladní automobil**
Nákladní automobil s návěsem
Nákladní automobil s vlečkou

Množství přepravovaného vodíku: 356 kg

Mapa

Výběr trasy: **Šternberk - Prostějov**
Rýmařov - Jeseník
Františkovy Lázně - Jablunkov
WLTP cyklus
NDEC cyklus

Celková délka trasy [km]: 35.54
Převýšení na trase: -40.12
Kumulativní převýšení: 238.8

Profil trasy Rychlostní limity

Výpočet simulace a výsledky

Proved výpočet

T A
Č R

Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU

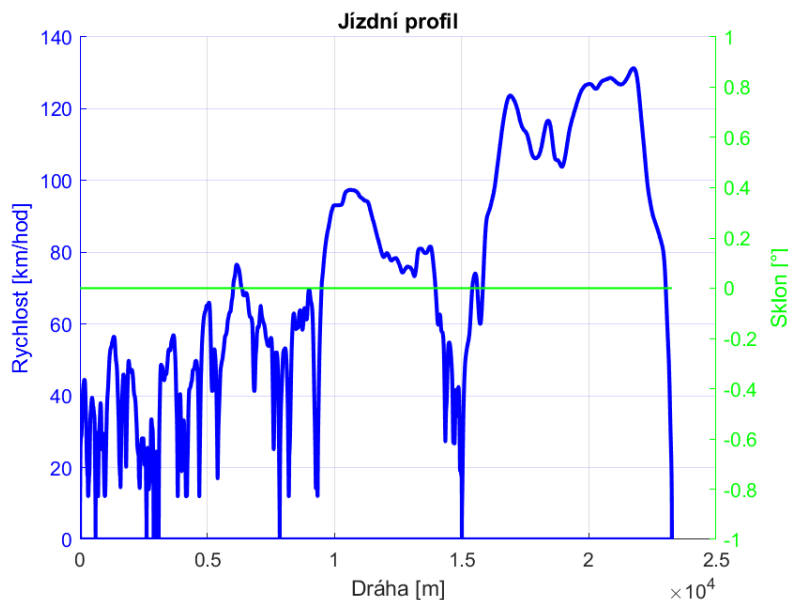
Tento software je spolufinancován prostřednictvím Technologické agentury ČR v rámci Národního plánu obnovy z evropského Nástroje pro cílení a odolnost

Obrázek 15: Grafické uživatelské rozhraní

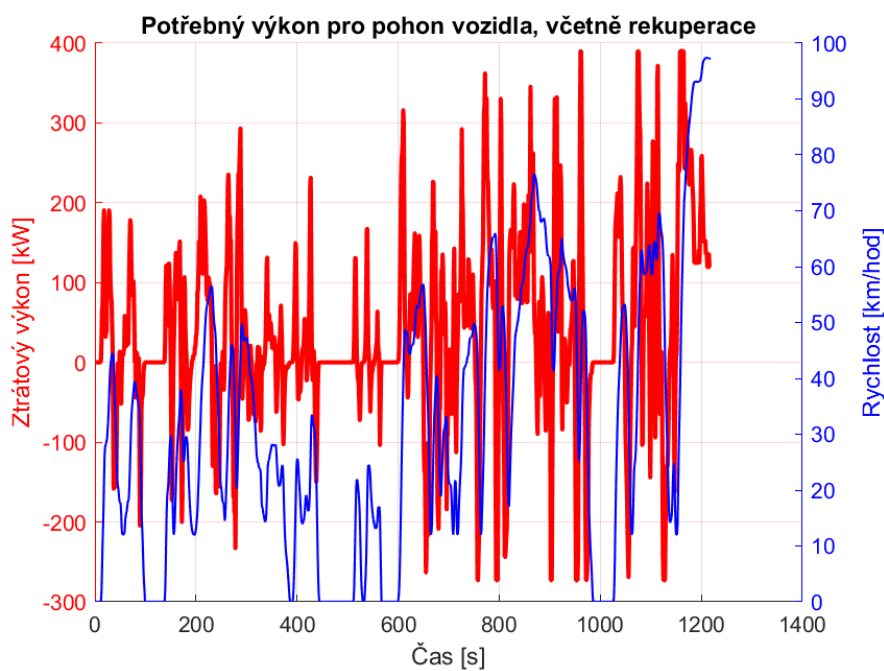
Obrázek 15 zobrazuje grafické rozhraní výpočetního modelu pro energeticko-nákladový model vozidla pro zásobování plyníčních stanic. V současné verzi softwaru má uživatel možnost vybírat z přednastavených vozidel a přednastavených tras (včetně standardních testovacích cyklů NEDC a WLTP). Grafické uživatelské je rozděleno na tři části.

- **Vozidlo:** Slouží k výběru vozidla pro přepravu vodíku. V zobrazeném případě se jedná o nákladní automobil. Po výběru konfigurace se zobrazuje obrázek vozidla a množství přepravovaného vodíku.
- **Mapa:** V oblasti "Výběr trasy" uživatel vybírá jednu dostupných tras. Po volbě trasy dochází k vytvoření vstupních parametrů trasy jako vstupu pro výpočetní model. Vstupní parametry byly vytvořeny s využitím mapy.
 - Celková délka trasy [km]: Zobrazená hodnota vzdálenosti pro danou trasu.
 - Převýšení na trase [m]: Hodnota celkového převýšení mezi startovním a koncovým bodem trasy.
 - Kumulativní převýšení [m]: Součet převýšení dosaženého během cesty ztráty nadmořské výšky nejsou v tomto parametru uvažovány.
 - Profil trasy: Tlačítko pro zobrazení detailního výškového profilu v průběhu cesty na dané trase.
 - Rychlostní limity: Tlačítko pro zobrazení profilu rychlostního limitu v průběhu cesty na dané trase.

- **Výpočet simulace a výsledky** Po kliknutí na „Proveď výpočet“ dojde k zobrazení některých vstupních dat ve formě grafů. Jedním z generovaných grafů vstupních parametrů je rychlostní profil trasy (Obrázek 16). Následně dojde k simulaci pro zvolené vozidlo a vybranou trasu a jsou zobrazeny výsledkové grafy. Výsledky zahrnují jak průběh okamžitých spotřeb energie (Obrázek 17, tak kumulativní spotřebu na trase.



Obrázek 16: Profil trasy (WLTP cyklus)



Obrázek 17: Okamžitá spotřeba energie