

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická
Katedra výkonové elektroniky a strojů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Návrh pomocného elektrického pohonu na solární energii
pro kamionovou dopravu

Autor práce: **Bc. Tomáš Mulák**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Tomáš Komrška Ph.D.**

2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení:	Bc. Tomáš MULÁK
Osobní číslo:	E21N0051P
Studijní program:	N0714A060013 Elektronika a informační technologie
Specializace:	Výkonová elektronika
Téma práce:	Návrh pomocného elektrického pohonu na solární energii pro kamiónovou dopravu
Zadávací katedra:	Katedra výkonové elektroniky a strojů

Zásady pro vypracování

1. Z dostupných dat proveďte analýzu spotřeby paliva běžného kamiónu s návěsem a vyhledejte jízdní odpory.
2. Ze zjištěných parametrů sestavte matematický model vozidla a proveďte simulaci jízdy na vybrané dálniční trase. Zkalibrujte model tak, aby spotřeba energie odpovídala skutečné spotřebě paliva dle zjištěných dat.
3. Navrhněte počet a parametry fotovoltaických panelů pro instalaci na střechu návěsu kamionu. Pomocí vzorku malého solárního panelu proveďte několik měření v průběhu roku a posuďte množství energie, které lze v našich zeměpisných podmínkách získat a porovnejte roční období. Výsledky přepočítejte na parametry fotovoltaického zdroje navrženého pro střechu kamionu.
4. Dle parametrů fotovoltaického zdroje navrhněte parametry pomocného elektrického pohonu kamionu. Navržený elektrický pohon přidejte do matematického modelu.
5. Proveďte sérii simulací jízdy kamiónu po dálniční trase s pomocným elektrickým pohonem a fotovoltaickým zdrojem při uvažování různé intenzity slunečního svitu. Proveďte posouzení potenciálu úspory paliva.


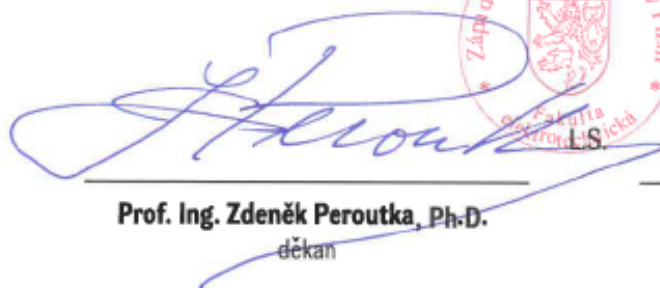
Rozsah diplomové práce: **40 – 60**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. BAYINDIRLI, Cihan; AKANSU, Yahya Erkan; SALMAN, Mustafa Sahir. The determination of aerodynamic drag coefficient of truck and trailer model by wind tunnel tests. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*, 2016, 5.2: 53-60.
2. B. O. Varga, T. Mariasu, D. Moldovanu, C. Iclodean: Electric and Plug-In Hybrid Vehicles – Advanced Simulation Technologies, Springer 2015, ISBN 978-3-319-18638-2.

Vedoucí diplomové práce: **Doc. Ing. Tomáš Komrška, Ph.D.**
Research and Innovation Centre for Electrical
Engineering

Datum zadání diplomové práce: **7. října 2022**
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2023**



Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.
děkan



Prof. Ing. Václav Kůs, CSc.
vedoucí katedry

V Plzni dne 7. října 2022

Abstrakt

Tato práce se zabývá návrhem parametrů solárního zdroje pro střechu návěsu a následným využitím energie pomocným elektrickým pohonem v hnacím ústrojí kamionu. V teoretické části práce je popsána dynamika nákladního vozidla spolu s jednotlivými jízdními odpory. Je provedena analýza spotřeby paliva kamionů a jsou popsána důležitá hnací ústrojí, jejich výhody, nevýhody a vyhlídky do budoucna. Dále jsou popsány technologie a trendy solární energetiky. Teoretická část slouží zejména k bližšímu pochopení problematiky diplomové práce. Praktická část se zabývá zejména návrhem základních parametrů solárního zdroje a pomocného elektrického pohonu. Rovněž je ale rozebrán sestavený matematický model a menší část je věnována porovnání naměřeného souboru dat solárního záření s daty z internetu. Simulace byly prováděny pro případ všech měsíců roku z důvodu dosažení vysoké přesnosti. Pro přínos na celém evropském kontinentě byly posouzeny případy severní, střední a jižní Evropy. Simulací dosažené úspory paliva jsou nejpodstatnější dle očekávání v jižní Evropě, oproti tomu severní Evropa disponuje výrazně nižším potenciálem. Vliv ročních období také nelze zanedbat, zimní měsíce jsou z hlediska úspor paliva velice nevýhodné oproti zbytku roku. Nejvyšších úspor bylo dosaženo v měsících květen až srpen. Ze simulací vyplývá, že nejlepších výsledků lze dosáhnout kombinací s trakční baterií disponující dostatečnou kapacitou, která umožňuje optimalizaci řízení a výrazně vyšší úspory paliva. Navržený systém se jeví jako dobré řešení pro snížení spotřeby paliva a tím i emisí skleníkových plynů, má tedy potenciál přispět k dekarbonizaci nákladní dopravy.

Klíčová slova

Nákladní doprava, VIPV, úspory paliva, solární energie, hybridní elektrický pohon, elektrifikace.

Abstract

The focus of this thesis is on the definition of parameters for a photovoltaic power source located on the roof of a heavy-duty vehicle trailer and the subsequent use of the produced energy with an auxiliary electric drive. The theoretical part of the thesis describes the dynamics of a heavy-duty vehicle, along with the various driving resistances. Fuel consumption analysis of trucks is also performed. Important propulsion systems are described, along with their advantages, disadvantages, and prospects for the future. In addition, solar energy technologies and trends are described. The theoretical part serves primarily to gain a deeper understanding of the issues addressed in the thesis. The practical part focuses mainly on the definition of basic parameters for the photovoltaic source and auxiliary electric drive. A mathematical model, which was developed for the purpose of evaluation is described along with a small part devoted to a comparison of the real world measured solar radiation data set with data available from the internet. Simulations were conducted individually for each month of the year to achieve high accuracy. Cases for northern, central, and southern Europe were also evaluated in order to produce a relevant analysis for the entire European continent. As expected, the simulations showed that the most significant fuel savings could be achieved in southern Europe, while northern Europe had a significantly lower potential. The influence of the seasons cannot be overlooked either, as the winter months are very disadvantageous in terms of fuel savings compared to the rest of the year, with the highest savings achieved in the months of May to August. The simulations indicate that the best results can be achieved with an added battery, possessing a sufficient capacity. The battery allows for an optimization of control algorithms and significantly higher fuel savings. The proposed system appears to be a good solution for reducing fuel consumption and greenhouse gas emissions, and therefore has the potential to contribute to decarbonizing freight transportation.

Key Words

Freight transport, VIPV, fuel savings, hybrid electric drive, photovoltaics, electrification.

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Tomáši Komrskovi, Ph.D. za jeho odborné rady a vedení práce, panu prof. Ing. Janu Mackovi, DrSc. a panu Ing. Janu Laksarovi, Ph.D. za jejich ochotu, pomoc a poskytnutá data.

Obsah

Úvod	- 1 -
1 Dynamika a spotřeba paliva nákladního vozidla	- 3 -
1.1 Aerodynamický odpor	- 3 -
1.2 Valivý odpor	- 5 -
1.3 Odpor stoupání.....	- 6 -
1.4 Odpor zrychlení	- 6 -
1.5 Odpor návěsu	- 7 -
1.6 Běžné hodnoty spotřeby paliva kamionů.....	- 7 -
2 Hnací ústrojí kamionů	- 10 -
2.1 Kamiony se vznětovým motorem	- 10 -
2.2 Kamiony s elektrickým motorem	- 11 -
2.3 Kamiony s hybridním elektrickým hnacím ústrojím	- 12 -
3 Solární energie.....	- 14 -
3.1 Technologie solárních článků	- 14 -
3.2 Trendy solárních technologií	- 15 -
3.3 Potenciál využití solární energie v Evropě	- 16 -
4 Návrh pomocného pohonu a solárního zdroje.....	- 18 -
4.1 Měření potenciálu solární energie v podmínkách střední Evropy	- 18 -
4.2 Porovnání dat z internetu se změřenými daty.....	- 20 -
4.3 Návrh solárního zdroje.....	- 21 -
4.4 Návrh pomocného pohonu.....	- 23 -
4.5 Varianta pomocného pohonu s FVE a bateriovým úložištěm	- 25 -
5 Matematický model nákladního vozidla s návěsem.....	- 26 -
5.1 Kompletní matematický model.....	- 26 -
5.2 Vstupní výpočtová část.....	- 26 -
5.3 Matematický model vznětového motoru a převodovky.....	- 28 -
5.4 Matematický model pomocného elektrického pohonu a FVE.....	- 29 -
5.5 Matematický model rozšířený o baterii	- 30 -
5.6 Výpočty výchozích parametrů simulace.....	- 31 -
6 Simulace a analýzy	- 33 -

6.1	Vybraná dálniční trasa a cyklus	- 33 -
6.1.1	WHVC	- 33 -
6.1.2	Ostrava – Plzeň.....	- 34 -
6.1.3	Dálková trasa	- 35 -
6.2	Zhodnocení přesnosti simulace.....	- 35 -
6.3	Výsledky simulace samostatného pohonu se vznětovým motorem.....	- 37 -
6.4	Simulace při rozšíření o pomocný elektrický pohon a solární zdroj	- 38 -
6.4.1	Výsledky simulace v zimních měsících	- 39 -
6.4.2	Výsledky simulace v jarních měsících	- 42 -
6.4.3	Výsledky simulace v letních měsících	- 45 -
6.4.4	Výsledky simulace v podzimních měsících	- 48 -
6.5	Simulace varianty pomocného pohonu s FVE rozšířeného o trakční baterii... -	51 -
	Závěr.....	- 56 -
	Literatura	- 59 -
	Přílohy	I

Seznam symbolů a zkratek

Značka	Popisek	Jednotka
F_t	Tažná síla	[N]
R_{aero}	Aerodynamický odpor	[N]
R_{rol}	Valivý odpor	[N]
R_s	Odpor stoupání	[N]
R_{acc}	Odpor zrychlení	[N]
R_n	Odpor návěsu	[N]
ρ_v	Hustota vzduchu	[kg/m ³]
v	Rychlost	[m/s]
C_d	Součinitel aerodynamického odporu	[-]
f_{rol}	Součinitel valivého odporu	[-]
m	Hmotnost	[kg]
g	Gravitační zrychlení	[m/s ²]
α	Úhel stoupání	[rad]
θ	Součinitel vlivu rotačních částí	[-]
a	Zrychlení	[m/s ²]
n	Otáčky	[ot/min]
M	Moment	[Nm]
P_m	Mechanický výkon	[W]
I_{avg}	Zprůměrovaný elektrický proud	[A]
U_{avg}	Zprůměrované elektrické napětí	[V]
P	Elektrický výkon	[W]
GHI	Globální horizontální ozáření	[W/m ²]
N_{panel}	Počet panelů	[-]
l	Délka	[m]
w	Šířka	[m]
η	Účinnost	[%]
Δ	Úspora paliva	[%]
t	Čas	[s]
r	Poloměr	[m]
GR	Převodový poměr	[-]
V	Objem	[l]
E	Energie	[J]
dk	Simulační krok	[s]
HEV	Hybrid Electric Vehicle	
$PHEV$	Plug - in Hybrid Electric Vehicle	
REX	Range Extender	
BEV	Battery Electric Vehicle	
$VIPV$	Vehicle Integrated Photovoltaics	
$BIPV$	Building Integrated Photovoltaics	
$PERC$	Passivated Emitter and Rear Cell	
$PVGIS$	Photovoltaic Geographical Information System	
MPP	Maximum Power Point	
$MPPT$	Maximum Power Point Tracking	
FVE	Fotovoltaická elektrárna	
$PMSM$	Synchronní motor s permanentními magnety	
$WHVC$	World Harmonized Vehicle Cycle	
DC	Střídavý proud	
SoC	State of Charge	

Úvod

Nutnost redukce emisí skleníkových plynů a snižování spotřeby paliva v nákladní dopravě je aktuálně velice často skloňované téma. Tato nutnost je podporována regulacemi EU, zejména nejnovějším návrhem úpravy aktuálních regulací [1], které stanovují stupně redukce emisí do roku 2040 přísněji, než tomu bylo doposud. Emise ale nejsou jediná věc, která se snižuje se spotřebou paliva, rovněž se i snižují náklady na provoz kamionu, což má pozitivní ekonomický efekt.

Na návěsech kamionů se nachází rozsáhlá prázdná plocha, tato plocha se jeví jako ideální pro umístění solárních panelů a následné využití solární energie pro potřeby kamionu, např. napájením jednotlivých systémů nebo podpory hnacího ústrojí ve formě hybridního pomocného elektrického pohonu. Toto téma se stává velice atraktivní z důvodu podstatných inovací v technologii solárních článků a snižující se ceně za jednotku výkonu.

Projekty zkoumající přínos osazení návěsů solárními panely v posledních 3 letech zaujmají pozornost výrobců kamionových souprav. Projekt Shell Starship [2], který se primárně zabývá redukcí spotřeby paliva všemi možnými prostředky (aerodynamika, obnovitelná paliva...) má ve svých iteracích osazený návěs solárními panely a využívá dostupnou energii pro napájení elektroniky a dalších funkcí kamionu. Společnost Scania, která je jedním z předních výrobců vozidel pro nákladní dopravu rovněž zkoumá využití návěsu pro osazení solárními panely [3] [4], zde jsou ale panely osazené i po stranách návěsu, předpokládané úspory paliva činí 5-10%. Také společnost ZF, která je významným dodavatelem automobilového průmyslu má již v prototypové a testovací fázi návěs jako samostatný celek s osazenými solárními panely na střeše návěsu, společně s elektrickým pohonem, který spolupracuje s hnacím ústrojím samotného kamionu [5].



Obr. 1.1 Projekty Shell Starship (vlevo) [2] a Scania (vpravo) [3].

Práce je rozdělena na několik kapitol. První tři kapitoly se zabývají teoretickou částí práce. V první kapitole je popsána dynamika vozidla s návěsem. Jsou zmíněny jednotlivé jízdní odpory, způsob jejich určení, jejich významnost a samotná podstata vzniku.

V druhé kapitole je diskutována spotřeba paliva běžných kamionových souprav a následně jsou přiblížena významná hnací ústrojí kamionové dopravy a jejich výhody, nevýhody a vyhlídky do budoucnosti.

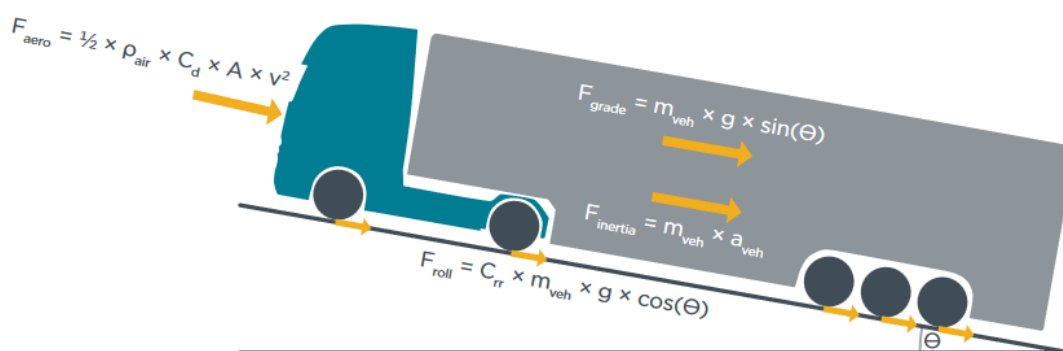
Třetí kapitola se zabývá samotnou solární energií. Jsou zde popsány používané a perspektivní technologie solárních článků, trendy ceny a využití solárních panelů v mnoha odvětvích a následně je diskutován potenciál dostupné solární energie na evropském kontinentu.

Zbývající kapitoly se zabývají praktickou částí diplomové práce. Ve čtvrté kapitole je uveden již samotný návrh parametrů solárního zdroje, pomocného pohonu a baterie s ohledem na omezení jednotlivých částí. V této kapitole je rovněž zahrnuto měření na vzorku solárního panelu v průběhu 6 měsíců a následné porovnání s daty z internetu.

Pátá kapitola se zabývá matematickým modelem kamionu s návěsem. Jsou zde popsány jednotlivé části, které byly v simulaci zahrnuty a je rovněž nastíněn postup výběru vstupních parametrů matematického modelu.

Šestá a poslední kapitola je již zaměřena na simulace a výsledky typické pro střední, severní a jižní Evropu v rámci všech ročních období. Je zde rovněž uvedena diskuze o věrohodnosti výsledků, následné optimalizaci a zvýšení úspor paliva, kterých bylo dosaženo.

1 Dynamika a spotřeba paliva nákladního vozidla



Obr. 1.2 Síly působící na nákladní vozidlo při pohybu. – převzato z [6]

Na obr. 1.2 jsou zobrazeny síly působící na nákladní vozidlo při pohybu. Tyto síly působí proti tažné síle F_T , tedy vozidlo zpomalují, musí být překonány pro pohyb vozidla. Jinými slovy se tyto síly nazývají jízdní odpory. Snahou výrobců všech vozidel je jízdní odpory co nejvíce omezit pro dosažení nízké spotřeby paliva.[7] [8]

Vztah (1.1) popisuje odpory, které hnací síla musí překonat.

$$F_t \geq R_{aero} + R_{rol} + R_s + R_{acc} + R_n, \quad (1.1)$$

kde F_t (N) je hnací síla vozidla, R_{aero} (N) je aerodynamický odpor, R_{rol} (N) je odpor valivý, R_s (N) je odpor stoupání, R_{acc} (N) je odpor zrychlení a R_n (N) je přídatný odpor návěsu.

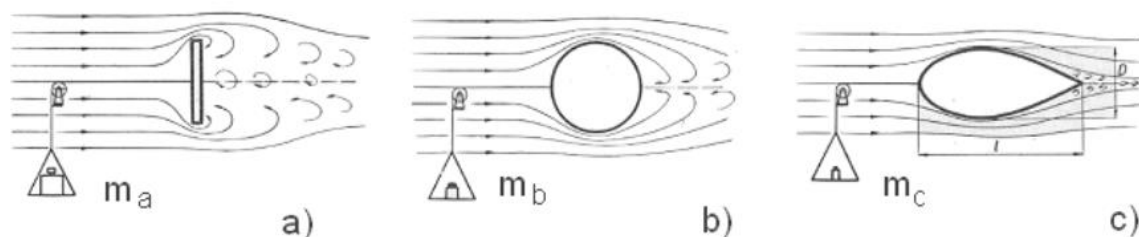
1.1 Aerodynamický odpor

Největší vliv na dynamiku vozidla má odpor aerodynamický. Vozidlo se nepohybuje vakuem, ale vzduchem, který vozidlo obklopuje a má sám o sobě nějakou hustotu. Samotný vzorec pro výpočet odporu je uveden níže:

$$R_{aero} = \frac{1}{2} \cdot \rho_v \cdot S \cdot C_d \cdot v^2, \quad (1.2)$$

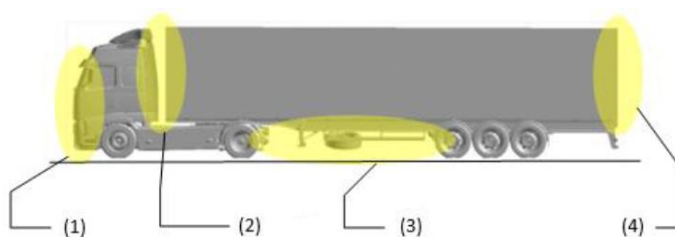
kde R_{aero} (N) je aerodynamický odpor, ρ_v (kg/m^3) je hustota vzduchu, S (m^2) je nárazová plocha vozidla, C_d (-) je součinitel aerodynamického odporu a v (m/s) je rychlost vozidla.

Hlavním parametrem, který výrobci mohou ovlivnit je součinitel aerodynamického odporu C_d , který určuje efektivitu proudění vzduchu kolem pohybujícího se tělesa.



Obr. 1.3 Aerodynamické tvary – převzato z [9]

Na obr. 1.3 jsou vyobrazeny různé aerodynamické tvary. V případě a) se jedná o desku, v případě b) o kouli a c) o aerodynamické těleso. Z proudění vzduchu, které je na obrázku znázorněno lze vyvodit velikost součinitele aerodynamického odporu C_d . V případě a) je vidět, že vzduch do tělesa naráží plnou silou a dále ztrácí svoji rychlost, síla působící na těleso bude tedy velká a dá se předpokládat vysoký C_d . Zaoblený tvar tělesa b) umožňuje vzduchu kolem tělesa lépe obíhat. I přes nežádoucí vířivé pole za tělesem se ale celkový součinitel aerodynamického odporu oproti případu a) výrazně zmenší. V případě c) již lze pozorovat téměř nulové vířivé pole za tělesem a proudění vzduchu vesměs kopíruje tvar tělesa, což značí velice malý součinitel aerodynamického odporu C_d . [9]



Obr. 1.4 Problémové oblasti tvaru kamionu s návěsem na aerodynamiku. – upraveno z [8]

Na obr. 1.4 jsou vyznačeny oblasti klasické sestavy kamionu s návěsem, které jsou problematické z hlediska aerodynamického odporu. Oblast 1) značí předek kamionu a již z příkladu na obr. 1.3 a) víme, že tvar typický velkou nezaoblenou plochou je problémový. Dříve existovali regulace, které stanovovali momentální tvar kamionů provozovaných v Evropě, ale tyto regulace byly upraveny pro dosažení klimatických cílů EU. V budoucnu se dá tedy očekávat aerodynamičtější tvar kabiny kamionu, který bude přispívat ke snížení spotřeby paliva. Oblast 2) značí mezeru mezi tahačem kamionu a návěsem, tato mezera způsobuje zejména víření vzduchu, což má za následek zhoršené aerodynamické vlastnosti, trendem je tedy tuto vzdálenost zmenšovat. Další problematickou oblastí je oblast 3), zde vidíme volný prostor mezi koly tahače a koly návěsu, který působí problémy z hlediska proudění vzduchu. Trendem je tento prostor zaplnit, tzv. „side skirts“, což jsou panely,

které se připevní na návěs a omezí proudění vzduchu pod návěsem. Poslední oblastí, která je významná z aerodynamického hlediska je zadek návěsu. Za návěsem se tvoří vířivé pole vzduchu, které se snažíme omezit. Jedním z řešení, které se dá přidělat na návěsy jsou tzv. „boat – tails“, které tvarují proudění vzduchu pro co největší omezení vířivých polí. [8]

Níže na obrázku 1.5 jsou vyobrazeny některé zmíněné přídavné aerodynamické prvky.



Obr. 1.5 Přídavné aerodynamické prvky. – převzato z [9]

1.2 Valivý odpor

Vozidlo se s vozovkou stýká prostřednictvím pneumatik. Pomocí pneumatik se přenáší všechny síly z vozidla na vozovku a z vozovky na vozidlo. Valivý odpor je síla, která působí na kolo při pohybu. Velikost této síly závisí na mnoha faktorech, které působí současně a nemohou být jednoduše rozděleny na jednotlivé vlivy. [7] [9] [11]

Jedním z vlivů na valivý odpor je deformace pneumatiky. Pneumatiky jsou nafouknuty na určitý tlak, který je pevně stanoven, pro minimalizaci právě valivého odporu. Vliv tlaku pneumatiky je znázorněn na obr. 1.6. [7] [9]



Obr. 1.6 Vliv tlaku na dotykovou plochu pneumatiky při styku s vozovkou. – převzato z [8]

Pneumatiky obecně mají za úkol přenášet všechny síly, umožnit pohyb vozidla co nejbezpečněji a nejpohodlněji. Proto je výběr správné pneumatiky pro danou aplikaci velice důležitý. [9]

Vztah výpočtu valivého odporu je uveden v rovnici níže:

$$R_{rol} = f_{rol} \cdot m \cdot g \cdot \cos(\alpha), \quad (1.3)$$

kde R_{rol} (N) je valivý odpor, f_{rol} (-) je součinitel valivého odporu, m (kg) je hmotnost vozidla, g (m/s^2) je gravitační zrychlení a α (rad) je úhel stoupání.

Tento vzorec platí v případě, že jsou všechna kola osazena stejnými pneumatikami.

Ve vzorci se vyskytuje součinitel valivého odporu f_{rol} . Tento součinitel je souhrnným koeficientem výše zmíněných vlivů na valivý odpor a definuje se pro různé kombinace kontaktu pneumatik s vozovkou [11]. Např. v případě kontaktu kamionových pneumatik s asfaltovou vozovkou se definuje součinitel f v rozmezí 0,006 až 0,01.

1.3 Odpor stoupání

Odpor stoupání se aplikuje v případě, že vozidlo stoupá nebo klesá na podélném svahu. Odpor může působit proti tažné síle, ale rovněž spolu s tažnou silou, závisí pouze na tom, jestli vozidlo stoupá nebo klesá [8]. Vztah výpočtu odporu stoupání je uveden v rovnici (1.4).

$$R_s = m \cdot g \cdot \sin(\alpha), \quad (1.4)$$

kde R_s (N) je odpor stoupání, m (kg) je hmotnost vozidla, g (m/s^2) je gravitační zrychlení a α (rad) je úhel stoupání.

Zmíněný úhel stoupání charakterizuje sklon vozovky, na běžných silnicích sklon nepřesahuje 10-12 %, výjimky tvoří vysokohorské silnice, kde sklon dosahuje vyšších hodnot. [6]

1.4 Odpor zrychlení

Tento odpor, jinak nazývaný odporem setrvačným působí při změně rychlosti jízdy vozidla. V případě zrychlování působí proti směru jízdy a v případě zpomalování po směru jízdy, působí tedy vždy negativně. [7] [11]

Odpor zrychlení se skládá ze dvou složek, první je odpor posuvné části, který se určuje jednoduše podle vzorce (1.5).

$$R_{accp} = m \cdot a, \quad (1.5)$$

kde R_{accp} (N) je odpor posuvné části, m (kg) je hmotnost vozidla a a (m/s^2) je zrychlení.

Druhá složka se nazývá odpor zrychlení otáčejících se částí. Tato složka se ale velice složitě určuje, jelikož závisí rovněž na parametrech konstantních, jako jsou moment setrvačnosti nebo poloměr kole, ale také na parametrech, které jsou proměnlivé, jako je převodový poměr nebo hmotnost vozidla. Přesné určení tohoto odporu pro konkrétní příklad je tedy velice složitě. Z tohoto důvodu se zavádí součinitel vlivu rotačních částí θ , který se mění na základě zařazeného převodového stupně. Součinitel vlivu rotačních částí se definuje pro jednotlivé druhy vozidel, ale jen velmi obecně a hrubě, nelze ho tedy bez detailní analýzy daného vozidla přesně určit. [7] [9]

Celkový výpočet odporu zrychlení je uveden níže ve vzorci (1.6).

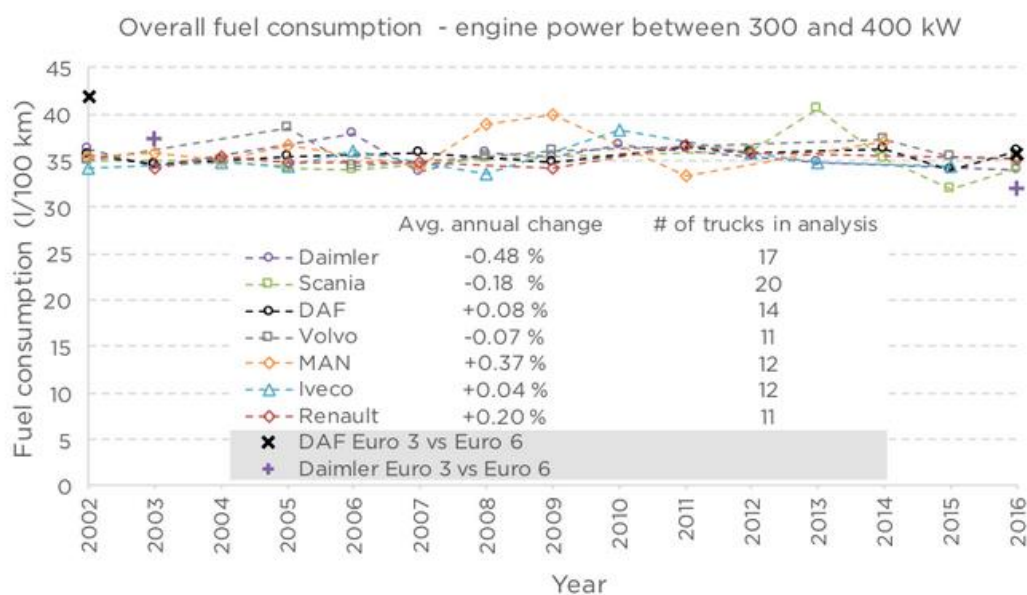
$$R_{acc} = \theta \cdot m \cdot a, \quad (1.6)$$

kde R_{acc} (N) je celkový odpor zrychlení, θ (-) je součinitel vlivu rotačních částí, m (kg) je hmotnost vozidla a a (m/s^2) je zrychlení.

1.5 Odpor návěsu

Odpor návěsu, nebo jinak nazývaný odpor přívěsu je nezanedbatelnou částí dynamiky vozidla. Je to síla, která je určena jízdními odpory návěsu, tuto sílu musí tažné vozidlo rovněž překonat. Pro návěs nebo přívěs platí stejné rovnice popisované výše, s výjimkou aerodynamického odporu, který se určuje pro celou sestavu. [7] [9]

1.6 Běžné hodnoty spotřeby paliva kamionů



Obr. 1.7 Časový vývoj spotřeby paliva v podle výrobce – převzato z [12]

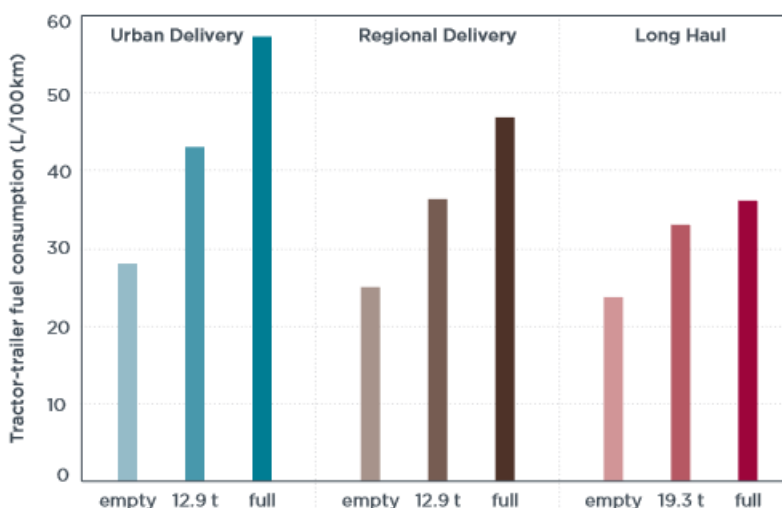
Spotřeba paliva v kamionové dopravě se liší na základě mnoha faktorů např. použitého motoru, hmotnosti nákladu nebo konstrukcí kamionu. Rovněž i samotná trasa má vliv na spotřebu.

Podle [12] se v roce 2016 pohybovala průměrná spotřeba kamionů mezi 30-35 l/100km, přičemž konkrétní hodnoty se liší dle výrobce a modelu. Časový vývoj průměrné spotřeby je zobrazen na obr. 1.7.

Zdroj [13] uvádí rozmezí spotřeby paliva různých sestav, většina dat je z modelů z roku 2015–2016. Spotřeba paliva vychází v rozmezí 30-35,2 l/100 km, kde nižší hranice reprezentuje tzv. „Best in class“, neboli nejlepší a nepokročilejší kamiony. Nejčastěji se spotřeba kamionů z toho vzorku pohybuje mezi 33-34 l/100km.

Článek [6] diskutuje spotřebu paliva typickou pro kamionovou dopravu v Evropě a v USA. Podle tohoto článku je běžná spotřeba průměrného kamionu v Evropě, v případě dálkové trasy 32,6 l/100km, s tím, že kamiony s nejnižší spotřebou paliva dosahují 29,9 l/100km.

V technické zprávě [13] je rovněž diskutován již zmíněný vliv hmotnosti nákladu a typických tras na spotřebu, tyto vlivy lze pozorovat níže v grafu na obr 1.8.



Obr. 1.8 Vliv hmotnosti a typických tras na spotřebu paliva – převzato z [13]

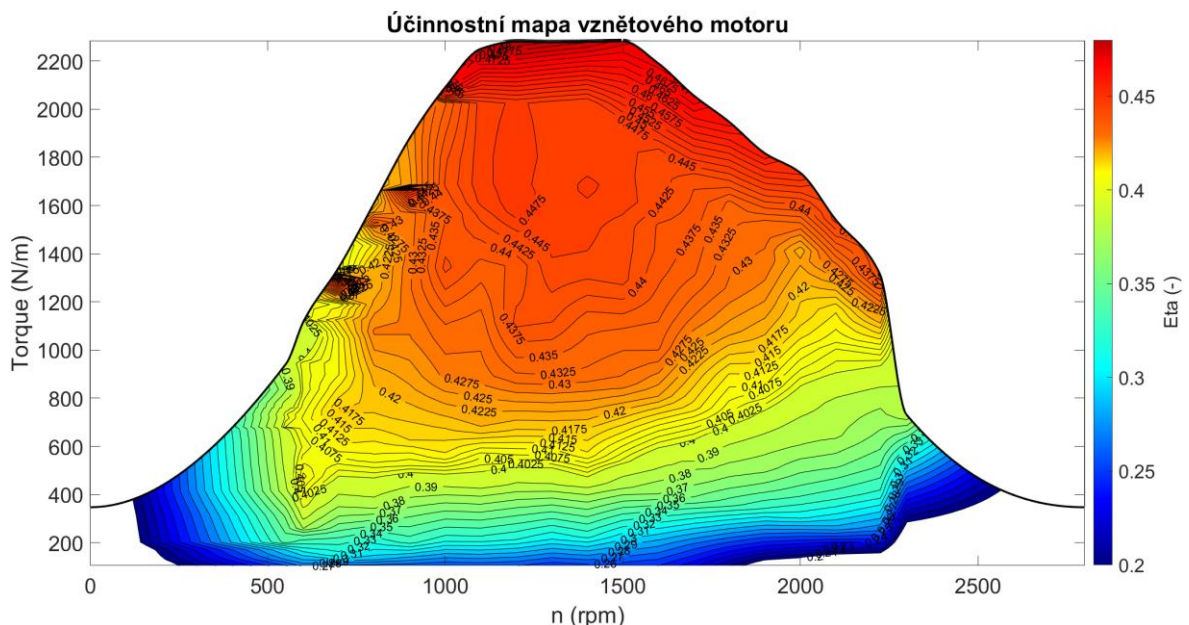
Vliv hmotnosti je vysvětlen v pravé části grafu, v sekci „Long Haul“. V této části je vidět, že při plně naloženém kamionu se pohybuje spotřeba paliva okolo 35 l/100km. Spotřeba poté klesá až k přibližně 23 l/100km v případě úplně prázdného kamionu. Další vliv na typickou spotřebu paliva lze pozorovat rovněž na obrázku, a to v rozdělení do 3 sekcí, tedy „Urban Delivery“, „Regional Delivery“ a „Long Haul“, kde každá reprezentuje

typickou trasu, reprezentovanou jízdním cyklem [14]. Trasy typu „Long Haul“, neboli trasy dálkové dopravy, se vyznačují dlouhými vzdálenostmi s typickou dálniční jízdou, tj. konstantní rychlostí s minimem akcelerací či brzdění. „Regional Delivery“ je typická rovněž dálniční jízdou, ale na kratší vzdálenosti, např. uvnitř státu mezi městy. Kvůli kratším vzdálenostem probíhá jízda v nižších rychlostech, s častějším brzděním a akceleracemi, což zvyšuje spotřebu paliva. Urban delivery již definuje nákladní dopravu uvnitř jednoho města, kde se jízda vyznačuje nižší rychlostí a velmi frekventovanými akceleracemi [12] [14].

2 Hnací ústrojí kamionů

2.1 Kamiony se vznětovým motorem

Nejrozšířenějším typem hnacího ústrojí v nákladní dopravě jsou vznětové motory. Hlavní důvody široké adopce (dieselového) motoru oproti zážehovému (benzinovému) v kamionové dopravě jsou podle [15] hlavně minimální energetické ztráty, odolnost a spolehlivost. Účinnost těchto motorů stoupla ze 35% v 80. letech 20. století až na 50%, kterých vznětové motory dosahují dnes. Těchto vysokých účinností ale vznětový motor nedosahuje ve všech pracovních bodech, pouze v bodech maximální účinnosti. Na obr. 2.1 níže je zobrazena účinnostní mapa moderního vznětového motoru používaného v kamionové dopravě.



Obr. 2.1 Účinnostní mapa typického vznětového motoru

Z účinnostní mapy je patrné, že bod nejvyšší účinnosti nastává na samém vrcholu, v oblasti maximálního momentu.

Z důvodu rostoucích nároků na redukci emisí skleníkových plynů jsou vyvíjeny nové technologie, které je omezí nebo úplně odstraní, např. částečná elektrifikace ve formě paralelních hybridů nebo využití tzv. e-paliva, které je významné díky tomu, že se vyrábí z obnovitelné energie, je tedy udržitelné oproti klasické naftě. [15]

2.2 Kamiony s elektrickým motorem

Kvůli již zmíněné nutnosti omezení emisí skleníkových plynů dostávají kamiony s elektrickým motorem větší prostor a výrobci se na tuto technologii čím dál tím více soustředí i přes to, že momentálně tvoří téměř nulovou část provozovaných kamionů. Velkou výhodou elektrických vozidel je samotný elektrický motor používaný v automobilovém průmyslu, běžně dosahující účinnosti přes 90%, což je dvojnásobkem účinnosti běžných vznětových motorů [16]. Dalším vlivem, který tlačí rozšíření elektrických kamionů jsou technologie baterií, které se díky vysoké energetické hustotě a sériovosti výroby stávají dostupnější [17].

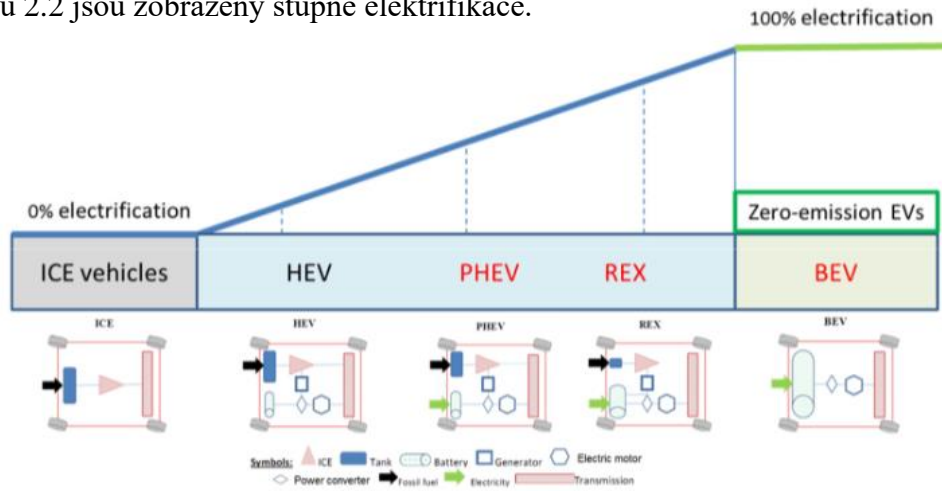
Nejčastěji používanými jsou motory asynchronní a synchronní. Synchronní motory se v dnešní době nejčastěji vyskytují ve formě s použitím permanentních magnetů [16] [18] a to zejména z důvodu vysoké účinnosti a výkonové hustoty. Tyto stroje mají ale zásadní nevýhodu, a tou je vysoká cena permanentních magnetů. Oproti tomu motory asynchronní nebo synchronní s vinutým rotorem jsou levnější a disponují vyšší přetížitelností, nevyrovňají se však z hlediska účinnosti [16] [18].

Elektrické kamiony mají ale rovněž mnoho faktorů limitujících jejich plnou adopci, tyto faktory popisují autoři [17] [18]. Hlavním limitujícím faktorem je samotná baterie, která i přes svou vysokou energetickou hustotu s využitím technologií Li-ion a snižující se cenou je stále velmi nákladná, tvoří přibližně 30% ceny vozidla. Baterie má rovněž vysokou hmotnost, což v případě nákladní dopravy není příznivé, jelikož se počítá do limitů váhy stanovené regulačními úřady [17]. Kapacita baterie se v případě kamionové dopravy pohybuje v rozmezí 400-800 kWh. Velikost těchto baterií limituje dojezd, který nyní činí dle velikosti baterie 250-400 km a způsobuje i problémy při dobíjení. Tyto kamiony jsou tedy kvůli limitovanému dojezdu omezeny na regionální dopravu a nejsou vhodné pro dálkové trasy. Další problém činí již zmíněné dobíjení, od kterého je požadována co největší rychlost, z toho důvodu je nutné velké množství výkonu. V případě masivního rozšíření této technologie by musely vzniknout dobíjecí stanice pro kamiony, které by byly schopny takové obrovské množství výkonu dodat pro mnoho kamionů najednou. To by vyžadovalo výrazné posílení energetické sítě v dané lokalitě. [17]

Z výše zmíněných faktorů je patrné, že pro masivní rozšíření této technologie jsou nutné výrazné investice a inovace, zejména v odvětví baterií.

2.3 Kamiony s hybridním elektrickým hnacím ústrojím

Vhodnost kombinace vznětového a elektrického motoru vystihuje [15]. Alespoň částečné elektrifikaci vozidel se za platných legislativních podmínek nelze vyhnout, na obrázku 2.2 jsou zobrazeny stupně elektrifikace.



Obr. 2.2 Stupně elektrifikace vozidel – převzato z [19]

Prvním stupněm jsou tzv. HEV, (hybrid electric vehicle), jejich součástí jsou „Mild hybrids“, které se značí baterií o vyšší kapacitě a obvykle také vyšším napětím než klasické automobilové (12 V) nebo používané v kamionech (24 V). Dalším znakem mild hybridů je spojení elektrického stroje s vznětovým motorem. Pro generaci elektrické energie se nepoužívá klasický alternátor, ale používá se univerzální elektrický stroj v generátorickém režimu, který rovněž slouží ke generaci elektrické energie v případě brzdění při tzv. regeneračním brzdění. Nejen, že se používá tento elektrický stroj k generaci elektrické energie, ale rovněž přispívá k celkovému momentu v případě akcelerace. Všechny tyto faktory přispívají nejen k úspoře paliva a tím i emisí skleníkových plynů, ale rovněž díky optimalizaci pracovního bodu i ke zvýšení celkové účinnosti vznětových motorů. [15] [20]

Do další skupiny se řadí PHEV (Plug – in hybrid electric vehicle), které se oproti HEV značí baterií s vyšší kapacitou a dalším snížením spotřeby paliva, ale s tím i zvýšenou cenou vozidla. Již z názvu plyne další vlastnost těchto vozidel, a to, že se dají připojit a dobít z elektrické sítě. [15]

Poslední skupinou hybridů před samotnou plnou elektrifikací jsou hybridy se značením REX, s tzv. „range extendery“. Vozidla spadající do této kategorie jsou plnohodnotná elektrická vozidla, která disponují ještě doplňkovým spalovacím strojem, umožňující prodloužit dojezd nižší rychlostí. Tato vozidla se běžně pokládají za plně elektrická, díky

kapacitě baterie, která je na úrovni klasických bateriových elektrických vozidel (BEV). [20]

Závěrem lze říci, že hybridní elektrická hnací ústrojí se v kamionové dopravě jeví jako klíčová technologie při snižování emisí, která umožní postupný přechod na plně elektrická vozidla, přičemž v současné době masové nasazení čistě bateriových pohonů v kamionové dopravě těžko představitelné hlavně kvůli nevýhodám již zmíněným v kapitole 2.2. [15] [20]

3 Solární energie

3.1 Technologie solárních článků

Díky značným investicím do vývoje nových technologií fotovoltaických článků a solární energie obecně se v posledních patnácti letech počet inovací v exponenciálně zrychlil. V této kapitole jsou popsány používané a perspektivní technologie, spolu s trendy, které jsou typické pro posledních pár let. [21] [22] [23]

Krystalický křemík

Technologií, která je na trhu nejvíce rozvinutá, je technologie krystalického křemíku, tedy polykrystalického a monokrystalického. Rozšířenost je způsobena zejména z historického hlediska. Díky již pokročilému vývoji a zvládnuté výrobní stránce jsou články tohoto typu nejrozšířenější, tato technologie zachycuje až 95 % světové produkce fotovoltaických modulů. Monokrystalické solární panely dokonce dosahují až na 80 % světové produkce [23]. Rekordní účinnost konverze energie této technologie dosahuje u monokrystalických modulů 24,4 % a u polykrystalických 20,7 %. Při kontinuálním výzkumu a inovacím v technologii modulů krystalického křemíku, zejména v oblasti multi – junction je teoreticky možné dosáhnout až 40 % účinnost konverze energie. [21] [23]

Thin film a perovskity

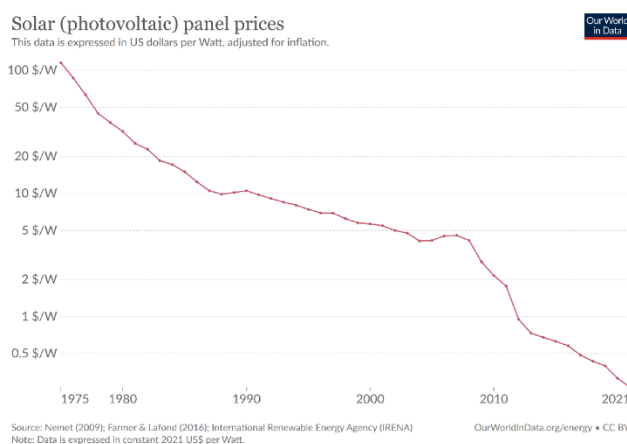
Technologie thin film a perovskitů je pro budoucí aplikace solárních článků velice perspektivní. Tyto materiály mají obrovský potenciál zejména z důvodu vysoké výkonnosti, jednoduchého škálování formou tisku a vysoké účinnosti kombinované s nízkou cenou [23]. Už z názvu thin film je patrné, že tyto články jsou velice tenké a mají perspektivní využití například v odvětvích vyžadujících flexibilitu materiálu a částečnou propustnost světla. Už od objevení v roce 2009 dosahovala tato technologie účinnosti 3,8%. Za více než 12 let vývoje dosahují laboratorní vzorky účinnosti 25,7% a samotné moduly dokonce 17,9%. Očekává se, že účinnost modulů založených na technologii perovskitů bude na úrovni nynějších klasických fotovoltaických panelů do 5 let. Předpokládá se, že se perovskity stanou nízkonákladovou, stabilní technologií s vysokou účinností konverze energie. Všechny tyto vlastnosti umožní aplikaci v mnoha odvětvích, od infrastruktury, v odvětví BIPV (Building integrated Photovoltaics). až po integraci do vozidel. [21] [23]

Multi - Junction a tandemové technologie

Účinnost fotovoltaických článků s jedním přechodem P-N se blíží praktickým limitům, díky multi - junction technologii ale kombinací několika materiálů a s tím i přechodů P-N lze dosáhnout mnohem vyšší úrovně účinnosti. Nejvyšší takto dosažená účinnost u multi - junction článku je 47,1%, v případě modulu to je 32,56%. Zejména kombinace křemíkových a perovskitových přechodů dosahuje nižších nákladů, s vysokou účinností dosahující 31,25%. Tato technologie se v minulosti používala zejména pro specializované aplikace, např. ve vesmíru, kde je omezená plocha a tím pádem je co nejvyšší účinnost požadována pro generaci dostatku energie. Pro aplikace na Zemi a generaci elektrické energie ale tato technologie prozatím nedokáže konkurovat klasickým panelům s jedním přechodem. Cena multi - junction panelů ale klesá, a to zejména díky již zmíněné levné integraci perovskitů. [21] [23]

3.2 Trendy solárních technologií

Hlavním limitujícím faktorem adopce solární energie je cena samotných solárních panelů. Historie vývoje ceny solárních článků vztahovaná na 1 W je zobrazena na obr. 3.1.



Obr. 3.1 Vývoj ceny fotovoltaických panelů – převzato z [24]

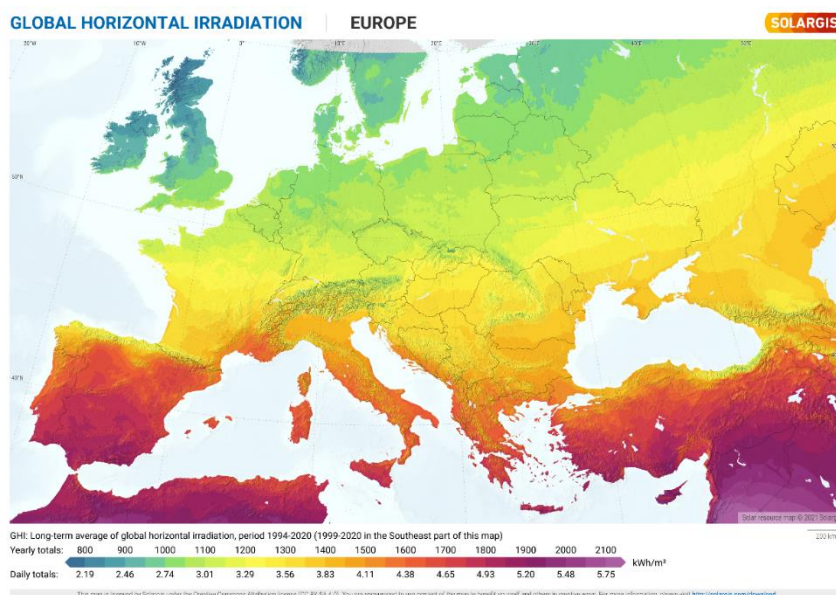
Lze pozorovat výrazný pokles ceny nejen za posledních 50 let, ale výrazný pokles ceny nastal i za posledních 10 let, kde je vidět pokles z přibližně 2 \$/W na dnešních 0,3 \$/W, což značí více než 6–ti násobný pokles ceny solárních panelů. Tento vývoj ceny je způsoben zejména vývojem účinnosti z průměrných 14,7% na 20,9% a optimalizací výrobních procesů. Razantní nárůst účinnosti byl dosažen zejména díky vývoji a sériovosti výroby technologie PERC (Passivated Emitter and Rear Cell). [21] [22] [23]

Využití solární energie se rozšiřuje do mnoha perspektivních odvětví, např. v zemědělství, v tzv. „Agrivoltaics“ optimalizací využití půdy pro současnou

produkcí jídla a elektrické energie, která může být následně využita samotnou farmou nebo odprodána do energetické sítě. Další perspektivní využití je v tzv. „Vehicle integrated photovoltaics“ (VIPV), ve formě napájení jednotlivých funkcí vozidla nebo využití elektrické energie jako hnacího prvku. [21]

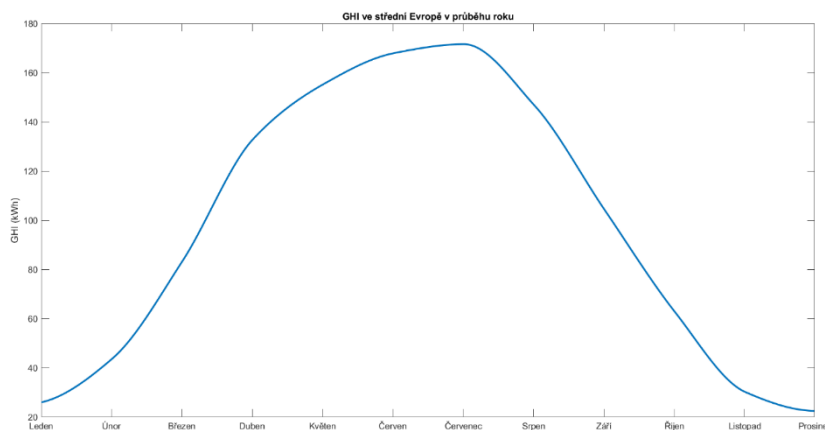
Díky rostoucímu trendu účinnosti, inovacím v materiálech, konstrukci a dalším zefektivňováním výrobního procesu lze očekávat kontinuální pokles ceny fotovoltaických článků a rozšíření aplikace nejen na střechy budov a fotovoltaické elektrárny.

3.3 Potenciál využití solární energie v Evropě



Obr. 3.2 Globální horizontální ozáření v Evropě – převzato z [25]

Z dat dostupných z [25] lze vyčíst hodnoty globálního horizontálního ozáření (GHI), tato data lze rovněž pozorovat na mapě na obr. 3.2, která zobrazuje hodnoty typické pro jednotlivé části Evropy v ročních a zároveň denních průměrech. Lze pozorovat, že ve směru ze severu na jih se hodnoty GHI zmenšují, specificky v jižní části Švédska jsou hodnoty skoro poloviční oproti oblasti jižního Španělska. Z těchto dat je patrné, kde je využití solární energie nejperspektivnější. V Evropě je to hlavně jižní část kontinentu, zejména ve Španělsku. Vyšší teplota má naopak na účinnost solárních panelů negativní vliv. Zejména v letních měsících, kdy teploty ve Španělsku a na jihu Evropy šplhají ke 40 °C účinnost solárních panelů klesá [26].



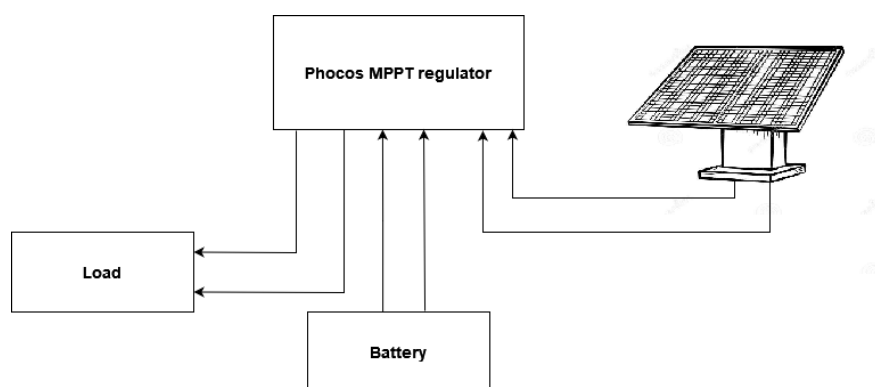
Obr. 3.3 Horizontální ozáření v průběhu roku ve střední Evropě

Na obr. 3.3 lze pozorovat celkovou využitelnou solární energii za měsíc ve střední Evropě v závislosti na jednotlivých měsících, konkrétně ve středu České republiky. Data byla získána pomocí systému Photovoltaic Geographical Information System (PVGIS) od Evropské komise, dostupném na [27]. Hodnoty pro jednotlivé měsíce byly vyčteny z databáze mezi roky 2005 a 2020 a následně zprůměrovány pro co nejpřesnější výsledky. Z grafu na obr. 3.3 je patrné, že nejvyšší hodnoty sluneční energie ve střední Evropě jsou k dispozici v létě, zejména v červnu a červenci. Nejnížší hodnoty solární energie naopak nastávají v měsících listopad–leden. V těchto měsících se nacházíme na přibližně osmině až devítině celkové energie dostupné v létě. To je způsobeno zejména nižší intenzitou osvětlení a rovněž délkou dní, které jsou v zimě nejkratší, a naopak v létě nejdelší. Mezi zimou a létem, které se značí minimem a maximem energie záření, lze pozorovat jaro a podzim jako přechodná období, kdy se dny zkracují nebo prodlužují spolu s klesající nebo rostoucí intenzitou záření.

4 Návrh pomocného pohonu a solárního zdroje

4.1 Měření potenciálu solární energie v podmínkách střední Evropy

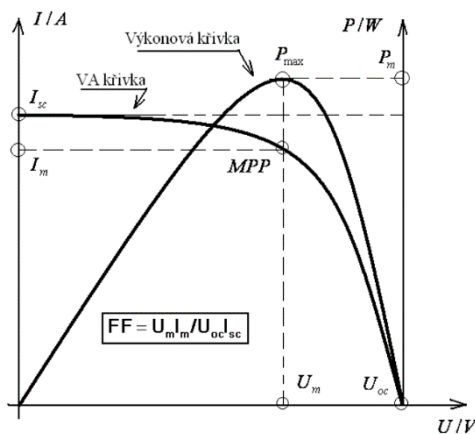
Pomocí vzorku solárního panelu bylo provedeno měření ve dvou ročních obdobích, zejména z důvodu ověření dat z internetu. Samotné měřicí stanoviště bylo uvedeno do provozu na počátku prosince 2022 a měření bylo ukončeno v polovině května 2023. Celá sestava byla umístěna v Ústí nad Labem na severozápadě České republiky.



Obr. 4.1 Blokové schéma měřicího stanoviště

Blokové schéma měřicího stanoviště je naznačené na obr. 4.1, skládá se ze 4 částí. První částí je samotný solární panel, který bylo nutné dimenzovat na dostatečný výkon, aby zajistil napájení regulátoru, dobíjení baterie přes den a kryl spotřebu zátěže. Vybrán byl panel s výkonem 45 Wp od výrobce Victron Energy.

Další součástí měřicího stanoviště je MPPT regulátor (Maximum Power Point Tracking) od výrobce Phocos. Regulátor MPPT je nutný pro solární systémy a zajišťuje maximálního využití dostupné solární energie pomocí sledování bodu maximálního výkonu MPP. V-A a výkonová charakteristika je zobrazena níže na obr. 4.2.



Obr. 4.2 V-A a výkonové charakteristiky fotovoltaického článku – převzato z [28]

Součástí měřicí sestavy je rovněž i zátěž, tvořená LED žárovkou a baterie, která hradí energii nutnou pro napájení MPPT regulátoru v době nedostatečného osvětlení. Olověná baterie byla dimenzována s kapacitou 7,2 Ah.

Pro měřicí sestavu byla zásadní plynulost provozu, nezávislost na počasí a chod systému bez nutného zásahu. Z tohoto důvodu byly všechny parametry jednotlivých součástí měřicího řetězce dimenzovány s určitou rezervou.



Obr. 4.3 Sestava pro měření intenzity osvětlení

Na obr. 4.3 lze vidět fotografie měřicí sestavy. Fotovoltaický panel byl orientován v horizontální poloze pro navození podmínek na střeše kamionu.

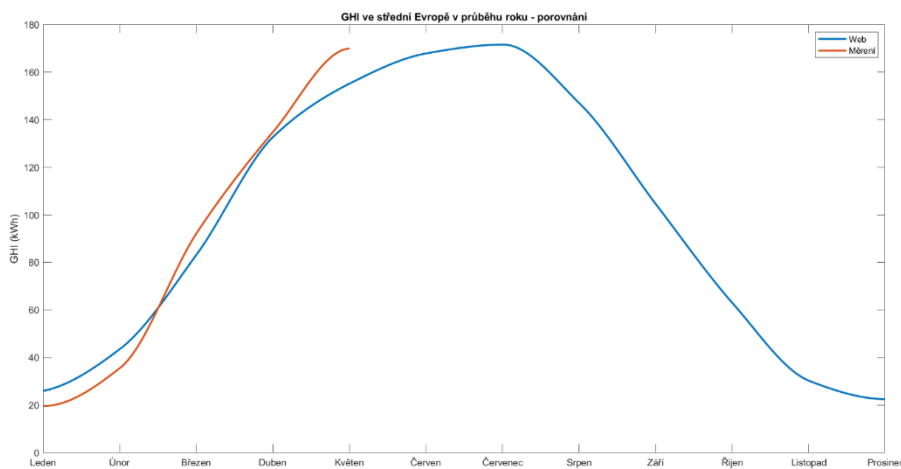
MPPT regulátor rovněž disponuje pamětí a ukládá statistiky v denní, týdenní a měsíční formě. Statistiky byly stahovány každý týden provozu pro co největší přesnost a následné vyhodnocení. Během měření nevznikaly žádné komplikace a nebyly pozorovány žádné výpadky provozu. Uvažované rezervy se jeví, jako správně zvolené.

4.2 Porovnání dat z internetu se změřenými daty

Tab. 4.1 Změřené a vypočtené hodnoty v průběhu 6 měsíců

Naměřené hodnoty			Den		Měsíc	
Měsíc	I_{avg} (A)	U_{avg} (V)	P_{avg} (W)	P (Wh)	GHI (Wh/m ²)	GHI (kWh/m ²)
Prosinec	0,43	12,38	3,22	26,33	585,17	18,14
Leden	0,44	12,46	3,31	28,50	633,29	19,63
Únor	0,73	12,61	5,65	57,44	1276,36	35,74
Březen	1,45	12,74	11,29	134,32	2984,78	92,53
Duben	1,89	12,77	14,69	202,69	4504,28	135,13
Květen	2,04	12,78	15,91	246,66	5481,27	169,92

V tabulce 4.1 lze vidět jednotlivé naměřené a vypočtené hodnoty. Naměřené hodnoty proudů a napětí byly zprůměrovány v rámci dní a týdnů, pro dosažení co nejpřesnějších výsledků. Následně je podle délky dne [29] vypočten celkový výkon za den ve Wh a podle velikosti panelu a účinnosti vypočteno GHI ve Wh/m². Podle délky jednotlivých měsíců, ve kterých měření probíhalo byly ještě výsledky vynásobeny počtem dní.



Obr. 4.4 Porovnání dat z [27] a vlastního měření realizovaného v období 12/2022–05/2023

Na obr. 4.4 lze pozorovat již samotné porovnání změřených a zprůměrovaných dat z internetových zdrojů v zeměpisných podmínkách střední Evropy. Naměřený průběh se neodchyluje od křivky získané z [27] a sleduje trend, do kterého se promítají roční období. Největší odchylka nastává v květnu (20 kWh/m²), kdy bylo příznivé, slunné počasí. Zároveň v zimních měsících byla tento rok pozorována nadměrná oblačnost a sněžení. Sníh z důvodu nepřítomnosti v lokalitě měření nebyl každý den odstraňován, což

mělo rovněž negativní vliv na změřené hodnoty. Na druhou stranu pravděpodobně nelze v cílové aplikaci očekávat důsledné každodenní čištění FVE střechy návěsu.

Nicméně trend nárůstu slunečního záření a obecně celkové solární energie se podobá hodnotám dostupným na internetu, lze tedy pokládat internetové zdroje i naměřené hodnoty za podobné a důvěryhodné.

4.3 Návrh solárního zdroje

Největším limitujícím faktorem návrhu solárního zdroje pro návěs kamionu je samotná plocha návěsu. Návěsy mají různé rozměry a zároveň existují i různé typy, které se běžně využívají. Pro solární zdroj koncipovaný v této diplomové práci byl zvolen typický návěs [30] o délce 13,6 m a šířce 2,46 m s celkovou plochou střechy 33,456 m².

Pro výběr rozměrů, počtu a typu solárních panelů se musí s touto plochou počítat a co nejefektivněji ji využít, pro detailnější náhled do problematiky byly navrženy 3 možnosti řešení. Počet instalovaných panelů lze určit po zaokrouhlení z podílu celkové plochy střechy návěsu a plochy jednoho panelu jako:

$$N_{panel} = \left(\frac{l_{naves}}{l_{panel}} \right) \cdot \left(\frac{w_{naves}}{w_{panel}} \right), \quad (4.1)$$

kde N_{panel} (-) je počet panelů, které se vejdou na střechu návěsu, l_{naves} (m) je délka návěsu, l_{panel} (m) je délka panelu, w_{naves} (m) je šířka návěsu a w_{panel} (m) je šířka panelu.

Po podrobné rešerši dostupných fotovoltaických panelů na trhu byly vybrány následující možnosti:

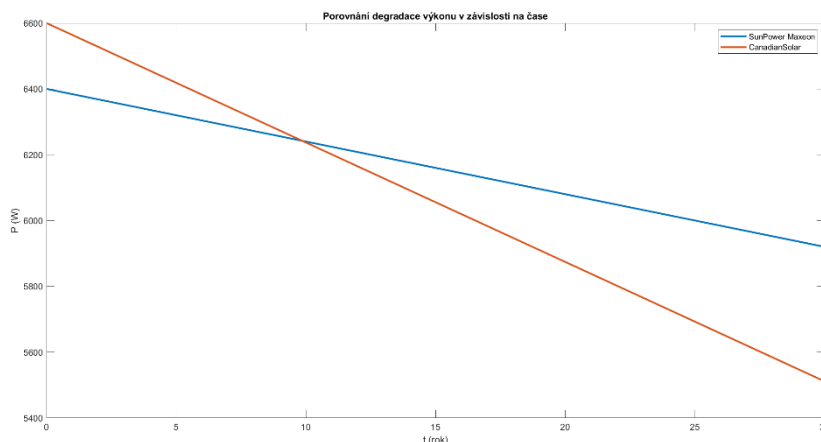
- 1) Komerčně dostupné monokrystalické solární panely s vysokou účinností 21,5 % od společnosti Canadian solar s výkonem 550 Wp. Tyto panely mají rozměry 2,261x1,134 m s hmotností 27,8 kg. Panely rovněž mají garantovanou roční degradaci původního výkonu 2 % za první rok a 0,55% na další roky po dobu 25 let. Kompletní katalogový list je uveden v příloze 1.
- 2) Premiové komerčně dostupné solární panely s účinností 22,6 % od společnosti SunPower z řady MAXEON 3, která je známa svou rekordní účinností a odolností. Panely mají nominální výkon 400 Wp, rozměry 1,69x1,046 m a hmotnost 19 kg. Výrobce rovněž poskytuje garanci degradace za první rok do max 2% a následující roční degradaci o 0,25% původního výkonu po dobu 25 let. Kompletní katalogový list je uveden v příloze 2.

3) Integrace solárních panelů přímo do návěsu, účinnost těchto solárních panelů byla stanovena totožná s druhou možností řešení na 22,6%.

Tab. 4.2 Návrhy řešení solárního zdroje na střeše kamionu

Panely	η (%)	S_{panel} (m ²)	n_{panel} (-)	S_{celk} (m ²)	P (Wp)
SunPower	22,6	1,77	16	28,28	6400,00
CanadianSolar	21,5	2,56	12	30,77	6600,00
Integrace	22,6	33,00	x	33,00	7458,00

V tabulce 4.2 jsou vypsány jednotlivé návrhy řešení s celkovou využitou plochou a dostupným výkonem z panelů ve Wp. Lze usoudit, že nejlepší využití plochy jednoznačně dosáhneme využitím integrace solárních panelů přímo do střechy návěsu. Nejen že je v tomto případě dostupný nejvyšší výkon, ale rovněž by neutrpěl koeficient aerodynamického odporu C_d , který by v případě zbylých dvou řešení rozhodně narostl, což by mělo nepříznivý vliv na spotřebu paliva. Dalším faktorem, který ovlivňuje výkon solárního zdroje je účinnost solárních panelů. Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.2, tak účinnost komerčně dostupných solárních článků výrazně za posledních 10 let vzrostla. Výběr vhodných panelů, disponující dostatečnou účinností s ohledem na cenu tedy není příliš složitý. Další faktor, který má vliv na výběr řešení solárního zdroje, je odolnost proti vnějším vlivům a zatížením, kterým by panely zejména v zimních měsících byly vystaveny, např. sněhu a ledu. Kromě této fyzické odolnosti je nutné brát v potaz stárnutí celého systému. Solární panely mají od výrobce předepsanou garantovanou degradaci původního výkonu, která je v případě panelů SunPower Maxeon poloviční oproti panelům CanadianSolar. Porovnání degradace těchto dvou panelů je uvedeno níže v grafu na obr. 4.5.



Obr. 4.5 Výkon panelů v závislosti na čase

Z grafu lze vidět, že se zvyšující se dobou provozu návěsu kamionu hraje degradace velkou roli, využitelný výkon těchto dvou řešení se i přes nižší původní instalovaný výkon panelů SunPower Maxeon protne desátým rokem provozu a s plynoucím časem vychází výkonově lépe panely s nižší roční degradací.

Všechny výše popsané faktory hrají velkou roli ve výběru technologie solárního zdroje. Kvalitnější panely SunPower Maxeon se v ohledech mechanické a časové odolnosti jeví jako lepší řešení, jsou ale podstatně dražší. Integrace solárního zdroje přímo do návěsu se jeví jako optimální řešení, ale narážíme zde na problematiku vývoje návěsu s touto možností a s tím spojeným problémem vysoké ceny.

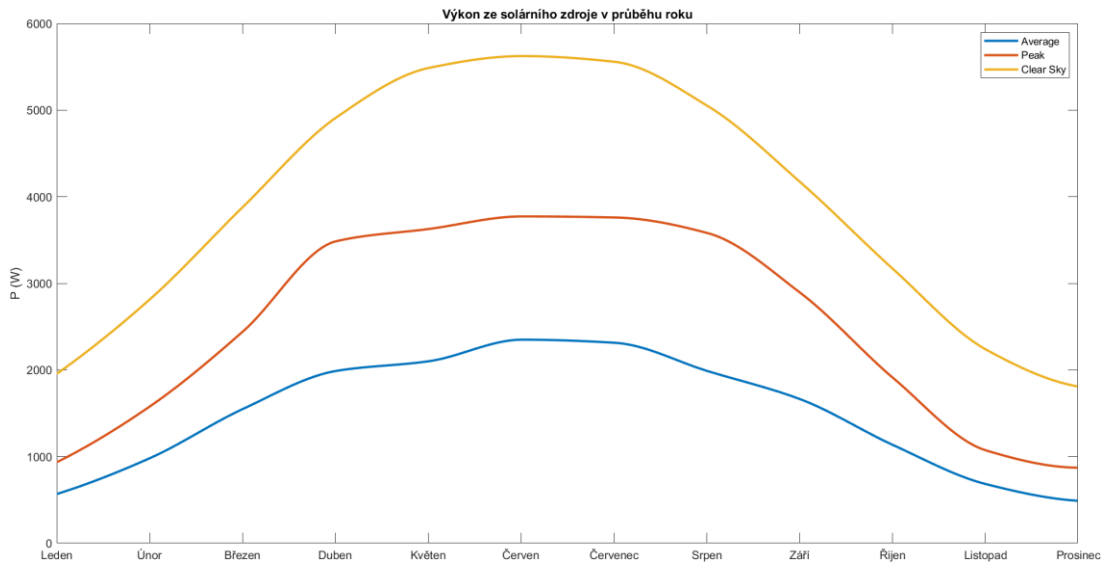
V případě realizace v praxi se z hlediska využití plochy a maximálního výkonu jeví jako nejlepší možnost kombinace řešení integrace a prémiových solárních panelů, například již zmíněných SunPower Maxeon 3. Tato kombinace je ale finančně náročnější, a proto musí kamionoví dopravci zvážit návratnost tohoto řešení.

Pro sestavený model bylo zvoleno řešení se solárními panely SunPower Maxeon 3, bez integrace do návěsu.

4.4 Návrh pomocného pohonu

Klíčový faktor, který hraje největší roli při návrhu pomocného pohonu je samotný výkon fotovoltaického zdroje navržený v podkapitole 4.3 na hodnotu 6400 Wp, situaci ale komplikuje jeho proměnlivost. Maximální instalovaný výkon je stanovený pro intenzitu osvětlení 1000 W/m^2 při laboratorních podmínkách. Při návrhu pomocného elektrického stroje bylo ale i s touto možností počítáno a stroj je i tento výkon schopný využít. Volba jmenovitého bodu stroje byla vztažena k předběžně zpracovanému dostupnému výkonu v průběhu dne a roku, byl tedy žádoucí pohyb v oblasti vysoké účinnosti po co nejdelší část doby provozu.

Na obr. 4.6 je zobrazen uvažovaný výkon z navrženého solárního zdroje v podmínkách střední Evropy v průběhu roku. Lze vidět průměrné a maximální hodnoty v jednotlivých měsících. Lze rovněž říci, že elektrický výkon solárního zdroje se bude nejčastěji pohybovat mezi 1000–2500 W, s tím že v letních měsících lze okolo dvanácté hodiny (znázorněno červenou barvou jako peak) očekávat výkon skoro 4 kW. V případě ideálních podmínek, tj. vysoké intenzity záření a nulové oblačnosti, (zobrazeno žlutou barvou a označeno jako „Clear sky“) je zdroj schopen dodat v letních měsících skoro 6 kW. Všechny tyto okolnosti, jak již bylo zmíněno v předchozím odstavci byly brány v potaz při návrhu stroje.



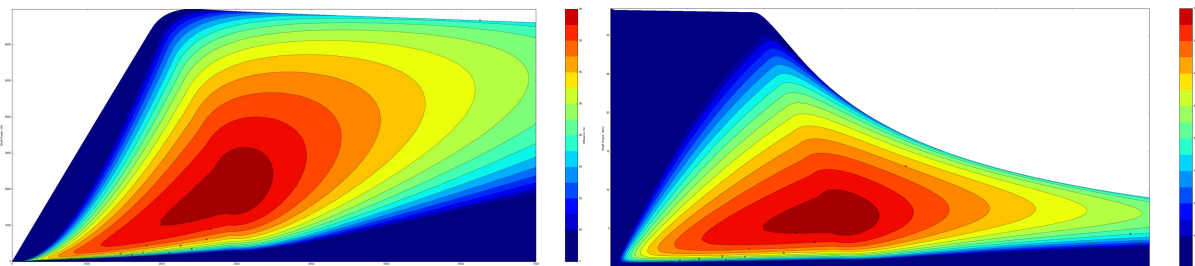
Obr. 4.6 Výkon solárního zdroje v průběhu roku

Na základě uvažovaných výkonů byly navrženy parametry synchronního stroje s permanentními magnety (PMSM). Uvažované parametry jsou uvedeny v tabulce 4.3.

Tab. 4.3 Základní parametry stroje

Typ stroje	PMSM
Maximální výkon (W)	6500
Maximální točivý moment (Nm)	33
Maximální otáčky (ot/min)	7000
Optimální výkon provozu (W)	2000
Jmenovité otáčky (ot/min)	3000

Na základě navržených parametrů poskytlo Oddělení elektrických strojů katedry KEV účinnostní mapu stroje. Charakteristiky lze pozorovat níže na obr. 4.7. Pro vyšší čitelnost jsou charakteristiky rovněž uvedeny v příloze 3.



Obr. 4.7 Charakteristiky navrženého stroje – P-n (vlevo), M-n (vpravo)

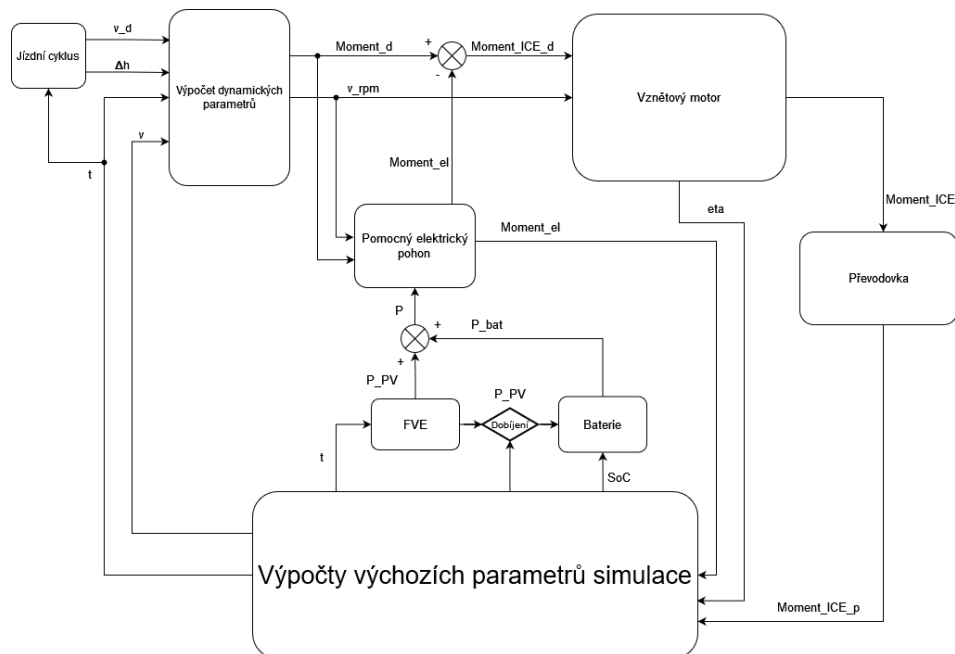
4.5 Varianta pomocného pohonu s FVE a bateriovým úložištěm

Pro účely lepšího využití solární energie byla navržena další varianta pomocného pohonu s FVE, konkrétně varianta s trakční baterií o kapacitě 10 kWh. Rozšíření pohonu o baterii se nabízí vzhledem k charakteru provozu kamionové přepravy, kdy řidiči dle platné legislativy musejí po 4,5 hodinách jízdy dodržovat stanovenou přestávku o délce 45 minut. Přestávka přitom velmi často probíhá v denních hodinách, kdy je k dispozici sluneční záření, které nelze ve variantě pomocného pohonu bez baterie využít.

Byla navržena baterie s uchovatelnou energií 10 kWh. K tomuto číslu jsem došel z předběžného zkoumání účinnostní mapy pomocného pohonu. V zimě se bude pohon pohybovat ve velice nízkých účinnostech a tím pádem bude potřebovat pro optimální využití dostupné solární energie povzbudit. Rovněž hrála roli délka tras, kdy trasy, které byly zkoumány mají délku 5 a 9 hodin a tím pádem je žádáno, aby baterie vydržela po celou dobu jízdy. Pro již zmíněné dosažení optimální účinnosti je nutné v zimních měsících podpořit solární zdroj přibližně 1 kW výkonu. Z těchto kritérií bylo tedy vycházeno a při 9-ti hodinové jízdě a kontinuálním uvažovaném odběru 1 kW bylo dosaženo číslo 9 kWh, následně byla ještě přidána rezerva 1 kWh.

5 Matematický model nákladního vozidla s návěsem

5.1 Kompletní matematický model



Obr. 5.1 Blokový diagram MATLAB modelu

Blokový diagram modelu v programu MATLAB je zobrazen na obr. 5.1. Pro další popis je matematický model rozdělen do chronologicky navazujících částí. Podkapitola 5.2 bude pojednávat o vstupní výpočtové části, do které je zahrnut jízdní cyklus a výpočet dynamických parametrů. Podkapitola 5.3 se zabývá matematickým modelem implementovaného vznětového motoru a převodovky. Podkapitoly 5.4 a 5.5 se zabývají implementací FVE na návěsu kamionu, elektrického pohonu a následně i rozšířením o bateriové úložiště. Podkapitola 5.6 se nakonec zabývá výchozími výpočty pro další krok jízdního cyklu. Kompletní kód simulace je uveden v příloze 4.

5.2 Vstupní výpočtová část

Blok jízdního cyklu je vyhodnocován na základě tabulky ve formě rychlostního a výškového profilu nasnímané trasy. Jednotlivé nasnímané časové body jsou rovnoměrně rozloženy podle simulačního kroku $dk = 0,1$. Poté je interpolován nasnímaný rychlostní a výškový profil přes vypočtený krok simulace z důvodu rozložení podle simulačního kroku. Výstupem tohoto bloku je požadovaná rychlost v_d , která je limitována na hodnotě 90 km/h z důvodu omezení rychlosti kamionové dopravy. Výstupem bloku je rovněž změna v nadmořské výšce Δh , vycházející z výškového profilu trasy.

Vstupem do bloku „výpočet dynamických parametrů“ jsou kromě zmíněné rychlosti a změny nadmořské výšky rovněž parametry samotného kamionu, které jsou zahrnuty v inicializaci modelu. Všechny inicializační parametry byly vybírány na základě dat a údajů ke vznětovému motoru, zejména jeho výkonu (345 kW), které poskytl Ústav automobilů, spalovacích motorů a kolejových vozidel, spadající pod Fakultu strojní ČVUT. Parametry poskytnutého motoru jsou uvedeny níže v tabulce 5.1.

Tab. 5.1 Parametry poskytnutého vznětového motoru.

Typ motoru	Vznětový
Zdvihový objem motoru (cm ³)	11118
Jmenovitý výkon (kW)	345
Maximální točivý moment (Nm)	2280
Maximální povolené otáčky (ot/min)	2800

Inicializační parametry: - $C_d = 0,589$ – Koeficient aerodynamického odporu
 - $g = 9,81$ m/s – Gravitační zrychlení
 - $m_t = 8,5$ t – Hmotnost tahače kamionu
 - $m_n = 31$ t – Hmotnost návěsu kamionu s nákladem
 - $r_k = 0,5475$ m – Poloměr kola kamionu
 - $A = 7,9655$ m² – Nárazová plocha kamionu
 - $\rho_v = 1,29$ kg/m³ – Hustota vzduchu
 - $f_{rol} = 0,008$ – Koeficient valivého odporu pneumatik

Koeficient aerodynamického odporu se u kamionů spojenými s návěsem podle [31] a [32] pohybuje v rozmezí 0,5-0,7. Hodnota 0,589 byla převzata z [33], [6] potvrzuje její správnost a reprezentuje kamion s přídatnými aerodynamickými prvky ve formě deflektoru a lopatek na stranách kabiny. Hmotnost tahače kamionu byla odvozena od maximálních povolených hmotností [33], konkrétní provozní hmotnost byla převzata z [35] a následně navýšena na 8,5 t. Poloměr kola kamionu r_{kolo} byl převzat z [36]. Nárazová plocha kamionu byla vypočtena z rozměrů kabiny Globetrotter [37]. Koeficient valivého odporu pneumatik se podle [38] a [39] v případě pneumatik kamionové dopravy v dotyku s asfaltem pohybuje v rozmezí 0,006-0,01. Byla zvolena hodnota 0,008 jako průměr uvedených okrajových hodnot.

Na základě uvažovaných parametrů nákladního vozu jsou jízdní odpory vypočteny podle vzorců uvedených v kapitole 1. Odpor zrychlení nebyl uvažován z důvodu

náročnosti a nejasnosti určení součinitele rotačních částí. Tyto odpory se následně uplatní pro výpočet nutné tažné síly a momentu pro dosažení požadované rychlosti v příštím kroku. Tažná síla je dána jako:

$$F_{t_d} = (a_d \cdot m) + R_c, \quad (5.1)$$

kde F_{t_d} (N) je požadovaná tažná síla, a_d (m/s^2) je požadované zrychlení, m (kg) je celková hmotnost kamionu i s návěsem a R_c (N) je celkový jízdní odpor působící proti kamionu.

Požadovaný moment na kolo je následně vypočten jako:

$$M_d = F_{t_d} \cdot r_k, \quad (5.2)$$

kde M_d (Nm) je požadovaný točivý moment na kole, F_{t_d} (N) je požadovaná tažná síla a r_k (m) je poloměr kola.

Následně se přepočte aktuální rychlost na otáčky motoru za minutu podle:

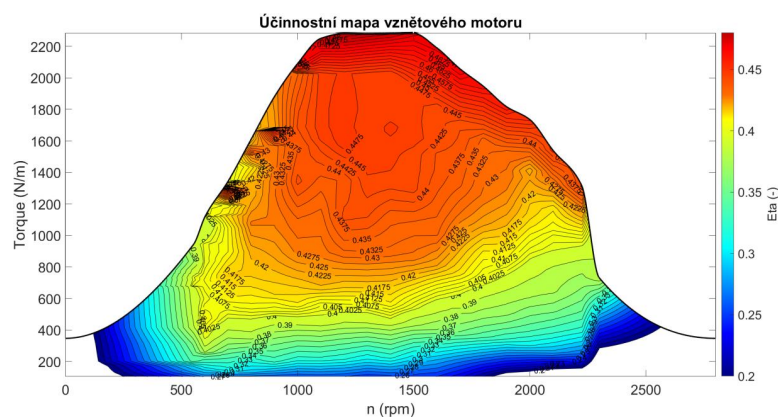
$$n = \frac{v}{(2 \cdot \pi \cdot r_{kolo}) * 60}, \quad (5.3)$$

kde n (ot/min) je rychlost otáčení kola a v (m/s) je rychlost vozidla.

Požadovaný moment M_d a rychlost otáčení kola n tvoří výstupy z bloku „výpočet dynamických parametrů“.

5.3 Matematický model vznětového motoru a převodovky

Blok vznětového motoru má 2 vstupy, požadovaný moment od motoru a otáčky kola. Účinnostní mapa vznětového motoru je zobrazena na obr. 5.2. Lze pozorovat vyšší účinnost v oblasti maximálního momentu. Optimální bod provozu tohoto motoru se jeví v rozmezí otáček 1000–1500 ot/min, kde lze dosáhnout maximálního momentu a vysoké účinnosti.



Obr. 5.2 Účinnostní mapa vznětového použitého vznětového motoru

Výše zmíněný optimální rozsah otáček je využit v implementaci převodovky. Při návrhu modelu 12-ti stupňové převodovky byla snaha optimalizace pro dosažení

výsledků blíží se chování reálné převodovky. Z iterací řešení vyšlo, že nejlepší z hlediska účinnosti je, aby se otáčky vznětového motoru pohybovaly v okolí 1100 ot/min, proto byl implementován jednoduchý algoritmus, který přepíná zařazený stupeň na základě tohoto poznatku.

Samotné hodnoty převodových stupňů byly převzaty z dokumentu IVECO STRALLIS, uvedeného v příloze 5. Hodnoty jsou vypsány níže v tabulce 5.2.

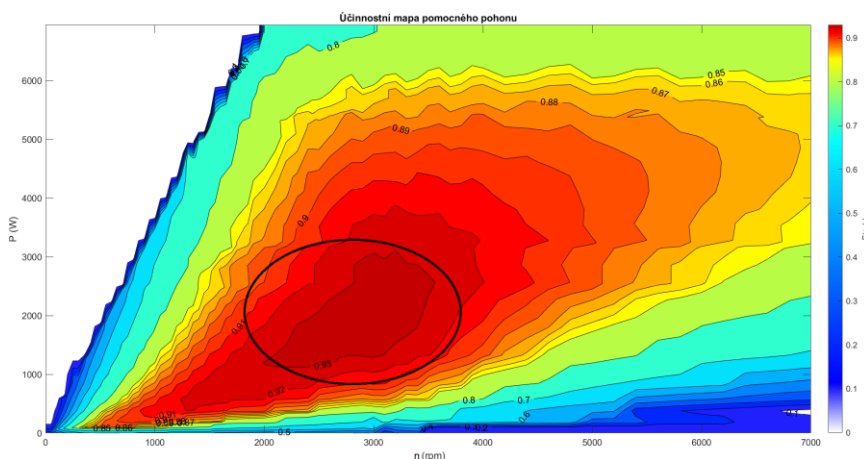
Tabulka 5.2 Převodové stupně a převodové poměry použité v modelu.

Převodový stupeň	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Převodový poměr	15,86	12,33	9,57	7,44	5,87	4,57	3,47	2,7	2,1	1,63	1,29	1

Nejprve se přepočtou otáčky n_k na n_{ICE} pomocí převodového poměru zařazeného stupně pouhým vynásobením. Následně se vybere podle požadovaného momentu pomocí interpolace na kolo moment od vznětového motoru. Moment, který je vznětový motor schopen dodat je limitovaný ohraničením účinnostní mapy. Přes převodový poměr je následně vypočten moment na kolo, rovněž pouhým vynásobením převodovým poměrem.

5.4 Matematický model pomocného elektrického pohonu a FVE

V této části jsou do modelu přidány bloky FVE a pomocného pohonu. Model FVE na základě času vyhodnocuje využitelný výkon ze solárního zdroje, a to pomocí interpolace bodů z charakteristiky GHI.



Obr. 5.3 Účinnostní mapa pomocného pohonu s vyznačenou optimální oblastí provozu.

Na obr. 5.3 je vidět účinnostní mapa navrženého PMSM, na jejímž základě je určen převodový poměr, za účelu maximalizování účinnosti systému. V každém případě je

zapotřebí se pohybovat v oblasti vysoké účinnosti. Z účinnostní mapy je patrné, že oblast nejvyšší účinnosti nastává přibližně mezi 2000 a 3500 ot/min. Zároveň byl při návrhu převodového poměru uvažován charakter kamionové dopravy. Předpokládáme, že se kamion bude pohybovat nejčastěji po dálnici konstantní rychlostí 90 km/h. Pro tuto rychlost je tedy optimální navrhnout právě oblast maximální účinnosti. Na základě těchto skutečností byl převodový poměr stanoven jako:

$$G_{el} = \frac{n_{opt}}{n_{90}} = \frac{3500}{441} = 8,049, \quad (5.4)$$

kde G_{el} (-) je převodový poměr pro pomocný elektrický stroj, n_{opt} (ot/min) je stanovený horní limit pro dosažení optimální účinnosti a n_{90} (ot/min) jsou otáčky při rychlosti 90 km/h.

Následné stanovení momentu z pomocného elektrického stroje je provedeno znovu pomocí interpolace účinnostní mapy. Účinnostní mapa byla přepočtena přes účinnost na elektrický výkon, aby bylo možné interpolovat přes výkon solárního zdroje. Výkon solárního zdroje je přepočtený přes koeficient účinnosti 0,98, typický pro solární střídače [40]. Samotné vyhledávání momentu je tedy koncipováno opačným způsobem než u vznětového motoru, kde byla pomocí aktuálních otáček motoru a požadovaného momentu vyhledávána účinnost pro výpočet paliva. V případě pomocného elektrického pohonu je znám dostupný výkon a je hledán moment, který jsme při daných otáčkách schopni dodat. Posléze je moment přepočten přes převodový poměr a odečten od požadavku na moment od vznětového motoru.

5.5 Matematický model rozšířený o baterii

Rozšíření o bateriové úložiště je implementováno jednoduchým způsobem. Model byl rozšířen o trakční baterii disponující kapacitou 10 kWh. Výkon odebíraný z baterie je v simulacích implementován ve formě proměnné. Na základě aktuální rychlosti vozidla je velikost odebíraného výkonu nastavována, v případě nižších rychlostí je požadovaný výkon nejvyšší. Výkon z baterie se v těchto nižších rychlostech pohybuje po křivce maximálního výkonu, od kterého je odečten aktuální výkon P_{PV} . Baterie se pouze nevybíjí, v době přestávek nebo před zahájením a po ukončení jízdy se baterie dobíjí. Je tedy rovněž implementováno nabíjení, ale pouze jednoduchým způsobem. Je uvažován DC - DC step up měnič pro nabíjení baterie, který je opatřen MPPT pro co nejvyšší účinnost. Účinnost solárních DC - DC měničů se podle [41] pohybuje v době vypracování v rozmezí 90-95%, podle [42] se MPPT DC - DC měnič s využitím měkkého spínání účinnost dostává

na 92,8%. Nejmodernější měniče [43] se již dokáží dostat až na 95%. Byla uvažována již zmíněná účinnost 92,8%, použil jsem tedy koeficient 0,928, kterým byl vynásoben výstupní výkon FVE. Toto nabíjení baterie, jak již bylo zmíněno, se aktivuje při přestávce nebo v případě před začátkem a po ukončení jízdy, což je zároveň znázorněné v blokovém schématu rozhodujícím blokem „Dobíjení“.

5.6 Výpočty výchozích parametrů simulace

Jak již bylo zmíněno výše, tak tato část se zabývá zejména výpočty pro další simulační kroky. Nejprve je proveden součet momentů od vznětového motoru a pomocného elektrického pohonu, vypočtena tažná síla a celkové zrychlení vozidla. Následně je ze zrychlení vypočtena rychlost a ujetá dráha podle:

$$v_{(k)} = v_{(k-1)} + a_{(k)} \cdot dk, \quad (5.5)$$

kde $v_{(k)}$ (m/s) je aktuální rychlost, $v_{(k-1)}$ (m/s) je rychlost v minulém kroku, $a_{(k)}$ (m/s²) je zrychlení a dk (s) je simulační krok. Ujetá dráha se vypočte jako:

$$s_{(k)} = s_{(k-1)} + v_{(k)} \cdot dk + \frac{1}{2} \cdot a_{(k)} \cdot dk^2, \quad (5.6)$$

kde $s_{(k)}$ (m) je ujetá dráha a $s_{(k-1)}$ (m) je ujetá dráha v minulém simulačním kroku.

Následuje výpočet spotřeby paliva, který je proveden na základě bodu aktuální účinnosti v účinnosti mapě vznětového motoru. Nejprve je nutné vypočítat mechanický výkon jako:

$$P_m = M_{ICE} \cdot n_{ICE} \cdot \left(\frac{2 \cdot \pi}{60}\right), \quad (5.7)$$

kde P_m (W) je mechanický výkon vznětového motoru, M_{ICE} (Nm) je točivý moment vznětového motoru a n_{ICE} (ot/min) jsou otáčky vznětového motoru.

Po výpočtu mechanického výkonu je proveden přepočítání na energii jednoduchým vynásobením simulačním krokem.

Pro výpočet celkové spotřeby paliva je nutné brát v úvahu již zmíněnou účinnost v aktuálním pracovním bodě, vypočtenou energii a energetickou hustotu paliva. Spotřeba paliva se vypočte podle:

$$V_{p(k)} = \frac{E_t + \frac{E_{(k)}}{\eta}}{38600000} \quad (5.8)$$

kde $V_{p(k)}$ (l) je objem celkově spotřebovaného paliva, E_t (J) je celková spotřebovaná energie po dobu jízdy, $E_{(k)}$ (J) je energie nutná pro vytvoření zadaného momentu a η (-) je účinnost aktuálního pracovního bodu motoru.

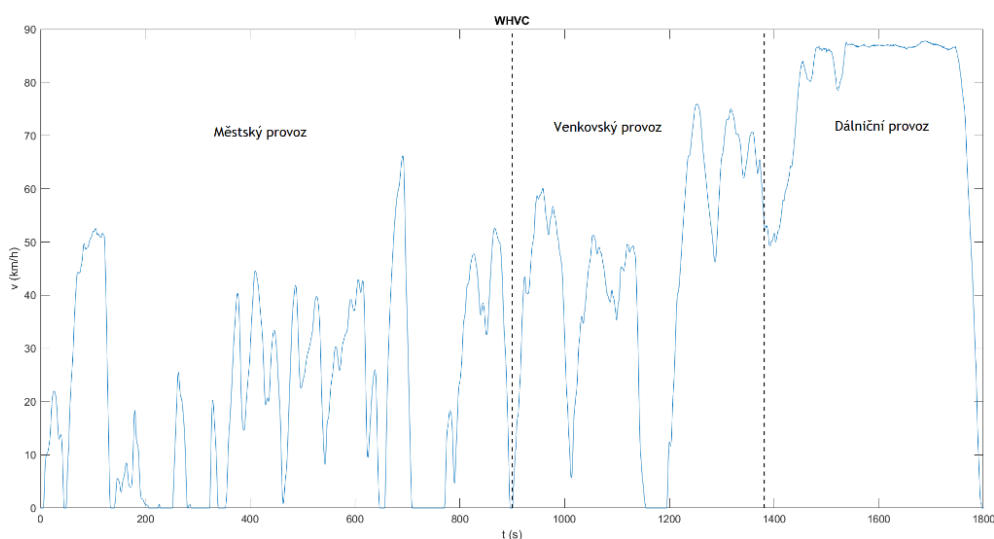
Ve výpočtu paliva figuruje energetická hustota dieselu, vyčíslena na 38,6 MJ/l, podle [44].

6 Simulace a analýzy

6.1 Vybraná dálniční trasa a cyklus

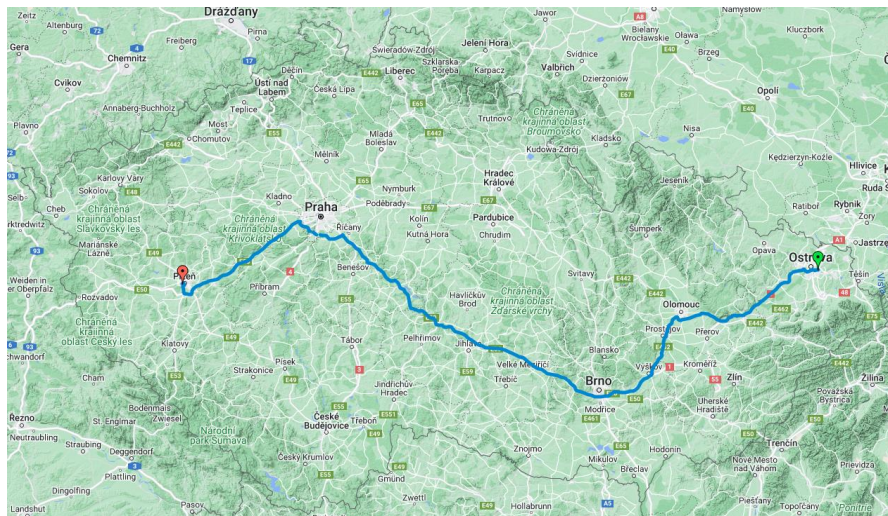
6.1.1 WHVC

World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC) je standardizovaný jízdní cyklus pro testování spotřeby paliva a emisí CO₂ vozidel [45]. Cyklus simuluje 3 různé režimy jízdy, vyznačené v rychlostním profilu na obr. 6.1. Prvním je městský provoz s nižší rychlostí, častým rozjížděním a zastávkami. Další část reprezentuje venkovský provoz s vyššími rychlostmi a méně častými zastávkami. Poslední část reprezentuje dálniční provoz, kde se rychlost příliš nemění a blíží se k 90 km/h. Podle zdrojového textu se jednotlivým úsekům udává různá váha, která je součtově pro všechny úseky rovna 1. Podle váhy těchto úseků se určuje typ vozidla, pro který je cyklus určen. [45]



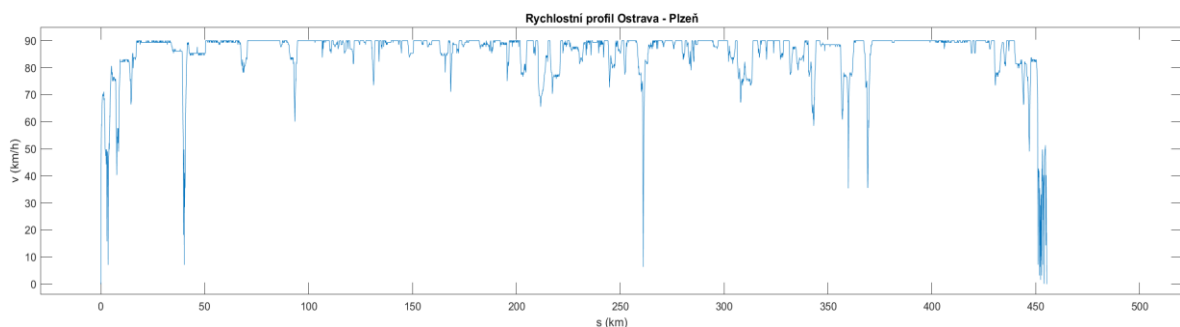
Obr. 6.1 Rychlostní profil cyklu WHVC

6.1.2 Ostrava – Plzeň



Obr. 6.2 Dálniční trasa Ostrava – Plzeň

Na obr. 6.2 lze vidět vybranou dálniční trasu Ostrava - Plzeň. Trasa má délku 469,5 km a byla nasnímaná pomocí běžného osobního automobilu. Automobil neměl omezení na rychlost, které mívají kamiony. Bylo tedy nutné nasnímaná data, ve kterých rychlosti dosahovaly až 120 km/h upravit do podoby, která by mohla odpovídat realitě v případě jízdy kamionu. Všechny zaznamenané rychlostní body byly vynásobeny koeficientem 0,79, čímž byla redukována jak maximální rychlost na 90 km/h, tak rychlost v úsecích se stoupáním. Data z automobilu byla převzorkována tak, aby bylo dosaženo rovnoměrné vzorkovací periody. Rychlostní a výškový profil je uvedený na obr. 6.3 a obr. 6.4.



Obr. 6.3 Rychlostní profil vybrané dálniční trasy Ostrava – Plzeň



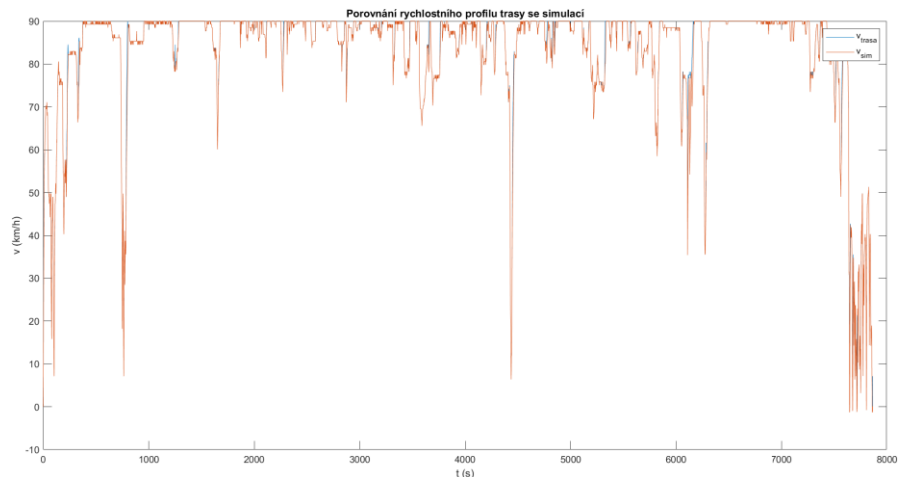
Obr. 6.4 Výškový profil vybrané dálniční trasy Ostrava – Plzeň

6.1.3 Dálková trasa

Kromě testovacího cyklu WHVC a vybrané dálniční trasy Ostrava - Plzeň, se 45 minutovou přestávkou byla ještě syntetizována třetí trasa založená na úseku trasy Ostrava - Plzeň. Trasa je prodloužena tak, aby se započtenou povinnou přestávkou řidičů kamionu trvala 9 hodin, což je běžný denní limit pro řidiče v EU. Tato třetí trasa byla vytvořena z důvodu analýzy dálkových mezinárodních cest, primárně pro detailní analýzu variant s FVE a FVE + baterie.

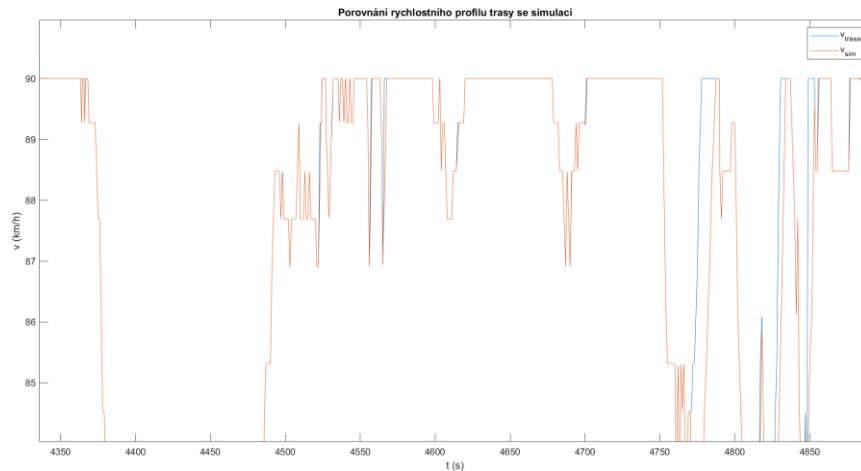
6.2 Zhodnocení přesnosti simulace

Hlavním způsobem, kterým byla funkčnost a důvěryhodnost simulace posuzována, je sledování jízdního cyklu s porovnáním s aktuální rychlostí. Níže na obr. 6.5 je zobrazeno porovnání rychlostního profilu trasy se simulací.



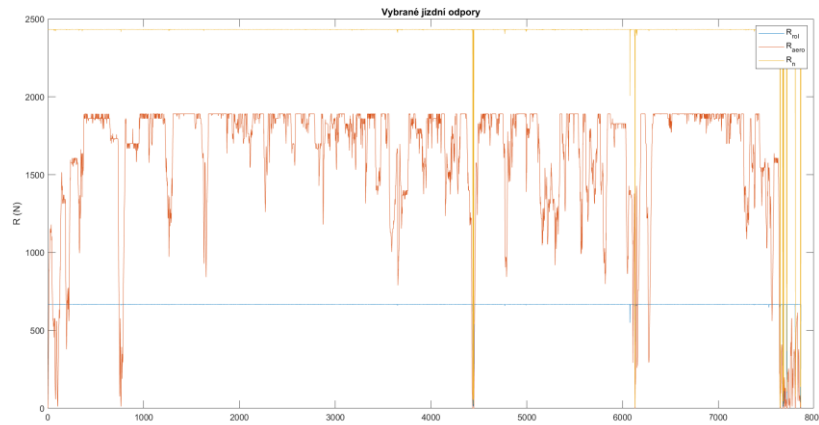
Obr. 6.5 Porovnání rychlostního profilu a trasy

Na obrázku jsou modrou barvou zobrazeny nasnímané body rychlostního profilu a oranžovou barvou aktuální rychlost simulace. Z průběhu je patrné, že se křivky překrývají, v případě detailního pohledu, který je vyobrazen níže na obr. 6.6 lze pozorovat, že se v některých bodech simulace s nasnímanou trasou mírně liší. To je způsobeno zejména v bodech, kde jsou vyžadovány vysoké hodnoty tažné síly, např. v případě prudkých akcelerací nebo velkého stoupání.



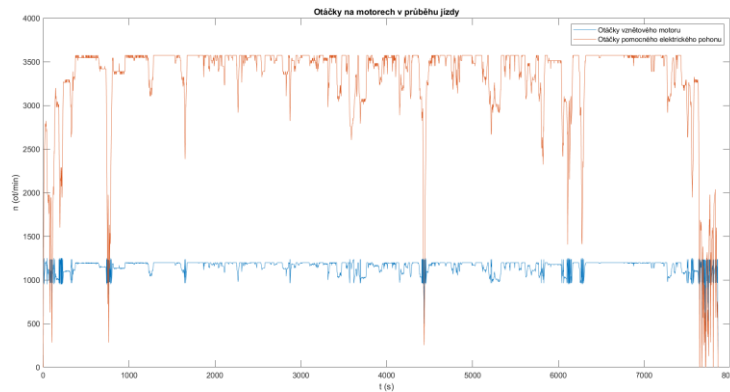
Obr. 6.6 Přibližný pohled porovnání rychlostního profilu trasy se simulací

Průběhy jízdních odporů jsou zobrazeny níže na obr. 6.7. Z průběhu lze pozorovat odpor aerodynamický, valivý a odpor návěsu. Z důvodu nepřehlednosti nebyl v grafu zahrnut odpor stoupání. Průběh valivého odporu tahače je víceméně konstantní, což odpovídá vzorci (1.3), ve kterém nefiguruje závislost na rychlosti. K stejnému závěru dochází u odporu návěsu, který je rovněž víceméně konstantní, kromě občasných spádů způsobených nepřesnostmi nasnímaného výškového profilu. Aerodynamický odpor kopíruje samotný rychlostní profil, což odpovídá výskytu rychlosti ve vzorci (1.2). Z průběhů lze rovněž odvodit vlivy na spotřebu paliva kamionu. Vliv hmotnosti nákladu je v kapitole 1.6 vyzdvižen jako hlavní vliv na spotřebu kamionu, to potvrzuje i velikost odporu návěsu, který je v tomto případě nejvýznamnější. Rovněž vliv aerodynamického odporu je velice významný, v simulaci byl uvažován kamion s přidavnými aerodynamickými prvky. V případě absence těchto prvků se součinitel aerodynamického odporu C_d významně zvyšuje, což má následně výrazný vliv na zvýšení celkového odporu a s tím i spotřebu paliva.



Obr. 6.7 – Průběhy vybraných jízdních odporů

Průběh otáček hnacího ústrojí lze pozorovat na obr. 6.8. Modře zobrazené otáčky vznětového motoru demonstrují funkci implementované převodovky, lze vidět kmitání kolem hodnoty 1100 ot/min. Oranžově zobrazené otáčky pomocného pohonu kopírují rychlostní profil z důvodu pevného převodového poměru.



Obr. 6.8 Průběh otáček hnacího ústrojí

6.3 Výsledky simulace samostatného pohonu se vznětovým motorem

Tab. 6.1 Porovnání spotřeby paliva modelu vznětového motoru

Trasa	Délka trasy (km)	Spotřeba (l)	Spotřeba (l/100km)
WHVC	20,00	7,27	36,37
Ostrava-Plzeň	454,70	156,27	34,37
Dálková trasa	697,40	239,85	34,39

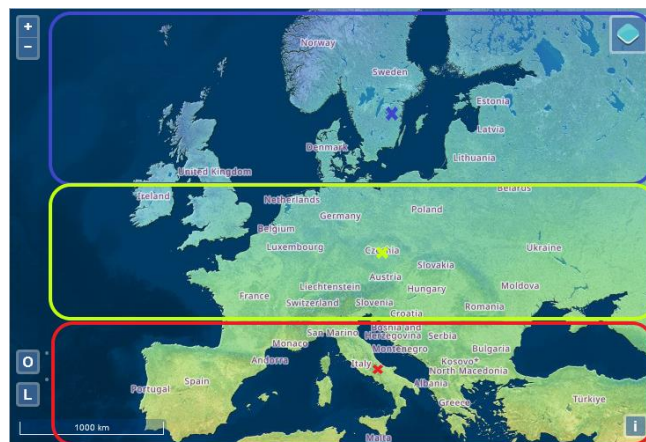
Ve variantě samostatného pohonu se vznětovým motorem nebyly zahrnuty bloky pomocného pohonu, FVE a baterie. Byly provedeny simulace na všech třech zmíněných trasách. Výsledky simulací, konkrétně porovnání výsledné spotřeby paliva na určitých trasách ukazuje tab. 6.1. Na trase Ostrava–Plzeň vyšla spotřeba 34,37 l/100km, v případě dálkové 34,39 l/100km, obojí odpovídá definovanému rozmezí 30-35 l/100km, které bylo stanoveno v kapitole týkající se spotřeby paliva.

Rovněž lze pozorovat rozdíly v spotřebě na nasnímaných trasách a cyklu WHVC, kde spotřeba na 100 km u cyklu vychází o něco vyšší. Rozdíly jsou pravděpodobně způsobeny hlavně rozdílností samotných rychlostních profilů, kde u cyklu WHVC jsou v průměru nižší rychlosti, ale zároveň jsou častější rozjezdy a pohyb v nižších účinnostech oproti trase Ostrava - Plzeň. Toto zjištění rovněž odpovídá diskutovaným vlivům na spotřebu paliva.

6.4 Simulace při rozšíření o pomocný elektrický pohon a solární zdroj

Pro objektivní analýzu úspory paliva je nutné zahrnout všechna roční období. Jelikož jsou evropské ekonomiky pevně propojené a kamiony se pohybují po celém kontinentu, je vhodné v rámci Evropy provést analýzu pro hodnoty intenzity osvětlení v závislosti na zeměpisné poloze. Pro tyto účely byl kontinent rozdělen na 3 části (severní, střední a jižní), jak ukazuje obr. 6.9. Zároveň byly zvoleny 4 scénáře zohledňující jednotlivá roční období.

Pro co nejpřesnější simulace byl využit již zmíněný nástroj PVGIS (Photovoltaic Geographical Information System) [27]. Díky tomuto nástroji bylo umožněno získat data v určitých geografických bodech pro jednotlivé měsíce v přesnosti hodin. Rovněž byla možnost nastavit úhel natočení panelů, byl tedy nastaven na 0° , reprezentující vodorovné umístění na návěsu. Podle [46] byla z výběru ze 3 databází určena výchozí databáze SARA H 2, která je nejpřesnější pro případ Evropy. Pro všechny 3 geografické lokace, tedy střední, severní a jižní Evropu byl vybrán jeden bod. V případě střední Evropy - zelená, byl zvolen bod v České republice, v případě severní - modrá, na jihu Švédska a v případě jižní Evropy - červená, byl zvolen bod přibližně ve středu Itálie. Pro co nejpřesnější výsledky byly referenční body vybrány v přibližně stejných zeměpisných délkách.

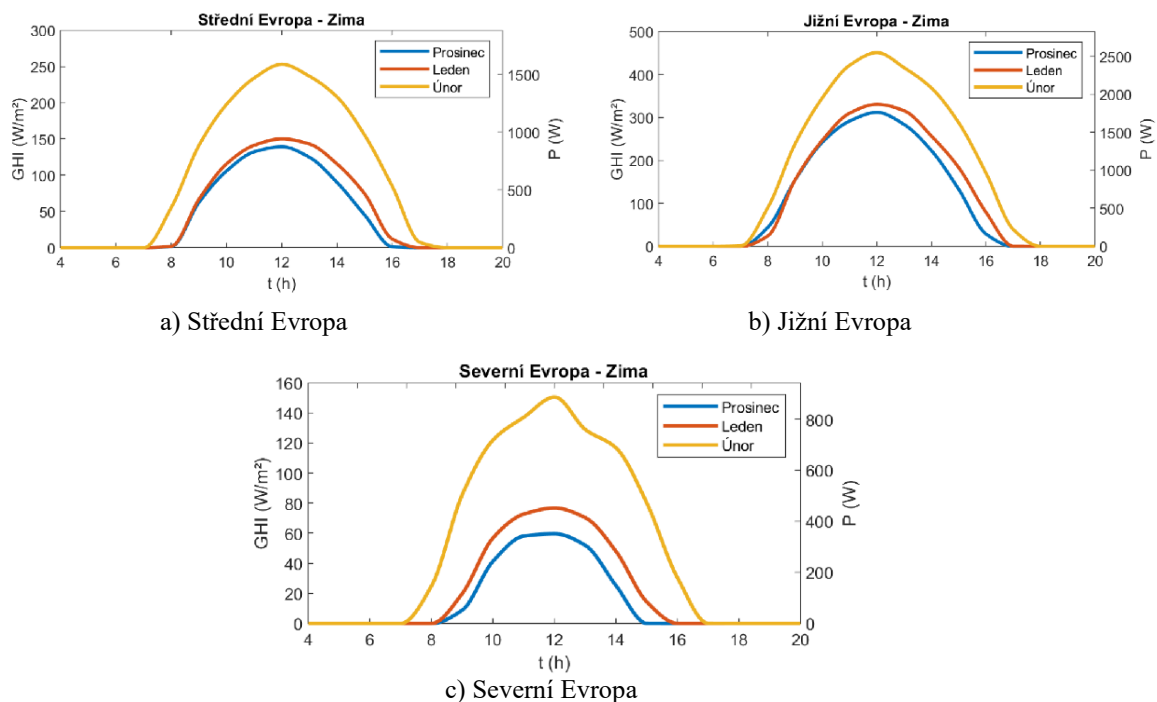


Obr. 6.9 Vybrané geografické zóny a zvolené body pro získání dat.

V případě všech simulací byl uvažován start jízdy v 8:00, pouze v případě WHVC byl start jízdy uvažován v 10:00 z důvodu kratší délky trasy za účelem dosažení porovnatelných výsledků. Hodnoty uvedené v grafech intenzity osvitů reprezentují hodnoty zprůměrované za celý měsíc.

6.4.1 Výsledky simulace v zimních měsících

Hodnoty intenzity osvitů v zimních měsících v jednotlivých geografických lokacích jsou vyobrazené na obr. 6.10.



Obr 6.10 – Porovnání intenzity osvitů a výkonu FVE v průběhu dne v zimě.

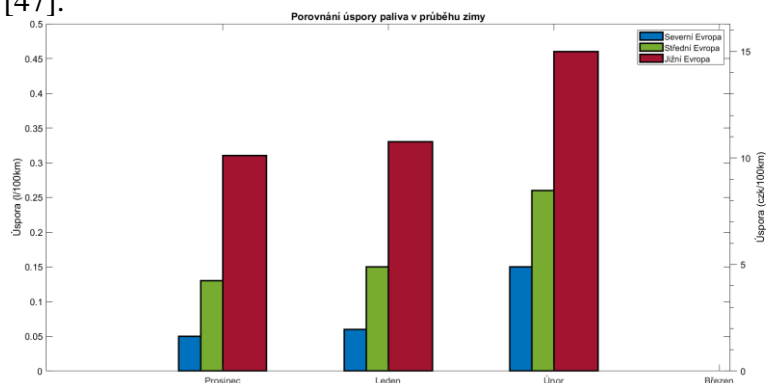
Lze pozorovat rozdíly ve všech třech lokacích, v severní Evropě v prosinci a lednu hodnoty GHI nedosahují ani 100 W/m², vrcholy křivek, se kolem poledne pohybují mezi 60-80 W/m². Oproti tomu jsou vrcholy křivek ve střední Evropě na dvojnásobku hodnot ze severní Evropy, konkrétně v okolí 130-150 W/m². Když se ale podíváme na obr. 6.10 b), lze pozorovat hodnoty pro jižní Evropu, které dosahují skoro trojnásobku hodnot ze střední Evropy a dokonce 5 až 6 ti násobku hodnot ze Severní Evropy s vrcholy mezi 350 a 400 W/m². Rovněž lze z grafů vidět, že délka dní v prosinci a lednu je velice podobná. V případě střední Evropy v prosinci nastává nejkratší den v roce, kdy vidíme, že den trvá něco kolem 8 hodin, v případě severní Evropy jsou dny ještě kratší a v prosinci délka dne dosahuje přibližně 7 hodin. Oproti tomu v Evropě jižní, specificky v Itálii, kde byl umístěn referenční bod, je den o něco delší, dosahuje okolo 9 hodin. V únoru již

ve všech zkoumaných lokacích GHI postupně stoupá a dny se prodlužují. Z těchto grafů je patrné, že v zimě nebude FVE na návěsu kamionu produkovat velké množství elektrické energie a s výjimkou jižní Evropy nelze očekávat procentuálně podstatné úspory paliva. V tabulkách jsou úspory reprezentovány symbolem Δ .

Tabulka 6.2 – Výsledky simulací: úspory paliva v zimních měsících.

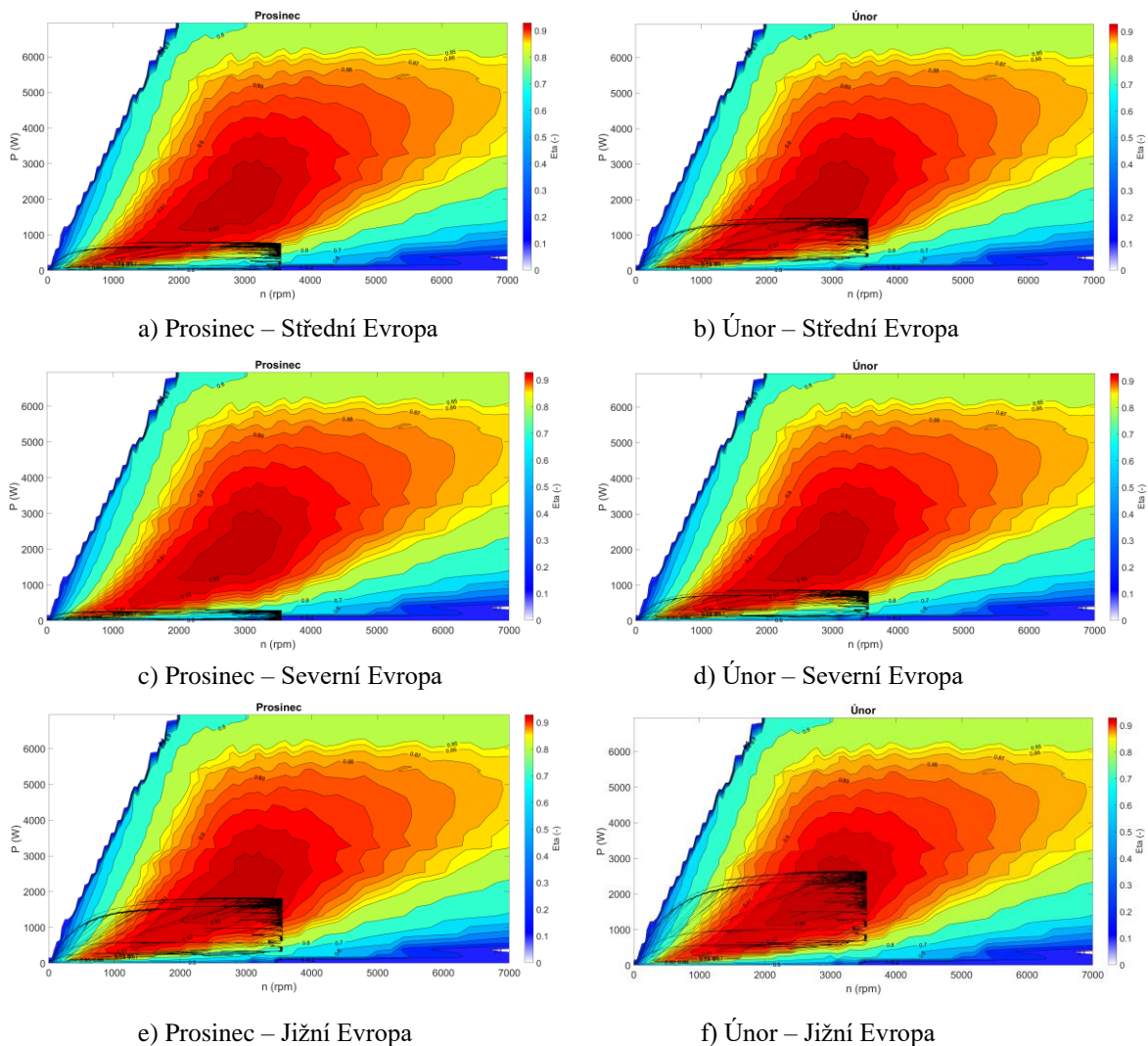
Zima		Střední Evropa		Severní Evropa		Jižní Evropa	
Měsíc	Trasa	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)
Prosinec	WHVC	36,10	0,74	36,26	0,31	35,81	1,56
	Ostrava-Plzeň	34,24	0,38	34,32	0,13	34,06	0,90
	Dálková trasa	34,29	0,28	34,36	0,08	34,16	0,67
Leden	WHVC	36,09	0,79	36,22	0,41	35,78	1,62
	Ostrava-Plzeň	34,22	0,41	34,31	0,18	34,04	0,95
	Dálková trasa	34,28	0,31	34,35	0,12	34,13	0,75
Únor	WHVC	35,91	1,28	36,08	0,80	35,59	2,17
	Ostrava-Plzeň	34,11	0,76	34,22	0,43	33,91	1,32
	Dálková trasa	34,18	0,62	34,28	0,33	34,01	1,12

Podle výsledků pro zimní měsíce uvedených v tabulce 6.2 lze potvrdit nízké úspory paliva, zejména v případě severní Evropy, kde úspory paliva dosahují hodnot kolem 0,1-0,2 %, v případě prosince a ledna jsou velice nízké až zanedbatelné. V případě střední Evropy již úspory paliva vychází poněkud příznivěji, v prosinci a lednu mezi 0,3 až 0,4 %. V jižní Evropě se již jedná o čísla mnohem podstatnější. V rámci prosince a ledna se pohybují v rozmezí 0,67-0,95 %. V únoru lze již vidět nárůst úspor paliva ve všech třech zkoumaných případech, zejména způsobený nárůstem průměrné GHI a prodlužujícími se dny. V případě cyklu WHVC lze pozorovat vyšší procentuální úspory, zejména z důvodu malé délky cyklu a startu v 10:00. Úspory paliva lze rovněž pozorovat na obr. 6.11. Z grafu na obrázku lze vidět úspory na trase Ostrava-Plzeň v l/100km a Kč/100km. Cena paliva byla stanovena na 32,54 Kč. Bylo vycházeno z průměrné ceny nafty za posledních 10 let [47].



Obr. 6.11 Porovnání úspor paliva zimních měsíců v l/100km a Kč/100km

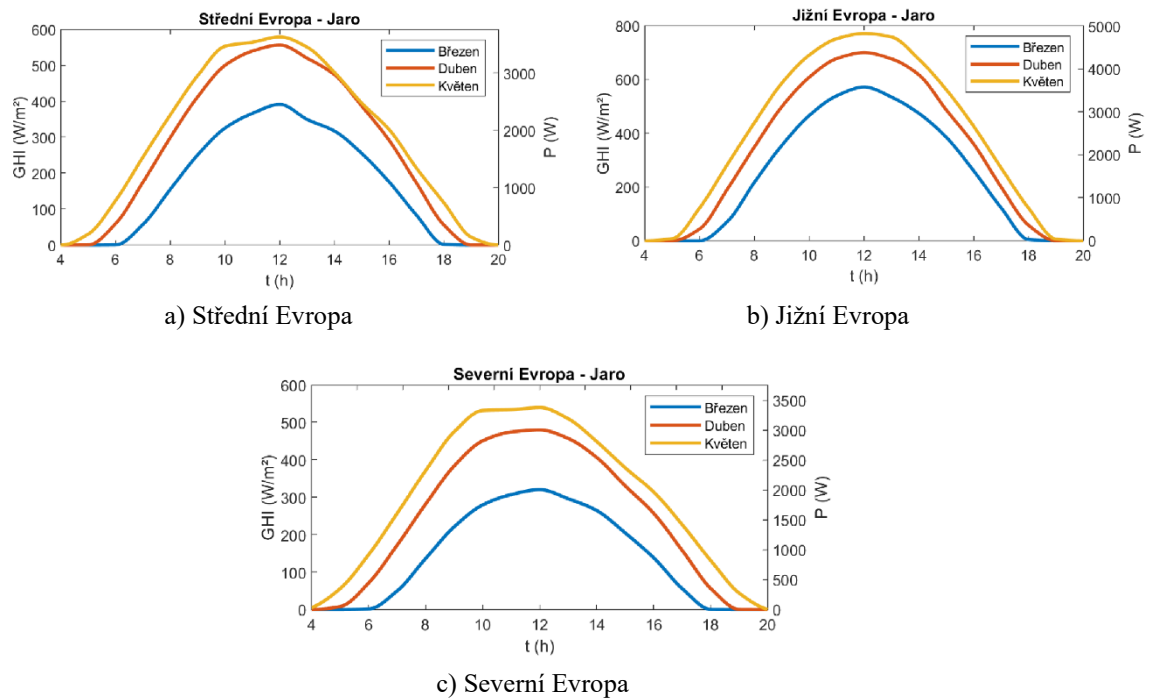
Níže na obr. 6.12 lze pozorovat pracovní body pro měsíce prosinec a únor ve všech 3 případech. Pracovní body v prosinci ve střední Evropě jsou nejvíce koncentrované v rozmezí účinnosti 70-85 %, což má kromě nižších hodnot GHI rovněž podstatný vliv na úspory paliva. V případě severní Evropy se vliv nízké účinnosti ještě více zvyrazňuje, jelikož v tomto případě účinnost nepřesáhne 75 %, což způsobuje velkou propast mezi severní a střední Evropou. V jižní Evropě tento problém ale již nenastává a pracovní body jsou více rozházené s rozsahem účinnosti 90-93 % v nejvíce koncentrované části. V únoru se již v případě střední a severní Evropy účinnost výrazně zlepšuje, dostáváme se do oblasti vyšších účinností. V severní Evropě se již dostáváme na rozmezí 80-90 %. V případě jižní Evropy se situace z hlediska účinnosti rovněž zlepšila, ne ale tak razantně jako u zbylých dvou případů.



Obr. 6.12 Pracovní body pomocného elektrického stroje na účinnostní mapě v zimních měsících.

6.4.2 Výsledky simulace v jarních měsících

Hodnoty GHI typické pro jarní měsíce ve všech 3 zkoumaných lokacích jsou zobrazené na obr. 6.13.



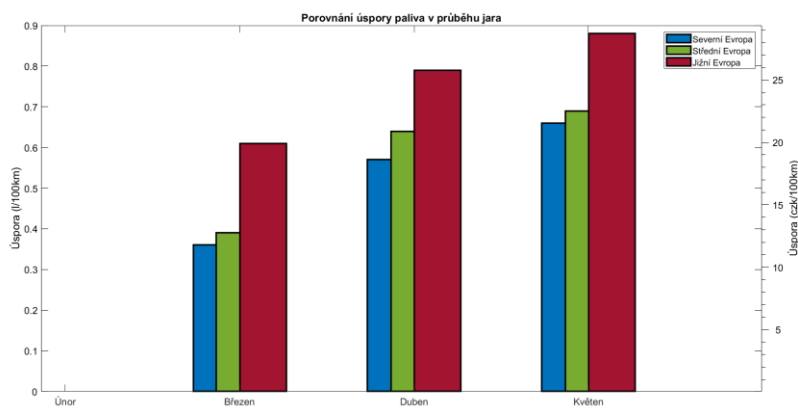
Obr 6.13 Porovnání intenzity osvětlení a výkonu FVE v průběhu dne na jaře.

Na jednotlivých grafech lze pozorovat postupný růst hodnot GHI. Rovněž lze pozorovat prodlužování délky trvání dní. Vrcholy křivek, které se znovu vyskytují v poledne, se ve střední Evropě v jarních měsících pohybují v rozmezí 350-600 W/m², v severní Evropě 300-550 W/m² a v jižní Evropě 550-800 W/m². Znovu se tedy opakuje scénář, kdy v severní Evropě podle očekávání je GHI nejnižší, a v jižní nejvyšší. Oproti ostatním lokacím v zimních měsících nedocházelo v severní Evropě k podstatným úsporám, na jaře lze ale i v severní Evropě očekávat úspory podstatnější.

Tabulka 6.3 – Výsledky simulací: spotřeba paliva v jarních měsících.

Jaro		Střední Evropa		Severní Evropa		Jižní Evropa	
Měsíc	Trasa	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)
Březen	WHVC	35,65	1,98	35,75	1,72	35,38	2,75
	Ostrava-Plzeň	33,95	1,22	34,01	1,04	33,76	1,77
	Dálková trasa	34,03	1,05	34,09	0,88	33,86	1,53
Duben	WHVC	35,34	2,85	35,44	2,56	35,14	3,39
	Ostrava-Plzeň	33,73	1,85	33,80	1,65	33,58	2,28
	Dálková trasa	33,84	1,61	33,90	1,43	33,71	2,00
Květen	WHVC	35,27	3,03	35,31	2,92	35,02	3,72
	Ostrava-Plzeň	33,68	2,00	33,71	1,91	33,49	2,56
	Dálková trasa	33,80	1,73	33,82	1,66	33,61	2,26

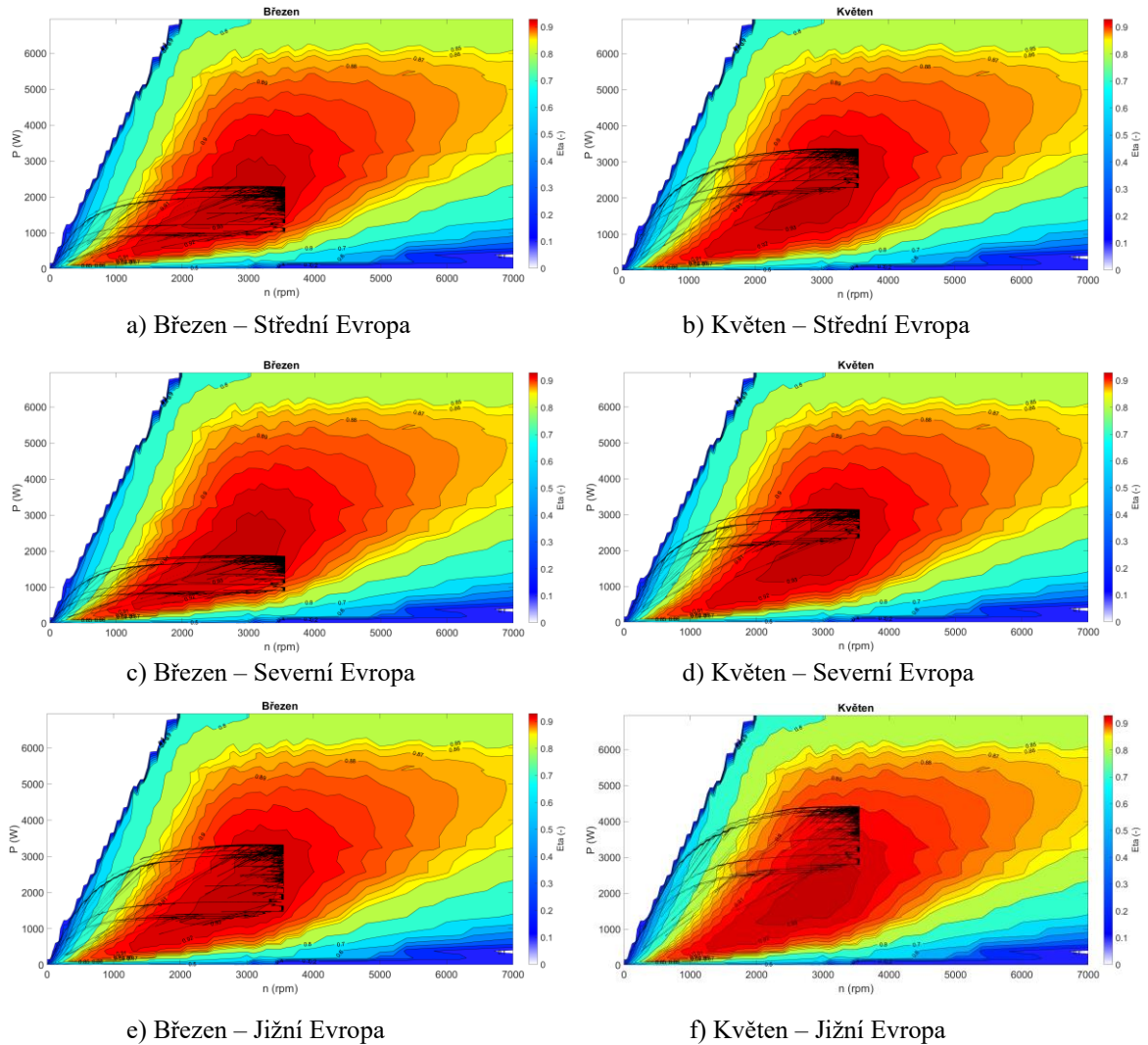
Výsledky simulace pro jarní měsíce jsou uvedeny v tabulce 6.3. Úspory v jednotlivých měsících jsou již podstatnější, hlavně v případě severní Evropy, která se již s úsporou 0,88-1,91% blíží k úspoře paliva simulované ve střední Evropě. Pozitivní vliv na dálkové trase má rovněž délka dne, již z obr 7.8 bylo patrné, že oproti zimním měsícům už nebudeme dojíždět skoro 10-ti hodinovou trasu za tmy. Největší úspory má znovu podle očekávání jižní Evropa, dosahující až 2,56% na trase Ostrava - Plzeň v květnu. Úspory v případě cyklu WHVC jsou znovu vyšší, z již zmíněných důvodů. Postupné snižování rozdílnosti úspor v l/100km a Kč/100km lze pozorovat níže na obr. 6.14.



Obr. 6.14 Porovnání úspor paliva jarních měsíců v l/100km a Kč/100km

Níže na obr. 6.15 lze znovu pozorovat pracovní body, tentokrát v jarních měsících březnu a květnu. V březnu se pracovní body všech 3 zkoumaných případů nachází v oblasti vysokých účinností, rozsah účinnosti se pohybuje mezi 91-93%, což má kromě zvyšující se GHI rovněž podstatný vliv na skoky v úspoře paliva, zejména v případě severní Evropy. V květnu se pracovní body v severní a střední Evropě pohybují v úplně nepříznivějším rozsahu účinnosti, jsou velice koncentrované v okolí 92 a 93 % účinnosti. Oproti tomu

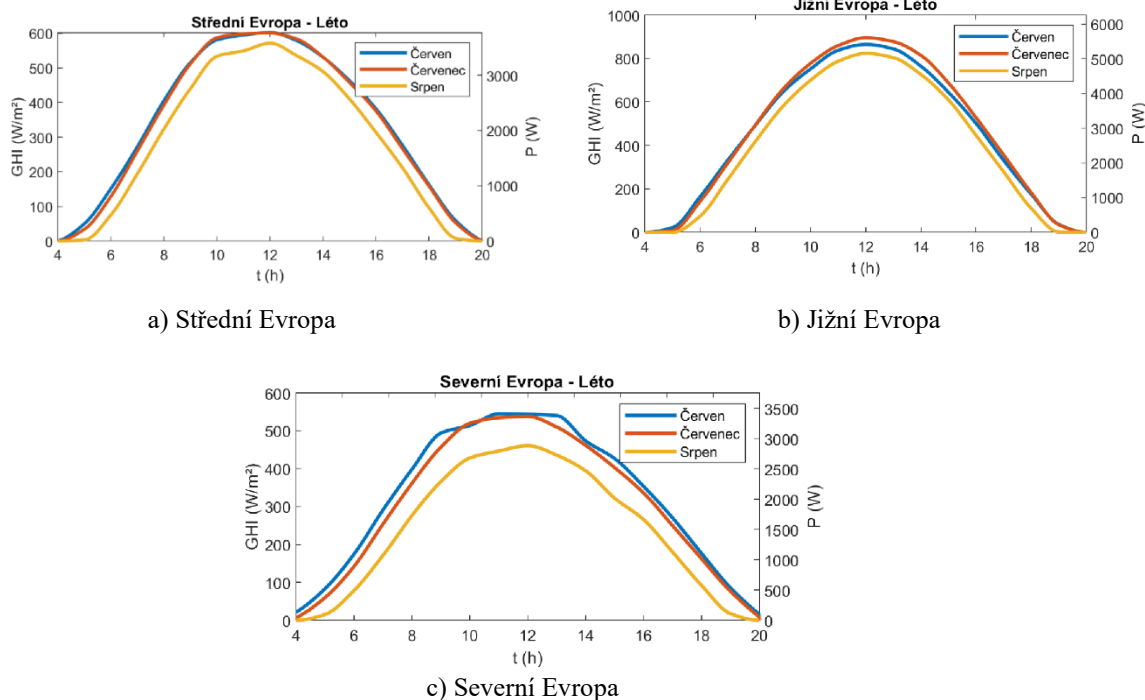
ve zkoumaném případě jižní Evropy jsou pracovní body mnohem řidčeji rozmístěné v širším rozsahu účinnosti. I přesto se ale účinnost pohybuje v rozmezí 90–92 % a mnohem větší vliv než účinnost na výsledky má růst výkonu a GHI.



Obr. 6.15 Pracovní body pomocného elektrického stroje na účinnostní mapě v jarních měsících.

6.4.3 Výsledky simulace v letních měsících

Hodnoty intenzity osvětlení v letních měsících v jednotlivých geografických lokacích jsou uvedeny na obr. 6.16.



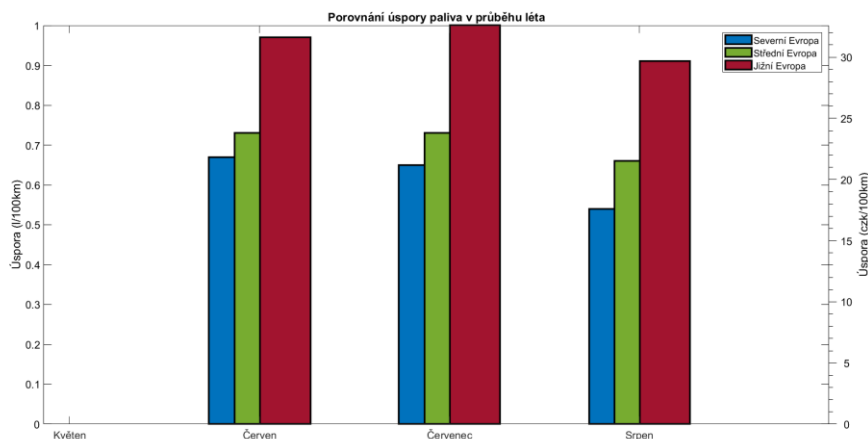
Obr 6.16 – Hodnoty intenzity osvětlení a výroby FVE v průběhu dne v zimě.

Pro střední a jižní Evropu je společné, že všechny 3 měsíce pro danou lokaci jsou si s celkovými hodnotami GHI a výkonem P velice podobné. Pro severní Evropu to platí pouze v případě června a července. To je zejména způsobeno tím, že koncem června nastává nejdelší den v roce, což lze rovněž pozorovat i na grafech, kde dosahuje délka dne 15-16 hodin. Je zároveň i vidět, že se od července již dny ve všech 3 případech zkracují. Rovněž lze pozorovat vrcholy křivek severní a střední Evropy, které se liší málo. V případě střední Evropy se vrcholy nacházejí kolem $500-600 W/m^2$, v případě severní Evropy se nacházejí v červenci a červnu kolem $550 W/m^2$, jedinou výjimkou je srpen, který již zaostává podstatněji. V případě jižní Evropy se hodnoty GHI a P pohybují v rozmezí $800-900 W/m^2$, respektive $5000-5500 W$, to je přibližně o polovinu více než výsledky střední a severní Evropy.

Tabulka 6.4 – Výsledky simulací: spotřeba paliva v letních měsících.

Léto		Střední Evropa		Severní Evropa		Jižní Evropa	
Měsíc	Trasa	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)
Červen	WHVC	35,23	3,14	35,32	2,89	34,91	4,02
	Ostrava-Plzeň	33,64	2,11	33,70	1,95	33,40	2,83
	Dálková trasa	33,74	1,89	33,79	1,74	33,52	2,53
Červenec	WHVC	35,23	3,16	35,3	2,89	34,88	4,11
	Ostrava-Plzeň	33,64	2,12	33,72	1,89	33,37	2,91
	Dálková trasa	33,74	1,88	33,81	1,68	33,49	2,63
Srpen	WHVC	35,3	2,95	35,49	2,44	34,99	3,81
	Ostrava-Plzeň	33,71	1,92	33,83	1,57	33,46	2,64
	Dálková trasa	33,81	1,69	33,91	1,39	33,58	2,35

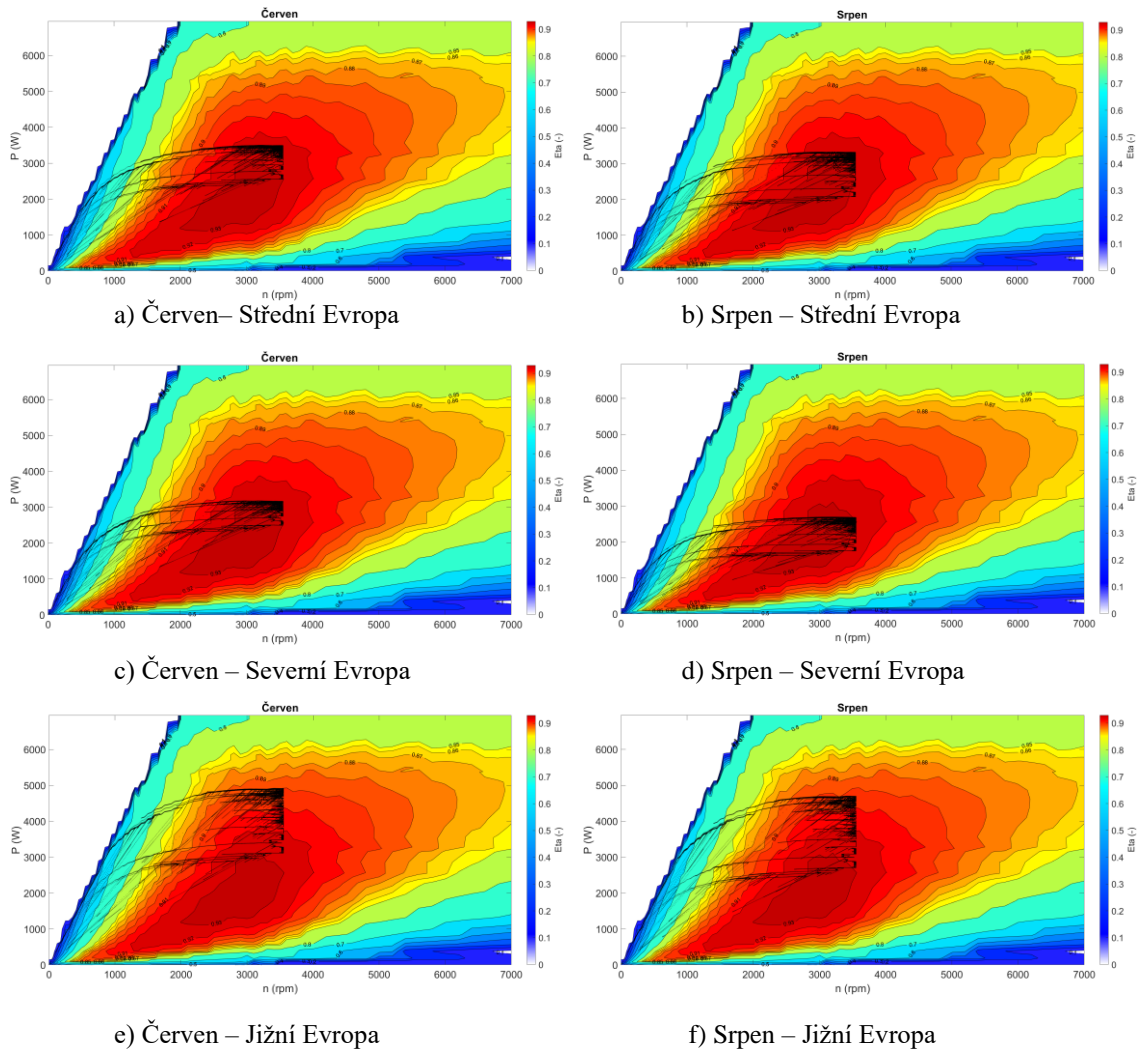
Výsledky simulací pro letní měsíce uvedeny v tabulce 6.4 jasně ukazují podstatné úspory v tomto období. Po celé léto se úspory paliva pohybují ve střední Evropě v okolí 2 %. V případě severní Evropy jsou úspory menší, během června a července jsou úspory na trase Ostrava - Plzeň v okolí 1,95 %. Vlivem krátkých se dní a zároveň poklesu GHI se již úspory dle očekávání snižují. Absolutně nejvyšší úspory nastávají v jižní Evropě, kde se celé léto pohybují v okolí 2,5%, v červenci na trase Ostrava - Plzeň dokonce atakují hranici 3%. Přibližně konstantní hodnoty úspor v rámci letních měsíců zobrazuje obr. 6.17. Pozorovat rovněž lze, že v rámci procent úspory příliš významné nejsou, ale při pohledu v l/100km se v případě jižní Evropy dosáhlo úspor 1 l/100km, což již významné je.



Obr. 6.17 Porovnání úspor paliva letních měsíců v l/100km a Kč/100km

Pracovní body pro všechny zkoumané případy pro měsíce červen a srpen lze vidět na obr. 6.18. Pro střední a severní Evropu se pracovní body pohybují ve velice příznivém rozsahu účinnosti, tedy 92-93%, v případě severní Evropy se většinu času dokonce nachází v nejvyšší účinnosti stroje 93%. Jižní Evropa se naopak vyznačuje širším rozpětím

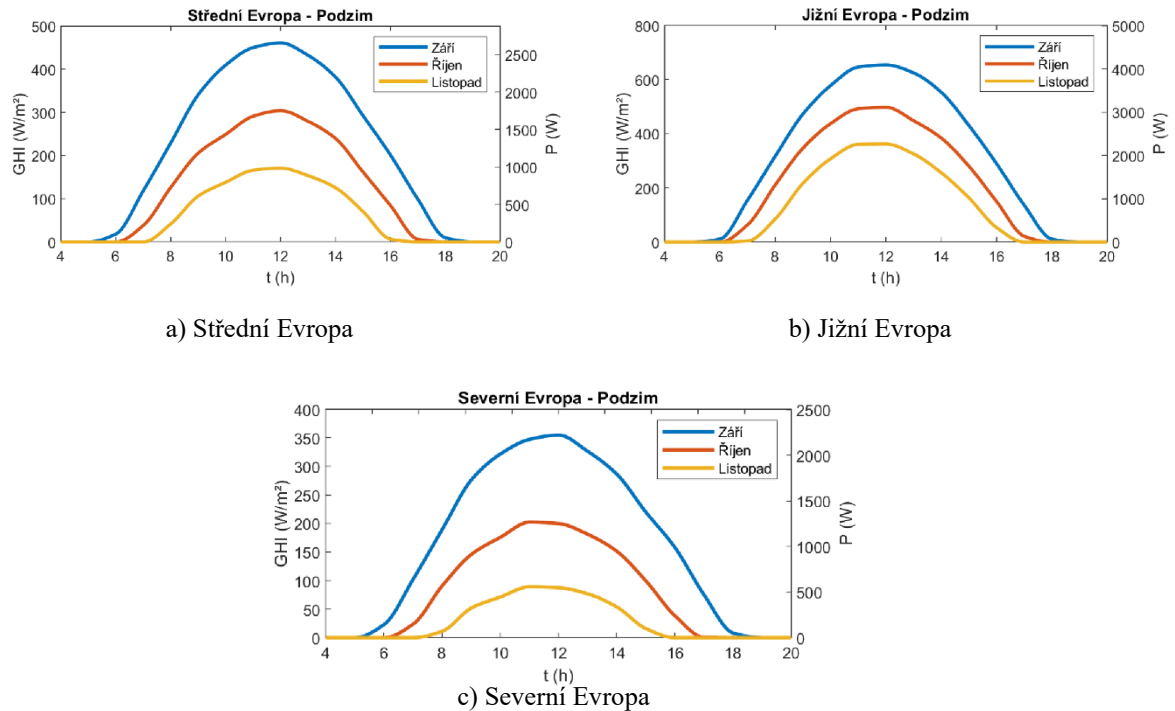
pracovních bodů a s tím i větším rozsahem účinnosti, pohybující se mezi 89-93%. Tyto rozdíly účinností nejsou v tomto případě příliš podstatné, jelikož největší podíl na úspoře paliva nese vysoký výkon FVE. U všech 3 geografických lokací si lze všimnout rozdílu rozpětí pracovních bodů, v červnu jsou body více koncentrované a pravděpodobně vlivem zkracujících se dní a strmějšího nárůstu GHI se v průběhu dne postupně rozpětí zvětšuje.



Obr. 6.18 Pracovní body pomocného elektrického stroje na účinnostní mapě v letních měsících.

6.4.4 Výsledky simulace v podzimních měsících

Hodnoty intenzity osvětlení v podzimních měsících v jednotlivých geografických lokalitách jsou vyobrazené na obr. 6.19.



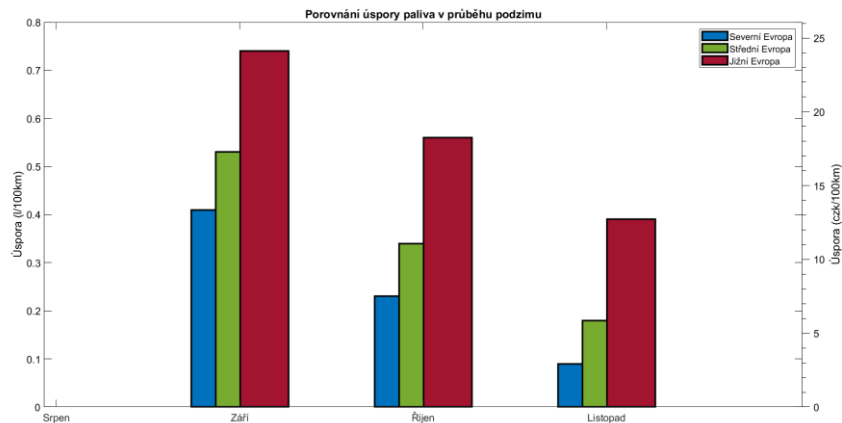
Obr 6.19 – Hodnoty intenzity osvětlení a výkonu FVE v průběhu dne v zimě.

Ve všech třech případech lze pozorovat postupný pokles GHI spolu se zkracováním dní, znovu se tedy jedná o přechodné období. V případě střední Evropy se snižují vrcholy GHI ze 450 W/m² v září na 175 W/m² v listopadu, postupně se tedy dostáváme na zimní hodnoty. V případě jižní Evropy se jedná o pokles ze 650 W/m² na 400 W/m², pro Evropu severní se zkracují dny nejdramatičtěji a vrcholy GHI klesají ze 350 W/m² až pod 100 W/m². Lze tedy očekávat postupné snižování úspory paliva.

Tabulka 6.5 – Výsledky simulací: spotřeba paliva v podzimních měsících.

Podzim		Střední Evropa		Severní Evropa		Jižní Evropa	
Měsíc	Trasa	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)	Spotřeba (l/100km)	Δ (%)
Září	WHVC	35,50	2,42	35,67	1,93	35,19	3,25
	Ostrava-Plzeň	33,84	1,53	33,96	1,20	33,63	2,15
	Dálková trasa	33,95	1,29	34,05	1,00	33,76	1,83
Říjen	WHVC	35,80	1,57	35,95	1,16	35,44	2,57
	Ostrava-Plzeň	34,03	0,97	34,14	0,66	33,81	1,61
	Dálková trasa	34,13	0,76	34,22	0,49	33,95	1,28
Listopad	WHVC	36,03	0,94	36,19	0,51	35,67	1,93
	Ostrava-Plzeň	34,19	0,52	34,28	0,24	33,98	1,12
	Dálková trasa	34,26	0,37	34,34	0,16	34,10	0,84

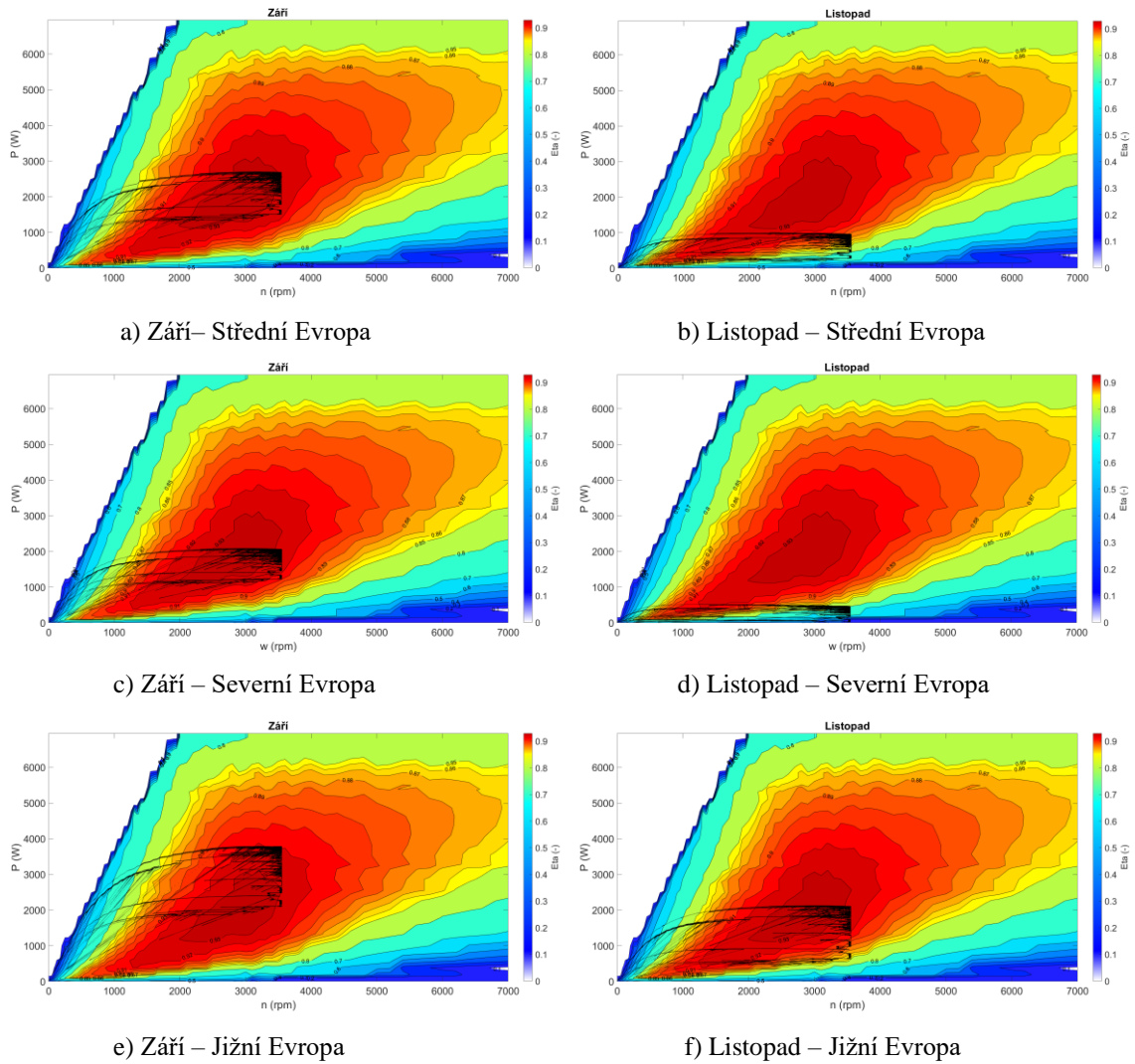
Výsledky simulace v podzimních měsících, zobrazeny v tabulce 6.5 potvrzují snižující se úsporu paliva s klesající GHI a zkracujícími se dny. Ve všech třech případech se postupně dostáváme na hodnoty typické pro zimní měsíce. V září a říjnu jsou ještě hodnoty ve střední Evropě ucházející, ale v listopadu již nastává velký propad. V severní Evropě nastává výrazný propad již v říjnu, kdy se úspory sníží na polovinu úspor paliva v září. V jižní Evropě rovněž nastává propad, hodnoty úspory paliva jsou ale pořád příznivé. Popsané trendy rovněž znázorňuje graf na obr. 6.20.



Obr. 6.20 Porovnání úspor paliva podzimních měsíců v l/100km a Kč/100km

Z pracovních bodů, které lze opět sledovat níže na obr. 6.21 je vidět, že pro severní a střední Evropu se v září účinnost stále pohybuje ve velice příznivých hodnotách, kolem 92-93%, kdežto v případě jižní Evropy lze pozorovat již typický pro tuto oblast široký rozptyl účinnosti. Opačný trend, než nastával v jarních měsících, sledujeme nyní v přechodu na konec podzimu. V listopadu se ve střední Evropě dostáváme do oblasti nižší účinnosti, kde se po většinu času pohybujeme v účinnosti pod 90%. Ještě výraznější je tento trend v severní Evropě, kde se přechází do účinnosti, která je již velmi nízká

a pohybuje se pod hranicí 80%. Tento přechod do nižší účinnosti má již velký vliv na spotřebu paliva, což potvrzují i výsledky. Jižní Evropa, díky svému širokému rozpětí pracovních bodů tomuto příliš nepodléhá a v listopadu se naopak dostává častěji do nejvyšší účinnosti 93%.

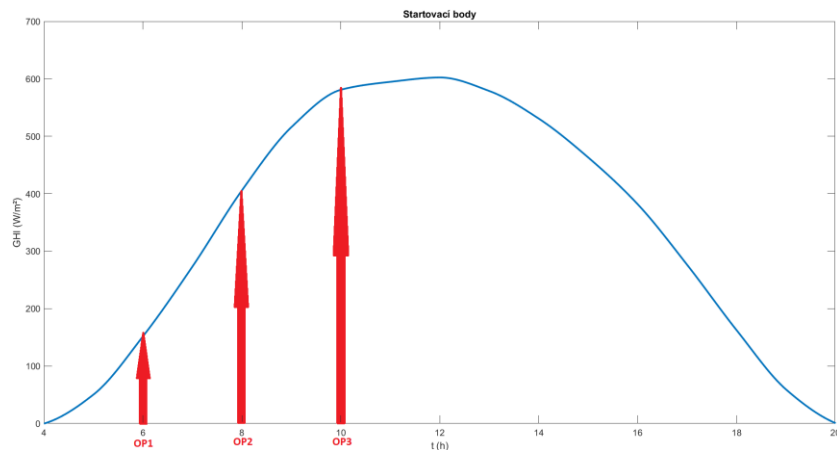


Obr. 6.21 Pracovní body pomocného elektrického stroje na účinnostní mapě v podzimních měsících.

6.5 Simulace varianty pomocného pohonu s FVE rozšířeného o trakční baterii

V této části je primárně zkoumán vliv rozšíření pomocného pohonu s FVE o trakční baterii s kapacitou 10 kWh na spotřebu paliva. Zároveň je zkoumáno využití solární energie pro nabíjení baterie v době přestávek a odstavení kamionu.

Pro případ varianty s trakční baterií bylo zkoumáno několik případů, byla ale uvažována pouze varianta střední Evropy. První tři případy jsou zkoumány na trase Ostrava - Plzeň a z důvodu vyhodnocení vlivu počátku a konce jízdy na dobíjení baterie jsou uvažovány různé scénáře. Studie jsou značeny písmeny OP, případ označení OP1 reprezentuje začátek jízdy v 6:00, OP2 začátek v 8:00 a OP3 v 10:00. Čtvrtá případová studie je zaměřena na definovanou dálkovou trasu, kde je zkoumána pouze úroveň nabití neboli State of Charge (dále již jen SoC) a efekt na spotřebu paliva. Na dálkové trase není uvažován rozdílný začátek jízdy z důvodu délky trasy, zejména v zimních a podzimních měsících, kde je využita dostupná solární energie v celé své výši samotnou jízdou. Vybrané startovací body znázorňuje obr. 6.22.



Obr. 6.22 Začátky jízdy 3 zkoumaných případů na trase Ostrava – Plzeň

V případě dálkové trasy byl uvažován konstantní výkon dodávaný baterií 1 kW, v případě trasy Ostrava-Plzeň, díky své kratší délce byl uvažován výkon 2 kW pro maximalizaci využití kapacity baterie. V praktickém provedení by tento odebíraný výkon byl kontrolovaný a řízený algoritmem pro dosažení co největší optimalizace.

Tabulka 6.6 – Výsledky simulací při rozšíření o bateriové úložiště.

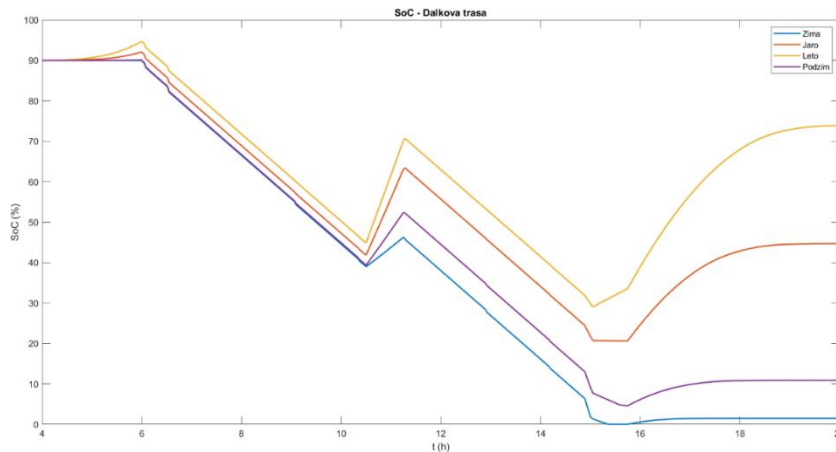
Solar + Baterie		Trasy			
Měsíc		Dálková trasa	OP1	OP2	OP3
Prosinec	Spotřeba (l/100km)	34,09	33,93	33,87	33,88
	Δ (%)	0,88	1,26	1,45	1,42
Leden	Spotřeba (l/100km)	34,07	33,93	33,86	33,85
	Δ (%)	0,92	1,27	1,48	1,50
Únor	Spotřeba (l/100km)	33,99	33,86	33,75	33,72
	Δ (%)	1,18	1,48	1,80	1,87
Březen	Spotřeba (l/100km)	33,86	33,74	33,60	33,58
	Δ (%)	1,55	1,82	2,24	2,30
Duben	Spotřeba (l/100km)	33,67	33,56	33,40	33,38
	Δ (%)	2,09	2,35	2,82	2,86
Květen	Spotřeba (l/100km)	33,62	33,49	33,35	33,36
	Δ (%)	2,24	2,55	2,96	2,93
Červen	Spotřeba (l/100km)	33,58	33,45	33,31	33,32
	Δ (%)	2,37	2,66	3,07	3,06
Červenec	Spotřeba (l/100km)	33,58	33,46	33,31	33,32
	Δ (%)	2,36	2,64	3,07	3,06
Srpen	Spotřeba (l/100km)	33,65	33,53	33,37	33,37
	Δ (%)	2,17	2,43	2,89	2,91
Září	Spotřeba (l/100km)	33,77	33,65	33,50	33,49
	Δ (%)	1,81	2,09	2,53	2,54
Říjen	Spotřeba (l/100km)	33,93	33,79	33,68	33,67
	Δ (%)	1,35	1,66	2,00	2,01
Listopad	Spotřeba (l/100km)	34,05	33,90	33,82	33,83
	Δ (%)	1,00	1,36	1,58	1,57

V tabulce 6.6 jsou uvedeny výsledky pro všechny zkoumané případy. V případě dálkové trasy lze pozorovat pro jednotlivé měsíce zlepšení spotřeby paliva většinou o 0,5%. Podstatnější zlepšení nastává zejména v zimních měsících a jejich okolí, tedy měsíce listopad - březen, kde např. v prosinci a lednu nastává zlepšení o 0,6 %, které se s rostoucí GHI snižuje směrem k 0,5%.

Průběh SoC baterie pro dálkovou trasu je zobrazen níže na obr. 6.23 a lze z něj pozorovat zprůměrovaný průběh pro jednotlivá roční období. V grafu můžeme vidět dva dobíjecí okamžiky, první nastává kolem 10. hodiny a trvá asi 45 minut. To je způsobeno povinnou přestávkou vloženou do simulací po 4,5 hodinách jízdy pro řidiče. Tento okamžik nastává blízko vrcholu GHI a energie, která by se jinak ztratila bez použití baterie nyní může putovat do baterie samotné a lze ji využít později. Druhý dobíjecí okamžik nastává až po ukončení jízdy.

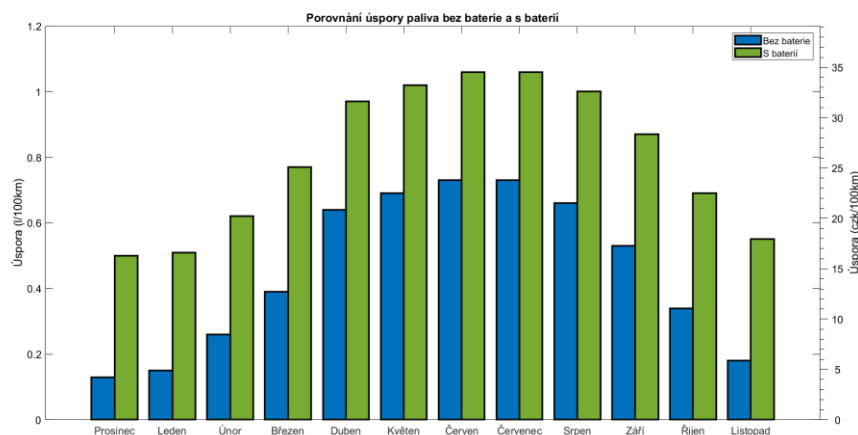
V zimě a na podzim je patrné, že zejména z důvodu délky dne se baterie nedokáže nabít na podstatné hodnoty SoC a bude tedy nutné dobíjení nejen ze solárního zdroje, ale rovněž z jiných zdrojů, např. regenerativní brzdy elektrického stroje nebo dobíjení stylem plug - in.

Jiný případ nastává pro letní a jarní měsíce, kdy již dokážeme dobít podstatnou část baterie. Na jaře je to v průměru 55% a v letních měsících dokonce 75%. V kombinaci s regenerativním brzděním pomocí elektrického stroje to již dává podstatnou část a dobíjení systémem plug – in nemusí být vždy nutné.



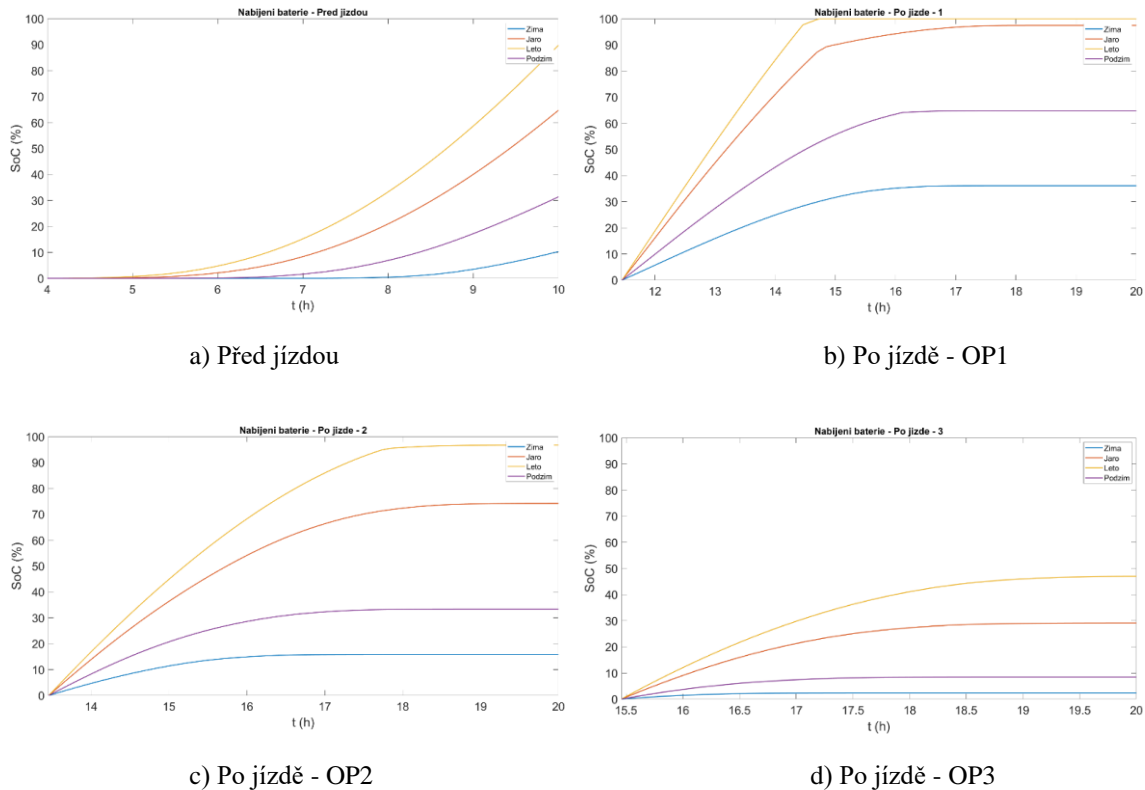
Obr. 6.23 SoC baterie dálkové trasy.

Na trase Ostrava - Plzeň je navýšení úspory paliva v průměru pro všechny měsíce v testovaných případech OP2 a OP3 okolo 1% oproti případu bez baterie a v letních měsících je dokonce překonána hranice 3 % úspory paliva. V případě OP1, tedy začátku trasy v 6:00 jsou úspory oproti případu OP2 a OP3 již nižší, ale stále jde o navýšení o 0,5 až 0,9% oproti situaci bez baterie. Tento rozdíl v případech OP2, OP3 a případu OP1 je způsobený zejména samotným brzkým začátkem jízdy, kdy v mnoha měsících ještě vůbec nevyšlo slunce nebo jsou hodnoty GHI pořád nízké. Pro porovnání se situací bez baterie je nejvhodnější případ OP2, kdy je uvažován začátek jízdy v 8 hodin, jelikož v tuto dobu byl uvažován začátek i v případě solárního zdroje bez baterie. Z porovnání trasy Ostrava - Plzeň s baterií a bez baterie, vyobrazené na obr. 6.24 lze pozorovat již zmíněný nárůst, zejména v zimních měsících.



Obr. 6.24 Porovnání úspory paliva na trase Ostrava – Plzeň s baterií a bez baterie

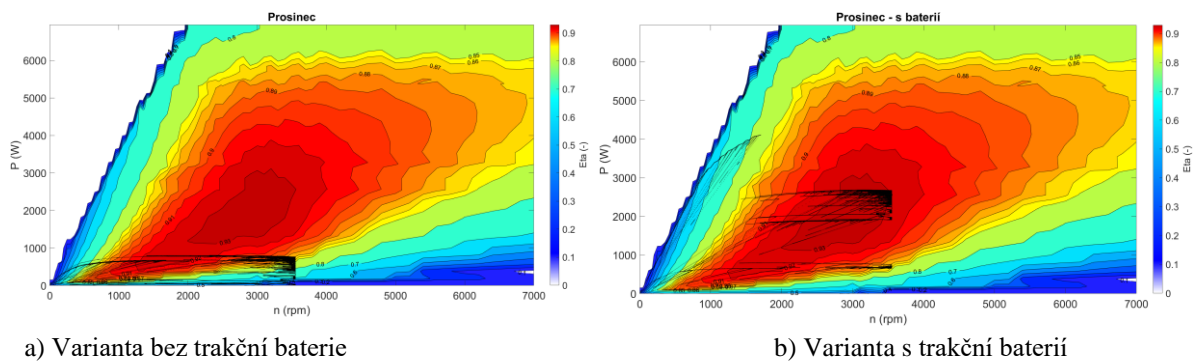
Ve vyhodnocování výsledků na trase Ostrava – Plzeň není příliš důležitý samotný průběh SoC, ale množství energie, které můžeme do baterie dobít před počátkem a po ukončení jízdy.



Obr. 6.20 Průběh SoC před začátkem a po ukončení jízdy na trase Ostrava - Plzeň

Průběhy SoC na trase Ostrava – Plzeň jsou vyobrazeny na obr. 6.20. Pokud sečteme průběhy SoC při zahájení jízdy a úroveň na které se baterie nabije po ukončení jízdy, je patrné, že na jaře a v létě jsme schopni dobít celou nebo většinu kapacity baterie bez nutnosti dobíjení jinými zdroji. Na podzim již dokážeme dobít podle případů baterii na různé úrovně SoC, v případě OP1 jsme schopni dobít na přibližně 60% po ukončení jízdy a v případě OP2 a OP3 kombinací nabíjení před začátkem a po ukončení jízdy přibližně 40%. Zima je ve všech třech uvažovaných případech kvůli své nízké průměrné GHI a krátkým dnům nejnepríznivější, dobíjení baterie pomocí solárního zdroje nebude hrát hlavní roli. V případě OP1 jsme schopni v zimě po ukončení jízdy dobít přibližně 35%, v případě OP2 po ukončení jízdy asi 15% a v případě OP3 převážně ranním dobíjením kolem 10%.

Celkově lze zhodnotit, že přidáním baterie výrazně zlepšíme možnosti pomocného elektrického pohonu a tím i jeho vliv na úsporu paliva. Díky baterii jsme schopni, zejména v letních a jarních měsících uložit solární energii v době přestávek nebo odstavení návěsu a následně ji využít pro vyšší úspory. Zejména v zimě jsme schopni eliminovat vliv nízké účinnosti na úsporu paliva. Hlavně díky tomuto posunu pracovních bodů v zimních měsících pozorujeme nejvýraznější zlepšení. Porovnání pracovních bodů v prosinci situace bez baterie a s baterií je níže na obr. 6.25. Na tomto obrázku lze pozorovat přítomnost pracovních bodů v účinnostech 92-93%, oproti sestavě bez baterie, při které se účinnost pohybuje mezi 60-85%.



Obr. 6.25 Pracovní body pomocného elektrického stroje na účinnostní mapě v prosinci

Závěr

Pro zhodnocení přínosu této diplomové práce jsou shrnuty jednotlivé části.

Spotřeba paliva běžného kamionu dle výsledků rešerše byla stanovena jako proměnlivá v závislosti na hmotnosti nákladu kamionu v rozmezí 30-35 l/100km. Rovněž je složité jednoznačně určit průměrnou spotřebu, jelikož jak je zdůrazněno v textu rovněž závisí na dané trase a rychlosti v jednotlivých úsecích. Jízdní odpory byly popsány a vyhledány. Z hlediska významnosti na spotřebu paliva má největší vliv odpor aerodynamický a valivý, nelze ale zanedbávat odpor stoupání a odpor návěsu, které tvoří rovněž podstatnou část za předpokladu naložení návěsu a výškového profilu trasy.

Sestavený matematický model vozidla se jeví jako věrohodný, v uvažovaném případě téměř plného naložení kamionu se spotřeba paliva dosažená v simulaci (34,36 l/100 km) na trase Ostrava - Plzeň blíží horní hranici stanoveného rozmezí. Toto zjištění odpovídá uvažované hmotnosti návěsu v simulaci, kde byla stanovena celková hmotnost soupravy na 39 t.

Jsou popsány trendy a nové technologie fotovoltaických článků, které mají vliv na zájem o téma osazení návěsů solárními panely. Vliv na toto téma má zejména snižování ceny solárních panelů za jednotku výkonu nebo např. technologie perovskitů, která disponuje potenciálem mít velký vliv na celý sektor solární energie a zejména na téma VIPV.

Práce rovněž popisuje realizaci měření na vzorku solárního panelu v rámci měsíců prosinec - květen na přechodu let 2022 - 2023. Následně jsou dosažené výsledky porovnány s daty, které jsou dostupné z nástrojů Evropské komise na internetu. Z porovnání je vyvozena podobnost a věrohodnost obou souborů dat.

Následný návrh výkonu solárního zdroje již počítá s daty od Evropské komise z důvodu pokrytí trvání celého roku napříč Evropským kontinentem. Výkon fotovoltaického zdroje je navržen na rozmezí 6,4 - 7,4 kW a závisí zejména na zvolené technologii solárních panelů, jejich účinnosti a efektivním využití limitované plochy na střeše návěsu. Jako optimální řešení se jeví využití integrace solárního zdroje s vysokou účinností do střechy návěsu. Pro případ simulací byl ale uvažován případ osazení 16-ti panely s účinností konverze energie 22,6 % a výkonem 6400 Wp.

Základní parametry pomocného elektrického pohonu byly navrženy s ohledem na limitace výkonu solárního zdroje a regulací kamionové dopravy. Navržený stroj disponuje maximálním mechanickým výkonem 6,5 kW a maximálním momentem 33 Nm. Ohled byl brán na nejlepší využití výkonu ze solárního zdroje a bylo vyvozeno optimální umístění jmenovitého bodu. Následně byl stanoven převodový poměr, který byl odvozen z limitace maximální rychlosti kamionové dopravy, stanovené na 90 km/h. Rovněž byl navržen základní parametr baterie s uchovatelnou energií 10 kWh.

V poslední části práce jsou popsány simulované trasy a samotné výsledky simulací celého systému. Pro účely simulace byly zvoleny 3 různé trasy. První trasou je cyklus WHVC, který se používá pro určení spotřeby paliva a emisí CO₂ vozidel. Následně byla zkoumána dálniční trasa Ostrava - Plzeň, u které byl nasnímán i výškový profil. Pro posouzení dálkové mezinárodní dopravy byla uměle vytvořena trasa, která zahrnovala 9 hodin jízdy spolu se 45-ti minutovou přestávkou předepsanou zákonem.

Samotné simulace byly provedeny na všech trasách pro případy jednotlivých měsíců roku. Zkoumány byly rovněž 3 geografické lokace, střední, severní a jižní Evropa, pro přesné posouzení celého Evropského kontinentu.

Dosažené úspory ve střední Evropě dosahovaly v průběhu roku 0,38–2,12 % na trase Ostrava - Plzeň pro posuzovaný systém bez přidané baterie. Dolní hranice úspor byla v průběhu zimních měsíců způsobena zejména nízkou intenzitou osvitů, krátkými dny a pohybem pracovních bodů v oblastech nízké účinnosti. V rámci měsíců jara, léta a podzimu byly úspory podstatnější, zejména z důvodu pohybu pracovních bodů v oblasti vysoké účinnosti, na kterou byl pohon navržen. V rámci severní a jižní Evropy se dle očekávání výsledky měnily, v případě severní Evropy s nižší intenzitou osvitů v průběhu roku byly úspory, zejména v zimě horší, téměř zanedbatelné pro případ prosince, a to z důvodu pohybu pracovních bodů v oblasti minimální účinnosti. V tomto období by bylo mnohem užitečnější využít dostupnou solární energii pro napájení systémů kamionu. Naopak v případě jižní Evropy byly výsledky rovněž dle očekávání příznivější. I v zimním období byly úspory podstatné a v letních měsících se dostaly ke 3%. Při zahrnutí navržené baterie do simulací se výsledky v průběhu roku výrazně zlepšily, ve všech případech přibližně o procento. Díky baterii je systém schopen zachytit veškerou solární energii v průběhu dne, která by v případě bez baterie byla ztracena. Uchovanou energii je možno následně využít pro podporu výkonu dostupného ze solárního zdroje, což umožňuje optimalizaci pracovních bodů.

Při simulacích nebyl uvažován žádný pokročilý způsob řízení, zejména z důvodu rozsáhlosti a složitosti jeho implementace. V případě využití tohoto systému v praxi by bylo optimalizované řízení celého systému vyžadováno a lze podle dosažených poznatků předpokládat podstatně vyšší úspory, než byly dosaženy v této práci. Toto tvrzení rovněž podporují podobné projekty, které byly zmíněny v úvodu, kde se předpokládají úspory paliva dosahující 5-10% v průběhu roku.

Navržený systém se jeví jako dobré řešení pro další snižování úspory paliva a s ním i emisí CO₂, které je předepsáno v Evropské legislativě. Lze tedy očekávat, že v blízké budoucnosti bude toto řešení nebo jemu podobné stále více diskutováno a následně nasazeno v praxi i díky zájmu výrobců kamionových souprav a inovacím v solární energetice.

Literatura

- [1] *Reducing CO₂ emissions from heavy-duty vehicles* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/transport-emissions/road-transport-reducing-co2-emissions-vehicles/reducing-co2-emissions-heavy-duty-vehicles_en
- [2] *SHELL STARSHIP INITIATIVE: ACCELERATING TOWARDS A CARBON NEUTRAL FUTURE* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.shell.com/motorist/oils-lubricants/rimula-truck-heavy-duty-engine-oil/shell-starship.html>
- [3] *Truck trailers with solar panels can save fuel* [online]. 8 OCTOBER 2020 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.scania.com/group/en/home/newsroom/news/2020/truck-trailers-with-solar-panels-can-save-fuel.html>
- [4] BELLINI, Emiliano. *Scania develops solar cell-clad trailer* [online]. October 12, 2020 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.pv-magazine.com/2020/10/12/scania-develops-solar-cell-clad-trailer/>
- [5] *ZF drives efficiency with eTrailer innovations* [online]. 27 September 2022 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://transportoperator.co.uk/2022/09/27/zf-drives-efficiency-with-etrailer-innovations/>
- [6] Fuel consumption testing of tractor- trailers in the European Union and the United States. *ICCT* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://theicct.org/sites/default/files/publications/EU_HDV_Testing_BriefingPaper_20180515a.pdf
- [7] VLK, František. *Dynamika motorových vozidel*. Brno: Nakladatelství a vydavatelství VLK, 2000. ISBN 80-238-5273-6.
- [8] MACÁNEK, Martin. *Consequences of reducing truck losses for vehicle braking and deceleration systems* [online]. Praha, 2019 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/85047/F2-DP-2019-Macanek-Martin-Diploma%20thesis%20Macanek.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Miloslav Emrich.
- [9] PRACHAŘ, Roman. *JÍZDNÍ ODPORY VOZIDEL* [online]. Brno, 2010 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/bitstream/handle/11012/12362/final-thesis.pdf?sequence=-1>. Diplomová práce. VUT. Vedoucí práce Tomáš Rochla.
- [10] *Fiberglass Aerodynamic Side Skirts* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://topolocfrt.com/fiberglass-aerodynamic-side-skirts/>
- [11] *X-engineer: How to calculate rolling resistance* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/rolling-resistance/>
- [12] Shell game? Debating real-world fuel consumption trends for heavy-duty vehicles in Europe. *ICCT* [online]. April 24, 2017 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://theicct.org/shell-game-debating-real-world-fuel-consumption-trends-for-heavy-duty-vehicles-in-europe/>
- [13] Delgado, Oscar & Rodriguez, Felipe & Muncrief, Rachel. (2017). Fuel efficiency technology in European heavy-duty vehicles: Baseline and potential for the 2020–2030 timeframe.
- [14] *The European Commission's science and knowledge service: VECTO - Overview* [online]. Ispra, 2018 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://climate.ec.europa.eu/system/files/2018-12/201811_overview_en.pdf

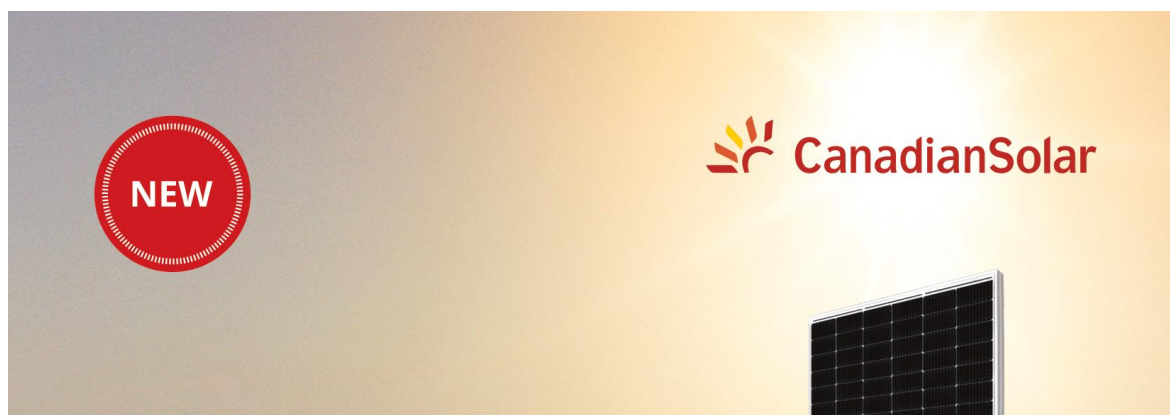
- [15] *VOLVO: Cab specifications for Volvo FH* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.co.uk/en-gb/trucks/trucks/volvo-fh/specifications/cab.html>
- [16] Electric mobility: The energy efficiency of an electric car motor. *Renault group* [online]. 9 March 2021 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.renaultgroup.com/en/news-on-air/news/the-energy-efficiency-of-an-electric-car-motor/>
- [17] Liimatainen, Heikki & van Vliet, Oscar & Aplyn, David. (2019). The potential of electric trucks – An international commodity-level analysis. *Applied Energy*. 236. 804-814. 10.1016/j.apenergy.2018.12.017.
- [18] ARAR, Steve. *What are the Challenges of Electric Heavy-Duty Vehicles?* [online]. September 25, 2020 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.allaboutcircuits.com/news/challenges-electric-heavy-duty-vehicles/>
- [19] Ajanovic, Amela & Haas, Reinhard. (2019). On the Environmental Benignity of Electric Vehicles. *Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*. 7. 10.13044/j.sdewes.d6.0252.
- [20] EICHENBERG, Paul. *Electrifying Automobiles: The Multiple Levels of Vehicle Electrification Explained* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.pauleichenberg.com/blog/multi-level-electrification-explained/>
- [21] Chatzipanagi, Anatoli & Jäger-Waldau, Arnulf & Langavant, Charles & Letout, Simon & Latunussa, Cynthia & Mountraki, Aikaterini & Georgakaki, Aliko & Ince, Ela & Kuokannen, Anna & Shtjefni, Drilona. (2022). *Clean Energy Technology Observatory: Photovoltaics in the European Union 2022 - Status Report on Technology Development, Trends, Value Chains and Markets*. 10.2760/812610.
- [22] IRENA (2022), *Renewable Power Generation Costs in 2021*, International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. ISBN 978-92-9260-452-3.
- [23] Wilson, Gregory & Al-Jassim, Mowafak & Metzger, W. & Glunz, Stefan & Verlinden, Pierre & Xiong, Gang & Mansfield, Lorelle & Stanbery, Billy & Zhu, Kai & Yan, Yanfa & Berry, Joseph & Ptak, Aaron & Frank, Dimroth & Kayes, Brendan & Tamboli, Adele & Peibst, Robby & Catchpole, Kylie & Reese, Matthew & Klinga, Christopher & Sulas-Kern, Dana. (2020). *The 2020 Photovoltaic Technologies Roadmap*. *Journal of Physics D: Applied Physics*. 53. 10.1088/1361-6463/ab9c6a.
- [24] *Our world in data: Solar panel prices* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://ourworldindata.org/grapher/solar-pv-prices>
- [25] *Solargis: Solar resources map of Europe* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://solargis.com/maps-and-gis-data/download/europe>
- [26] Rashid, Khudher & Abdulbaqi, Faten. (2021). The Effect of Humidity, Temperature and Total Solar Radiation on The Efficiency of Polycrystalline Solar Panel.
- [27] *Photovoltaic Geographical Information System* [online]. 2022 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
- [28] *Základní charakteristiky fotovoltaického modulu* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://fyz.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/21/2020/08/11_10.pdf
- [29] *WorldData: Sunrise and sunset in Czechia* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.worlddata.info/europe/czechia/sunset.php>
- [30] *DSV: Skříňový návěs* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.dsv.com/cs-cz/nase-reseni/typy-prepravy/silnicni-preprava/velikosti-navesu/skrinovy-naves>

- [31] *Aerodyn: SAVING FUEL, MONEY AND THE ENVIRONMENT* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <http://aerodyneuk.com/fuel-saving/truck-aerodynamics/>
- [32] Bayındırlı, Cihan & Akansu, Yahya & Salman, M.. (2016). The Determination Of Aerodynamic Drag Coefficient Of Truck and Trailer Model By Wind Tunnel Tests. *International Journal of Automotive Engineering and Technologies*. 5. 53. 10.18245/ijaet.11754.
- [33] Khosravi, Mehrdad & Mosaddeghi, Farshid & Oveisi, Majid & Khodayari Babil, Ali. (2015). Aerodynamic drag reduction of heavy vehicles using append devices by CFD analysis. *Journal of Central South University*. 22. 4645-4652. 10.1007/s11771-015-3015-7.
- [34] ŽNIDARIČ, Aleš. *Heavy-Duty Vehicle Weight Restrictions in the EU* [online]. Ljubljana, Slovenia, 2015 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://www.acea.auto/files/SAG_23_Heavy-Duty_Vehicle_Weight_Restrictions_in_the_EU.pdf. ZAG – Slovenian National Building and Civil Engineering Institute.
- [35] *Automarket: Volvo FH 13 Globetrotter XL 460 4x2* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.automarket.cz/volvo-fh-13-globetrotter-xl-460-4x2-20079>
- [36] *Heuver: 315/80R22.5 MICHELIN XDE2+ 156/150L TL* [online]. Hardenberg [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.heuver.com/product/b31580225milxde03/315-80r22-5-michelin-xde2-156-150l-tl>
- [37] *VOLVO: Cab specifications for Volvo FH* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.volvotrucks.co.uk/en-gb/trucks/trucks/volvo-fh/specifications/cab.html>
- [38] Engineering ToolBox, (2008). *Rolling Resistance*. [online] Dostupné z: https://www.engineeringtoolbox.com/rolling-friction-resistance-d_1303.html [cit. 2023-05-12].
- [39] *X-engineer: How to calculate rolling resistance* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://x-engineer.org/rolling-resistance/>
- [40] *Solar Inverter Guide: Types, Benefits, Costs, and How Solar Inverters Work* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://palmetto.com/learning-center/blog/solar-inverter-guide-types-benefits-cost-how-solar-inverters-work>
- [41] *Utility solar power and concentration: DC/DC Conversion* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://www.e-education.psu.edu/eme812/node/713>
- [42] A. Blinov, D. Vinnikov and V. Ivakhno, "Full soft-switching high step-up DC-DC converter for photovoltaic applications," *2014 16th European Conference on Power Electronics and Applications*, Lappeenranta, Finland, 2014, pp. 1-7, doi: 10.1109/EPE.2014.6911013.
- [43] Akhil Raj, R.P. Praveen. Highly efficient DC-DC boost converter implemented with improved MPPT algorithm for utility level photovoltaic applications, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 13, Issue 3, 2022, 101617, ISSN 2090-4479. <https://doi.org/10.1016/j.asej.2021.10.012>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2090447921003828>)
- [44] Energy density. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_density
- [45] *World Harmonized Vehicle Cycle (WHVC)* [online]. [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: <https://dieselnet.com/standards/cycles/whvc.php>

- [46] *Joint Research Center: PVGIS 5.2* [online]. 2022 [cit. 2023-05-12]. Dostupné z: https://joint-research-centre.ec.europa.eu/pvgis-online-tool/pvgis-releases/pvgis-52_en
- [47] *Český statistický úřad: Ceny pohonných hmot od roku 2001* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://fyz.fce.vutbr.cz/wp-content/uploads/sites/21/2020/08/11_10.pdf

Přílohy






Příloha 1 – Katalogový list solárního panelu CanadianSolar





HiKu6 Mono PERC

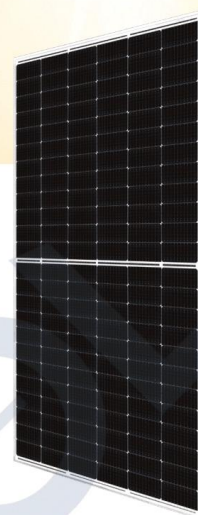
525 W ~ 550 W
CS6W-525 | 530 | 535 | 540 | 545 | 550MS



VYŠŠÍ VÝKON

-  Výkon panelu až 550 W
Účinnost panelu až 21,5 %
-  Až o 4.5 % nižší LCOE
Až o 5.6 % nižší pořizovací cena
-  Komplexní technologie zmírňování LID / LeTID, až o 50% nižší degradace
-  Kompatibilní s běžnými trackery, nákladově efektivní produkt pro užitnou elektrárnu
-  Vyšší tolerance zastínění

VYŠŠÍ SPOLEHLIVOST

-  Minimalizuje dopad mikro prasklin
-  Vysoké zatížení sněhem až 5400 Pa, větrem až do 2400 Pa*

 CanadianSolar


-  12 Let Rozšířená produktová záruka na materiál a zpracování*
-  25 Let Lineární výkonová záruka*

Degradace výkonu v prvním roce ne více než 2%
Následná roční degradace výkonu nejvýše 0,55%

*According to the applicable Canadian Solar Limited Warranty Statement.

CERTIFIKÁTY SYSTÉMU ŘÍZENÍ*

ISO 9001:2015 / Systém managementu kvality
ISO 14001:2015 / Standardy pro systém environmentálního managementu
ISO 45001:2018 / Mezinárodní standardy pro bezpečnost a ochranu zdraví při práci

PRODUKTOVÉ CERTIFIKACE*

IEC 61215 / IEC 61730 / INMETRO
UL 61730 / IEC 61701 / IEC 62716
UNI 9177 Reaction to Fire: Class 1 / Take-e-way



* Specifické certifikáty platné pro různé typy panelů a trhy se budou lišit, a proto ne všechny zde uvedené certifikace budou platit současně pro produkty, které si objednáte nebo používáte. Obrat se na místního obchodního zástupce společnosti Canadian Solar a zjistíte, které konkrétní certifikáty jsou dostupné pro váš produkt a platné v regionech, ve kterých budou produkty použity.

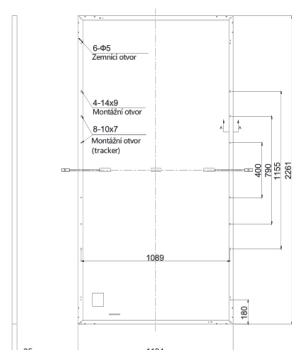
CSI Solar Co., Ltd. je zavázána poskytovat vysoce kvalitní solární produkty, řešení solárních systémů a služby zákazníkům po celém světě. Společnost je hodnocena jako světová jednička v poměru cena/výkon podle IHS Module Customer Insight Survey. Jako lídr v projektovém vývoji a výrobce solárních systémů s celkovým objemem instalovaného výkonu 50GW po celém světě od roku 2001.

*podrobné informace najdete v Instalačním manuálu

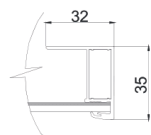
CSI Solar Co., Ltd.
199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

VÝKRES PANELU (mm)

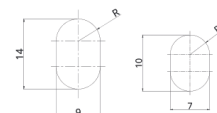
Zadní pohled



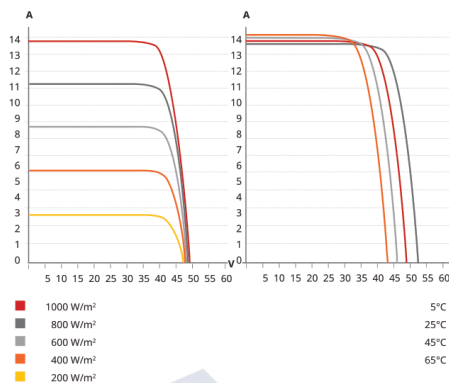
Řez rámem A-A



Montážní otvor



CS6W-530MS / I-V KŘIVKY



ELEKTRICKÉ SPEC. | STC*

CS6W	525MS	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Nominální Max. výkon (Pmpp)	525 W	530 W	535 W	540 W	545 W	550 W
Nominální napětí (Ump)	40.7 V	40.9 V	41.1 V	41.3 V	41.5 V	41.7 V
Nominální proud (Imp)	12.90 A	12.96 A	13.02 A	13.08 A	13.14 A	13.20 A
Napětí naprázdno (Uoc)	48.6 V	48.8 V	49.0 V	49.2 V	49.4 V	49.6 V
Proud nakrátko (Isc)	13.75 A	13.80 A	13.85 A	13.90 A	13.95 A	14.00 A
Účinnost panelu	20.5%	20.7%	20.9%	21.1%	21.3%	21.5%
Provozní teplota	-40°C ~ +85°C					
Max. systémové napětí	1500V (IEC/UL) či 1000V (IEC/UL)					
Požární certifikace	TYPE 1 (UL 61730 1500V) či TYPE 2 (UL 61730 1000V) či CLASS C (IEC 61730)					
Maximální zpětný proud	25 A					
Aplikační klasifikace	Třída A					
Výkonová tolerance	0 ~ +10 W					

* Měřeno za standardních testovacích podmínek (STC), osvit 1000 W/m², AM 1,5 a teplotě článku 25°C

MECHANICKÁ DATA

Typ článků	Mono-krytalické
Rozložení článků	144 [2 x (12 x 6)]
Rozměry	2261 × 1134 × 35 mm (89.0 × 44.6 × 1.38 in)
Hmotnost	27.8 kg (61.3 lbs)
Sklo	3.2 mm tvrzené sklo
Rám	Anodizovaná hliníková slitina
J-Box	IP68, 3 bypass diody
Kabeláž	4 mm ² (IEC), 12 AWG (UL)
Délka přívodního vodiče (včetně konektoru)	410 mm (16.1 in) (+) / 290 mm (11.4 in) (-) nebo délka na míru*
Konektor	T4 série či H4 UTX či MC4-EVO2
Panelů na paletě	30 ks
V kontejneru (40' HQ)	600 ks

* Pro detailnější informace kontaktujte svého obchodního zástupce

ELEKTRICKÉ SPEC. | NMOT*

CS6W	525MS	530MS	535MS	540MS	545MS	550MS
Nominální Max. výkon (Pmpp)	392 W	396 W	400 W	403 W	407 W	411 W
Nominální napětí (Ump)	38.0 V	38.2 V	38.4 V	38.6 V	38.8 V	39.0 V
Nominální proud (Imp)	10.33 A	10.37 A	10.42 A	10.45 A	10.49 A	10.54 A
Napětí naprázdno (Uoc)	45.8 V	46.0 V	46.2 V	46.4 V	46.6 V	46.8 V
Proud nakrátko (Isc)	11.09 A	11.13 A	11.17 A	11.21 A	11.25 A	11.30 A

* Měřeno za normálních provozních podmínek (NMOT), osvit 800 W/m², AM 1,5, teplota 20°C, rychlost větru 1 m/s.

TEPLOTNÍ SPECIFIKACE

Výkonový teplotní koeficient (Pmpp)	-0.34 % / °C
Napěťový teplotní koeficient (Uoc)	-0.26 % / °C
Proudový teplotní koeficient (Isc)	0.05 % / °C
Nominální provozní teplota panelu	42 ± 3°C

* Specifikace a klíčové vlastnosti uvedené v tomto datasheetu se mohou lehce lišit od skutečných parametrů a to především z důvodu neustálých inovací a zdokonalování našich produktů. Canadian Solar Inc. si v případě nutnosti vyhrazuje právo na změny uvedených parametrů a to bez předchozího oznámení. Vezměte prosím na vědomí, že s fotovoltaickými panely by měla zacházet a instalovat je kvalifikovaná osoba s odbornými znalostmi. Před použitím našich fotovoltaických modulů si pečlivě přečtěte bezpečnostní a instalační pokyny.

PARTNERSKÁ SEKCE



SOLSOL s.r.o.
Králova 298/4
Brno, 616 00
Česká republika
Tel: +420 773 576 737
Mail: sales@solsol.cz
www.solsol.cz

CSI Solar Co., Ltd.

199 Lushan Road, SND, Suzhou, Jiangsu, China, 215129, www.csisolar.com, support@csisolar.com

January 2021. All rights reserved, PV Module Product Datasheet V1.4_EN

Příloha 2 – Katalogový list solárního panelu SunPower Maxeon 3

SUNPOWER | MAXEON

Fundamentally different, and better



Back Contact



White Backsheet
Black Frame



Residential



MAXEON 3

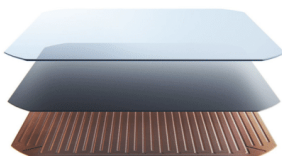
POWER RANGE: 390-400 W | EFFICIENCY: Up to 22.6%

Part of the record-setting SunPower Maxeon product line, the SunPower Maxeon 3 solar panel offers homeowners the highest efficiency available in the market today, maximising long-term energy production, as well as savings potential per available space.¹

SunPower Maxeon panels are world-renowned for their energy production and savings advantages that combine unmatched efficiency and reliability with an industry-leading warranty and an estimated 40-year useful life.^{2,3,4}

SunPower Maxeon Solar Cell Technology

- Proven technology across 3.5 billion cells shipped
- Most efficient commercialized solar technology¹
- Only solar cell with a solid-metal foundation, providing patented protection from breakage and corrosion



Maximum Lifetime Energy and Savings

The SunPower Maxeon 3 solar panel is designed to deliver 35% more energy in the same space over 25 years in real-world conditions such as partial shade and high temperatures.^{5,6,7}

A Better Product. A Better Warranty.

The 25-year SunPower Complete Confidence Panel Warranty is backed by testing and field data from more than 30 million SunPower Maxeon panels deployed—and a demonstrated warranty return rate of .005%.⁸



• Year 1 Minimum Warranted Power Output	98.0%
• Maximum Annual Degradation	0.25%
• Year 25 Warranted Power Output	92.0%

Leadership in Sustainable Manufacturing

SunPower Maxeon panels—and the facilities in which they are produced—raise the bar for environmental and social responsibility. Included below are highlights of the certifications and recognition received by some of our products and manufacturing sites.



Declare.



Landfill-Free Facility
NSF P445



sunpower.maxeon.com

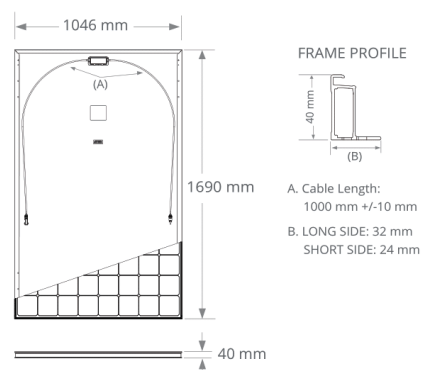
MAXEON 3 POWER: 390-400 W | EFFICIENCY: Up to 22.6%

Electrical Data			
	SPR-MAX3-400	SPR-MAX3-395	SPR-MAX3-390
Nominal Power (P _{nom}) ⁹	400 W	395 W	390 W
Power Tolerance	+5/0%	+5/0%	+5/0%
Panel Efficiency	22.6%	22.3%	22.1%
Rated Voltage (V _{mpp})	65.8 V	65.1 V	64.5 V
Rated Current (I _{mpp})	6.08 A	6.07 A	6.05 A
Open-Circuit Voltage (V _{oc}) (+/-3%)	75.6 V	75.4 V	75.3 V
Short-Circuit Current (I _{sc}) (+/-3%)	6.58 A	6.56 A	6.55 A
Max. System Voltage	1000 V IEC		
Maximum Series Fuse	20 A		
Power Temp Coef.	-0.27% / °C		
Voltage Temp Coef.	-0.236% mV / °C		
Current Temp Coef.	0.058% mA / °C		

Operating Condition And Mechanical Data	
Temperature	-40°C to +85°C
Impact Resistance	25 mm diameter hail at 23 m/s
Solar Cells	104 Monocrystalline Maxison Gen III
Tempered Glass	High-transmission tempered anti-reflective
Junction Box	IP-68, Staubli (MC4), 3 bypass diodes
Weight	19 kg
Max. Load ¹¹	Wind: 2400 Pa, 244 kg/m ² front & back Snow: 5400 Pa, 550 kg/m ² front
Frame	Class 1 black anodized (highest AAMA rating)

Tests And Certifications	
Standard Tests ¹⁰	IEC 61215, IEC 61730
Quality Management Certs	ISO 9001:2015, ISO 14001:2015
Ammonia Test	IEC 62716
Desert Test	IEC 60068-2-68, MIL-STD-810G
Salt Spray Test	IEC 61701 (maximum severity)
PID Test	1000 V: IEC 62804
Available Listings	TUV

Sustainability Tests and Certifications	
IFLI Declare Label	First solar panel labeled for ingredient transparency and LBC-compliance. ¹²
Cradle to Cradle Certified™ Bronze	First solar panel line certified for material health, water stewardship, material reutilization, renewable energy & carbon management, and social fairness. ¹³
Green Building Certification Contribution	Panels can contribute additional points toward LEED and BREEAM certifications. ¹⁴
EHS Compliance	RoHS, OHSAS 18001:2007, lead free, REACH SVHC-163



Please read the safety and installation guide.

1 Based on datasheet review of websites of top 20 manufacturers per IHS, as of Jan, 2020.
 2 Jordan, et. al. Robust PV Degradation Methodology and Application. PVSC 2018.
 3 Based on Oct. 2019 review of warranties on manufacturer websites for top 20 manufacturers per IHS 2018.
 4 "SunPower Module 40-Year Useful Life," SunPower whitepaper. 2013.
 5 SunPower 370 W, 22.7% efficient, compared to a Conventional Panel on same-sized arrays (310 W mono PERC, 19% efficient, approx. 1.64 m²)
 6 PV Evolution Labs "SunPower Shading Study," 2013. Compared to a conventional front contact panel.
 7 Based on temperature coefficients provided in manufacturer datasheets 2020.
 8 SunPower panels are less than 50 dppm, or 0.005%, on over 15 million panels shipped - Source: SunPower White Paper, 2019.
 9 Standard Test Conditions (1000 W/m² irradiance, AM 1.5, 25° C). NREL calibration Standard: SOMS current, LACCS FF and Voltage.
 10 Class C fire rating per IEC 61730.
 11 Safety factor 1.5 included.
 12 SunPower Maxison DC panels first received the International Living Future Institute Declare Label in 2016.
 13 SunPower Maxison DC panels are Cradle to Cradle Certified™ Bronze - www.c2ccertified.org/products/scorecard/e-series_x-series_solar_panels_-_sunpower_corporation. Cradle to Cradle Certified™ Bronze. Cradle to Cradle Certified™ is a certification mark licensed by the Cradle to Cradle Products Innovation Institute.
 14 Maxison panels can contribute to LEED Materials and Resources categories and BREEAM certification.

Designed in U.S.A. by SunPower Corporation
 Made in Philippines (Cells)
 Assembled in Mexico (Module)

Specifications included in this datasheet are subject to change without notice.

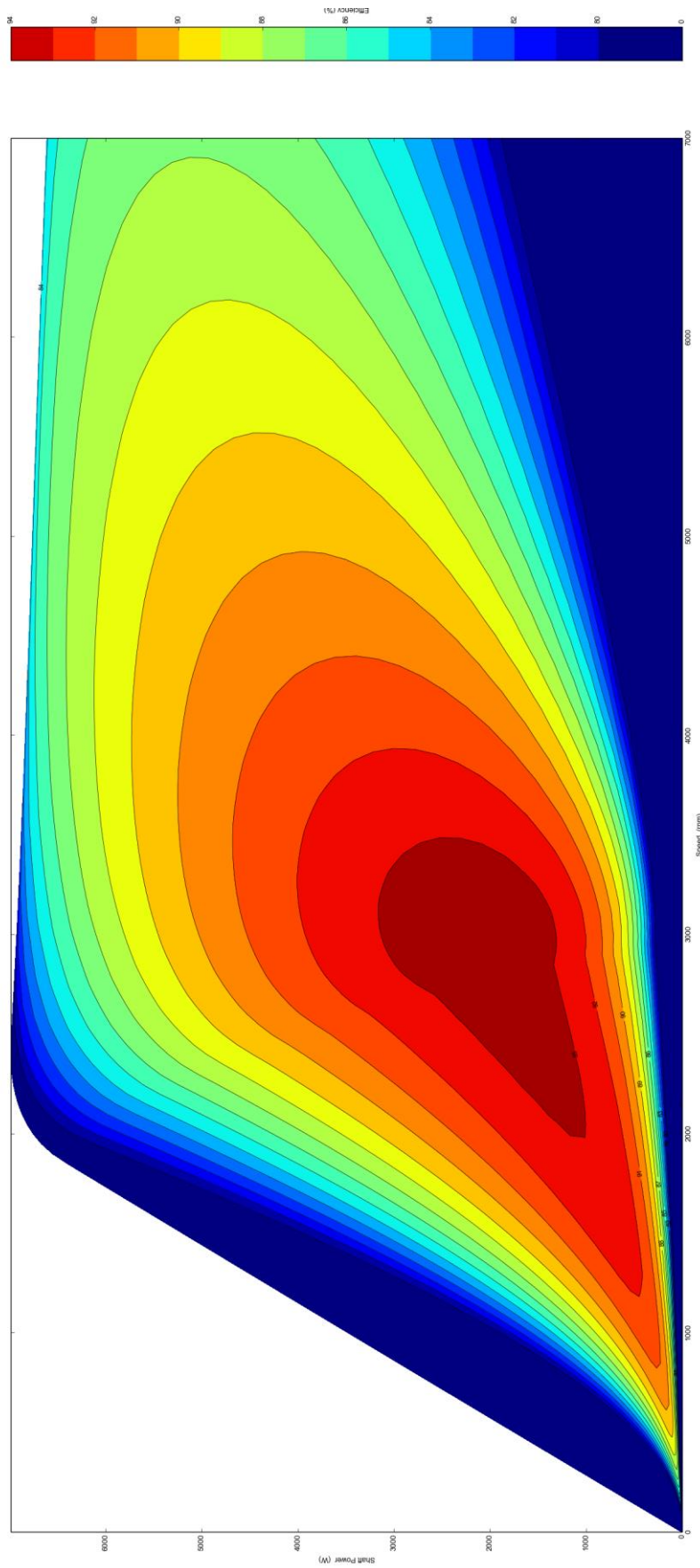
©2020 Maxison Solar Technologies. All Rights Reserved.
 View warranty, patent and trademark information at maxeon.com/legal.

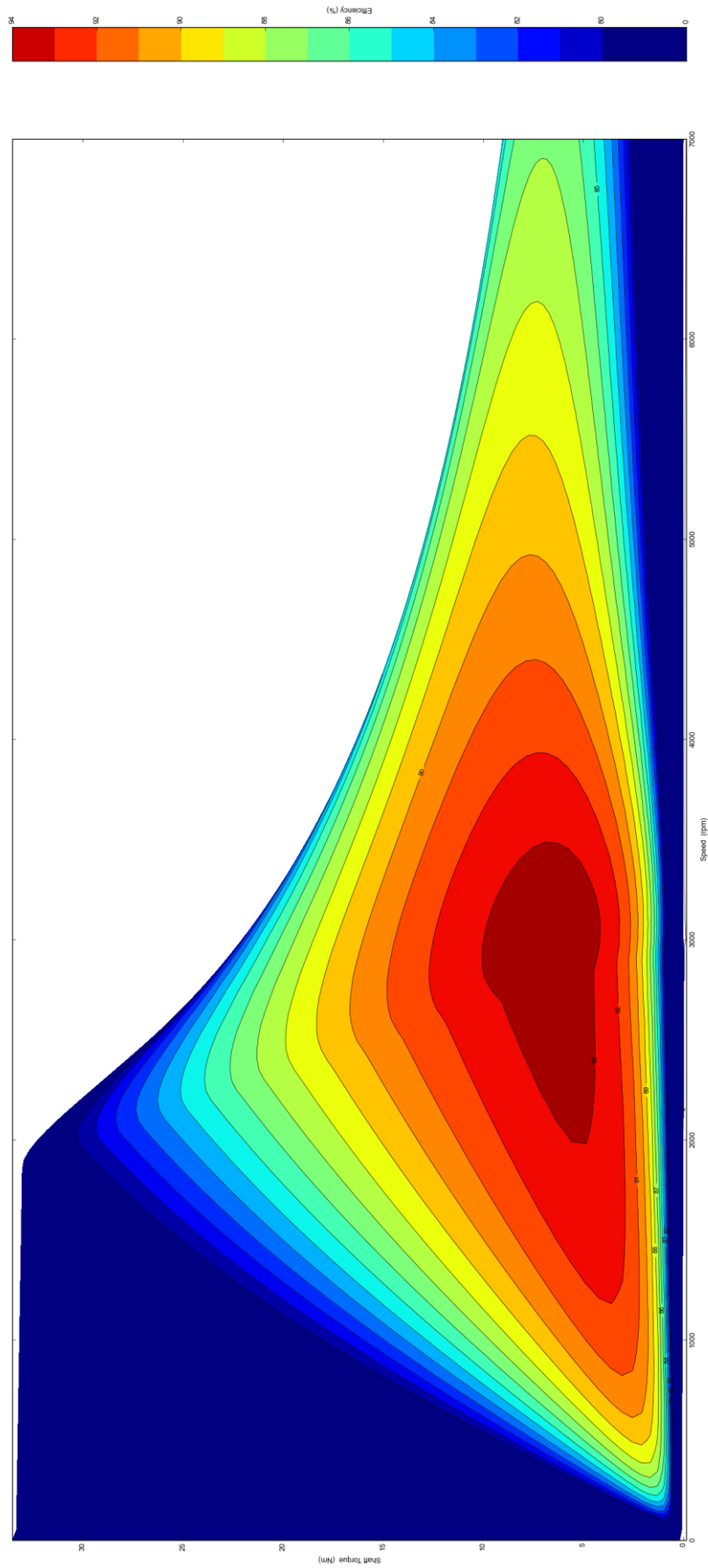
sunpower.maxeon.com

SUNPOWER
 FROM MAXEON SOLAR TECHNOLOGIES

536423 REV B / A4_AU
 Publication Date: July 2020

Příloha 3 – Charakteristiky pomocného elektrického stroje





Příloha 4 – Kompletní kód simulace

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 1 of 10

```

1 clear all; close all;
2 load EPA_Cycle; load ICE; load PMSM; load PlzenOstrava; load P_Geo; load
P_Geo_M; load PlzenOstrava; load PlzenOstrava_m
3 load WHVC;
4 Diplomka_parametry;
5 PV_Geo = P_Geo_M.P_Central;
6 prestavka = 0;
7
8 %%Jizdni cyklus
9 figure(1)
10 plot(WHVC(:,1),WHVC(:,2))
11 hold on
12 plot([1 1]*900, ylim, '--k','LineWidth', 1)
13 hold on
14 plot([1 1]*1381, ylim, '--k','LineWidth', 1)
15 title('WHVC')
16 xlabel("t (s)")
17 ylabel("v (km/h)")
18
19 for q = 1:13
20 %%Simulace
21 t_hodiny = 0;
22 t = 0;
23 dt1 = 0.040033419;dt1 = 0.040033419; %%Simulacni krok
24 dt2 =0.1;
25 indprofil = 1; %%index do matice jizdniho profilu
26 gear(1,1)=1;
27 v = 0; %%Aktualni rychlost
28 a = 0; %%Aktualni zrychleni
29 v_km=0; %%Aktualni rychlost v km
30 v_dkm = 0;
31 F_tazna = 0; moment_kolo = 0;moment_d = 0; P_motor = 0; P_kolo = 0; eta_motor =
0; power_PMSM_d = 0; moment_motor_PMSM = 0;
32 v_rpm=0;
33 v_rpm_ICE=0;
34 v_rpm_PMSM=0;
35 ind = 1;
36 rpm_index = 1;
37 index_gear = 1;
38 R_alfa = 0;
39 alfa = 0;
40 s = 0; %%Ujeta draha
41 E = 0;
42 E_total = 0;
43 P_el = 0; %%Elektricka energie dostupna - PV + baterie
44 SoC = 0; %State of charge
45 bat_C = 0;
46 palivo = 0;
47 m_total = m_truck+m_naves;
48 neutral = 0;
49 moment_motor_ICE = 0;
50 altitude = 225.7;
51 start = 8;

```

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 2 of 10

```

52 hodiny = 8;
53 bat_P = 0;
54 PV=0;
55 prestavka = 0; konecjizdy=0; startjizdy =0;
56
57
58 %%Jizdni a vyskovy profil
59 jizdni_profil = PrahaOstrava;          %%Ve skutecnosti PlzenOstrava, akorat se mi
nechce prejmenovat ta tabulka
60 vyskovy_profil = PrahaOstrava;
61 jizdni_profil(:,2) = jizdni_profil(:,2)/3.6; %km/h -> m/s
62
63 %%interpolace profilu - Definice hodnot podle kroku simulace dt
64 t_jp = jizdni_profil(1,1):dt1:jizdni_profil(end,1);          %%Cas
65 v_jp = interp1(jizdni_profil(:,1),jizdni_profil(:,2),t_jp); %%Rychlost
66 jizdni_profil = [t_jp' v_jp'];
67
68 t_vp = vyskovy_profil(1,1):dt1:vyskovy_profil(end,1);
69 h_vp = interp1(vyskovy_profil(:,1),vyskovy_profil(:,4),t_jp);
70 hh_vp =interp1(vyskovy_profil(:,1),vyskovy_profil(:,3),t_jp);
71 vyskovy_profil = [t_vp' h_vp' hh_vp'];
72
73 data_rpm = zeros(1,21);
74 data_gear = zeros(1,12);
75 hodnoty_rpm(1,1:21) = [0 550 600 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600
1700 1800 1900 2000 2100 2225 2300 2800];
76 %gear(1,1:12) = [14.94 11.73 9.04 7.09 5.54 4.35 3.44 2.7 2.08 1.63 1.27 1];
77 gear(1,1:12) = [15.86 12.33 9.57 7.44 5.87 4.57 3.47 2.7 2.1 1.63 1.29 1];
78 n = ceil(jizdni_profil(end,1)/dt1);
79 vystupy = zeros(n,25);          %%Definice datoveho vektoru 576001 nebo 216001
80 %%-----
Simulacnismycka-----%%
81 while t<jizdni_profil(end,1)%t<jizdni_profil(end,1)%hodiny<20
82     %%Pozadavek na rychlost
83     if(konecjizdy~=0)
84         if ((hodiny-start)>5.4566) %%dalkova 9.75 %%Lokalni 5.4566
85             konecjizdy = 1;
86             prestavka = 0;
87         end
88         if((hodiny>=start)&&(startjizdy == 0))
89             t=0;
90             startjizdy = 1;
91             indprofil = 1;
92         end
93         if ((t<=jizdni_profil(end,1))&&(startjizdy==1))
94         if t >= jizdni_profil(indprofil,1)
95             v_d = jizdni_profil(indprofil,2)*0.79;          %%--Limitovat na max 90
km/h - 25m/s
96             if v_d>25
97                 v_d=25;
98             end
99             indprofil= indprofil+1;
100         end

```

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 3 of 10

```

101         if((hodiny-start)>4.5)&&((hodiny-start)<5.25))
102             prestavka = 1;
103         else
104             prestavka = 0;
105         end
106
107         v_delta = v_d - v;           %%Odchylka
108         a_d = v_delta/dt2;           %%Pozadavek na zrychleni
109         F_tazna_d = a_d*(m_total);   %%Pozadavek na silu F=m*a
110         %%Vypocet odporu
111         if(t>10)
112             %%Vypocet sklonu
113             if((ind>1)&&(ind<(length(vystupy))))
114                 delka = v*dt2 + 0.5*a*dt2^2; %v*dt2 + 0.5*a*dt2^2;%vystupy(ind,4)-
vystupy(ind-1,4);
115                 vyska = vyskovy_profil(indprofil,2)*0.0167;
116                 altitude = vyskovy_profil(indprofil,3);
117                 alfa = atan(vyska/delka);           %%Uhel stoupani
118 %                 if (alfa>0.10)
119 %                     alfa = 0.10;
120 %                 elseif (alfa<-0.10)
121 %                     alfa = -0.10;
122 %                 end
123                 R_alfa = m_total * g * sin(alfa)*0.4;
124                 if((v_d < 0)|| (v<0))
125                     R_alfa = 0;
126                 end
127
128             end
129         end
130         R_aero = 0.5*rho_vzduch*A*Cd*(v^2);
131         R_rol_truck = f_rol_truck*m_truck*g*cos(alfa);
132         R_rol_naves = f_rol_truck*m_naves*g*cos(alfa);
133         R_naves = R_rol_naves;
134         %indprofil= indprofil+1;
135         R_celk = R_aero + R_rol_truck + R_naves + R_alfa;           %%Dodat odpor
sklonu + odpor navesu
136
137         F_tazna_d = F_tazna_d + R_celk;           %%Nutna sila + kompenzace odporu
138         moment_d = F_tazna_d * r_kolo;           %%Pozadovany moment
139 %-----Prevodovka-----%
140 %         if((v_rpm>=1100)&&(a_d>=0))           %%Povoleni preradit nahoru, az pri
rpm>1100, zde je nejlepsi radit, protoze tam je best ucinnost
141 %         if((moment_d<=(ICE.Torque_acc_tr(rpm_index,1)*eta_prevod*gear(1,
index_gear+1))|| (v_rpm>=1500))%%Mas povoleni preradit, pokud se s vyssim prevodem
dostaneme na pozadovanej moment nebo kdyz je rpm>1500 - znovu z duvodu ucinnosti,
ma vliv hlavne pri rozjezdu to 1500
142 %             index_gear=index_gear+1;           %%Prerad nahoru
143 %         end
144 %         elseif (a_d<0)           %V pripade ze se brzdi - vyrad do neutralu
145 %             neutral = 1;
146 %         end
147 % (neutral==1)&&(a_d>0)

```

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 4 of 10

```

148 %%Omylem jsem vymyslel jeste lepsi razeni - 0 trosku mensi spotreba paliva,
149 %%hodne mizive mensi, ale je mensi, ale co je podstatnejsi je to, ze je to
150 %%jde lip podle simulovaneho cyklu - je to tighter a tolikrat se
151 %%neprerazuje
152     for k=1:12
153         data_gear(1,k)= v/(2*pi*r_kolo)*60*gear(1,k);      %%Vypocti pro
vsechny mozne prevody pri aktualni rychlosti rpm motoru
154         data_gear(1,k)= abs(data_gear(1,k)-1100); %%Odecti ode vsech
vypoctenych rpm 1100
155     end
156     [trash,index_gear] = min(data_gear); %%Vyber index, který je nejbliž 1100,
tim padem nejlepsi pro zarazeni z hlediska ucinnosti a realistickeho chovani radici
paky
157
158 %-----Prevodovka-----%
159     if(v<1)      %%Tohle je tu jen proto, ze ve grafech se to obcas bilo
navzajem a hazela se tam 12 tka, kdyz byla rychlost 0, zakmity
160         index_gear = 1;
161     end
162     %rychlost
163     v_rpm = v/(2*pi*r_kolo)*60;
164     v_rpm_ICE = v_rpm*gear(1,index_gear);      %%Rychlost motoru
165     v_rpm_PMSM = v_rpm*gear_PMSM;
166     if((v_rpm_ICE<0)|| (v_rpm_PMSM<0))
167         v_rpm_ICE=0;
168         v_rpm_PMSM=0;
169     end
170     if(q~=13)
171         PV = interp1(PV_Geo(:,1),PV_Geo(:,q+1),hodiny, 'pchip');
172     if(PV<0)
173         PV=0;
174     end
175     if((v_d<12)&&(prestavka == 0))
176         bat_P = interp1(PMSM.rpm_tr(:,1),PMSM.Power_tr,v_rpm_PMSM)-PV;
177         if((bat_P+PV)>5000)
178             bat_P = 5000-PV;
179         end
180     elseif((prestavka == 1)|| (konecjizdy == 1)|| (startjizdy == 0))
181         bat_P = 0;
182     else
183         bat_P = 2000;
184     end
185
186     if((SoC<=0)|| (bat_C<=0))
187         bat_P = 0;
188     end
189     bat_P = 0;
190     P_el = PV + bat_P;      %%PV + energie z baterky
191     end
192     %%-----Retezec
ucinnost-----%
193     if moment_d > 0      %%Pridavame
194         %-----PMSM+ICE-----%

```

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 5 of 10

```

195     power_PMSM_d=min(P_el,interp1(PMSM.rpm_tr(:,1),PMSM.Power_tr(:,1),v_
v_rpm_PMSM)); %%Podle charky urci, kolik je maximalni vykon, který se da
vyuzit pohonem pri danyh otackach
196     moment_motor_PMSM=interp2(PMSM.rpm,PMSM.Power,PMSM.Torque,v_rpm_PMSM,
power_PMSM_d); %%Podle dostupneho vykonu najdi moment, co muzes dodat - Momenty
jiz prepoctitany pres ucinnost
197 %         if((moment_d-moment_motor_PMSM)>0)
198 %             moment_motor_d_ICE = (moment_d)/gear(1,index_gear)/eta_prevod; %%
Pozadovanej moment od motoru
199 %             moment_motor_ICE = min(moment_motor_d_ICE, interp1(ICE.rpm_tr(:,
1),ICE.Torque_acc_tr(:,1),v_rpm_ICE)); %%Najdi minimalni moment v charce
200 %             %-----Rozhodnuti ucinnosti-----%
201 %             for i = 1:21                                     %%Ktere rpm podle
tabulky jsem nejbliž??
202 %                 data_rpm(1,i)= abs(hodnoty_rpm(1,i)-v_rpm_ICE);
203 %             end
204 %             [closest_rpm,rpm_index] = min(data_rpm); %%Zjisti nam na
jakym indexu mame nejbližsi rpm
205 %             if (moment_motor_ICE>ICE.Torque_acc_tr(rpm_index,1)) %%
Presahli jsme max moment??
206 %                 eta_motor = ICE.Torque_acc_tr(rpm_index,2); %%Hodi se
ucinnost max. momentu
207 %             else
208 %                 eta_motor = interp2(ICE.rpm,ICE.Torque,ICE.eta,v_rpm_ICE,
moment_motor_ICE); %%Najdi ucinnost motoru v tomhle bode
209 %             end
210 %             %-----Rozhodnuti ucinnosti-----%
211 %             P_motor = moment_motor_ICE*(v_rpm_ICE*0.1047198); %%To cislo
je prevod z rpm do rads
212 %             E_motor = P_motor*dt; %%W -> J
213 %             moment_kolo = (moment_motor_ICE*eta_prevod*gear(1,index_gear))+
(moment_motor_PMSM*eta_prevod*gear_PMSM); %%Moment na kolo - prepocteno pres
prevod a ucinnost prevodu
214 %             else
215 %                 moment_kolo = moment_motor_PMSM*eta_prevod*gear_PMSM;
216 %             end
217 %             if(q==13)
218 %                 moment_motor_PMSM = 0;
219 %             end
220 %             moment_motor_d_ICE = (moment_d-(moment_motor_PMSM*gear_PMSM))/gear
(1,index_gear)/eta_prevod; %%Pozadovanej moment od motoru
221 %             moment_motor_ICE = min(moment_motor_d_ICE, interp1(ICE.rpm_tr(:,1),
ICE.Torque_acc_tr(:,1),v_rpm_ICE)); %%Najdi minimalni moment v charce
222 %                 if(moment_motor_ICE>2285.16992)
223 %                     moment_motor_ICE = 2285.16992;
224 %                 end
225 %             %-----Rozhodnuti ucinnosti-----%
226 %             for i = 1:21                                     %%Ktere rpm podle
tabulky jsem nejbliž??
227 %                 data_rpm(1,i)= abs(hodnoty_rpm(1,i)-v_rpm_ICE);
228 %             end
229 %             [closest_rpm,rpm_index] = min(data_rpm); %%Zjisti nam na
jakym indexu mame nejbližsi rpm

```

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 6 of 10

```

230         if (moment_motor_ICE>ICE.Torque_acc_tr(rpm_index,1))           %%
Presahli jsme max moment??
231             eta_motor = ICE.Torque_acc_tr(rpm_index,2);               %%Hodi se
ucinnost max. momentu
232         else
233             eta_motor = interp2(ICE.rpm,ICE.Torque,ICE.eta,v_rpm_ICE,
moment_motor_ICE);           %%Najdi ucinnost motoru v tomhle bode
234         end
235         %-----Rozhodnuti ucinnosti-----%
236         P_motor = moment_motor_ICE*(v_rpm_ICE*0.1047198);           %%To cislo je
prevod z rpm do rads
237         E_motor = P_motor*dt2;           %%W -> J
238         moment_kolo = (moment_motor_ICE*eta_prevod*gear(1,index_gear))+
(moment_motor_PMSM*eta_prevod*gear_PMSM);
239         elseif moment_d<0                                           %%Brzdime
240             moment_kolo = moment_d;           %%Neuvazovano regeneracni brzdeni
241             E_motor = 0;
242         else
243             moment_kolo=0;
244             E_motor = 0;
245         end
246         %%-----Retezec
ucinnosti-----%
247         P_kolo = moment_kolo*(v/r_kolo);           %%Vykon na kole
248
249         F_tazna = moment_kolo /r_kolo;           %%Tazna sila, která tam bude
250         F_tazna = F_tazna - R_celk;           %%Odecet odporu
251         a = F_tazna / (m_total);           %%+ hmotnost_rot);           %%Dosazene zrychleni
252
253         s = s + v*dt2 + 0.5*a*dt2^2;           %%Vypocet vzdalenosti ujeete trasy
254         v = v + a*dt2;           %%Vypocet aktualni rychlost
255
256         v_dkm = v_d*3.6;
257         v_km = v*3.6;
258         %-----Vypocet
Paliva+Baterka-----%
259         E = E + E_motor;           %%Celkova spotrebovana energie v Joulech
260         E_total = E_total + (E_motor/eta_motor);           %%spotreba celkove energie -
uz prepocteno pres ucinnost
261         palivo = (E_total/38000000);
262         else
263         %           PV = interp1(PV_Geo(:,1),PV_Geo(:,q+1),hodiny,'pchip');
264         end%%End toho pocatecniho ifu u baterek
265         %%end%%Pro nabijeni/vybijeni
266         %           PV = interp1(PV_Geo(:,1),PV_Geo(:,q+1),hodiny,'pchip');
267         if ((prestavka==1)||(konecjizdy == 1)||(startjizdy == 0))
268             if(SoC<=100)
269                 bat_C = (bat_C) + (((PV/3600)*dt2)*eta_baterie);
270                 SoC = (bat_C/10000)*100;           %%V % State of Charge baterky
271             end
272         else
273             if(bat_C>0)
274                 bat_C = (bat_C) - ((bat_P/3600)*dt2)/eta_baterie);

```

 24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 7 of 10

```

275         SoC = (bat_C/10000)*100;      %%V % State of Charge baterky
276         end
277     end
278 %%-----Vypocet
Paliva+Baterka-----%
279     vystupy(ind,1:31) = [t v_dkm v_km s F_tazna moment_kolo moment_d
moment_motor_ICE index_gear v_rpm_ICE P_motor P_kolo E_total palivo eta_motor
neutral v_rpm v_rpm_PMSM power_PMSM_d moment_motor_PMSM SoC bat_P altitude PV
hodiny alfa R_alfa R_rol_truck R_aero R_naves a]; %%Ulozeni dat do matice
280     if(startjizdy==1)
281         t = t + dt1;      %%Inkrementace casu podle kroku
282     end
283     hodiny=hodiny+(dt2/3600);
284     ind = ind + 1;      %%Inkrementace indexu matice
285 end
286 %%-----Simulacni
smycka-----%%
287 switch q
288     case 1
289         vystupy_prosinec = vystupy;
290         palivo100km_prosinec = (palivo*100)/(s/1000);
291     case 2
292         vystupy_leden = vystupy;
293         palivo100km_leden = (palivo*100)/(s/1000);
294     case 3
295         vystupy_unor = vystupy;
296         palivo100km_unor = (palivo*100)/(s/1000);
297     case 4
298         vystupy_brezen = vystupy;
299         palivo100km_brezen = (palivo*100)/(s/1000);
300     case 5
301         vystupy_duben = vystupy;
302         palivo100km_duben = (palivo*100)/(s/1000);
303     case 6
304         vystupy_kveten = vystupy;
305         palivo100km_kveten = (palivo*100)/(s/1000);
306     case 7
307         vystupy_cerven = vystupy;
308         palivo100km_cerven = (palivo*100)/(s/1000);
309     case 8
310         vystupy_cervenec = vystupy;
311         palivo100km_cervenec = (palivo*100)/(s/1000);
312     case 9
313         vystupy_srpen = vystupy;
314         palivo100km_srpen = (palivo*100)/(s/1000);
315     case 10
316         vystupy_zari = vystupy;
317         palivo100km_zari = (palivo*100)/(s/1000);
318     case 11
319         vystupy_rijen = vystupy;
320         palivo100km_rijen = (palivo*100)/(s/1000);
321     case 12
322         vystupy_listopad = vystupy;

```

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 8 of 10

```
323     palivo100km_listopad = (palivo*100)/(s/1000);
324     case 13
325     vystupy_basic = vystupy;
326     palivo100km_basic = (palivo*100)/(s/1000);
327 end
328 end
329
330 % figure(20)
331 % subplot(2,2,1)
332 % plot(vystupy_prosinec(:,25),vystupy_prosinec(:,24),vystupy_leden(:,25),
vystupy_leden(:,24),vystupy_unor(:,25),vystupy_unor(:,24))
333 % title("Winter")
334 % xlabel("t (h)")
335 % ylabel("P (W)")
336 % legend('December','January','February')
337 % subplot(2,2,2)
338 % plot(vystupy_brezen(:,25),vystupy_brezen(:,24),vystupy_duben(:,25),
vystupy_duben(:,24),vystupy_kveten(:,25),vystupy_kveten(:,24))
339 % title("Spring")
340 % xlabel("t (h)")
341 % ylabel("P (W)")
342 % legend('March','April','May')
343 % subplot(2,2,3)
344 % plot(vystupy_cerven(:,25),vystupy_cerven(:,24),vystupy_cervenec(:,25),
vystupy_cervenec(:,24),vystupy_srpen(:,25),vystupy_srpen(:,24))
345 % title("Summer")
346 % xlabel("t (h)")
347 % ylabel("P (W)")
348 % legend('June','July','August')
349 % subplot(2,2,4)
350 % plot(vystupy_zari(:,25),vystupy_zari(:,24),vystupy_rijen(:,25),vystupy_rijen
(:,24),vystupy_listopad(:,25),vystupy_listopad(:,24))
351 % title("Autumn")
352 % xlabel("t (h)")
353 % ylabel("P (W)")
354 % legend('September','October','November')
355 % figure(5)
356 % subplot(3,1,1)
357 %     plot(vystupy(:,1),vystupy(:,2),vystupy(:,1),vystupy(:,3))
358 %     legend('v pozadavek','v sim')
359 %     xlabel("t (s)")
360 %     ylabel("v (km/h)")
361 % subplot(3,1,2)
362 %     plot(vystupy(:,1),vystupy(:,9))
363 %     xlabel("t (s)")
364 %     ylabel("gear")
365 % subplot(3,1,3)
366 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,10))
367 % xlabel("t (s)")
368 % ylabel("engine rpm")
369 %
370 % figure(6)
371 % subplot(2,1,1)
```

24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 9 of 10

```
372 % plot(vystupy(:,4),vystupy(:,13))
373 % xlabel("s (m)")
374 % ylabel("E_total (J)")
375 % subplot(2,1,2)
376 % plot(vystupy(:,4),vystupy(:,14))
377 % xlabel("s (m)")
378 % ylabel("spotreba (l)")
379 %
380 % figure(7)
381 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,15))
382 % xlabel("t (s)")
383 % ylabel("eta")
384 %
385 % figure(8)
386 % subplot(3,1,1)
387 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,17))
388 % xlabel("t (s)")
389 % ylabel("rpm_wheel")
390 % title("Rpm na kole")
391 % subplot(3,1,2)
392 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,10))
393 % xlabel("t (s)")
394 % ylabel("rpm_ICE")
395 % title("Rpm spalovacího motoru")
396 % subplot(3,1,3)
397 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,18))
398 % xlabel("t (s)")
399 % ylabel("rpm_PMSM")
400 % title("Rpm pomocného motoru")
401 %
402 % figure(9)
403 % subplot(2,1,1)
404 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,21))
405 % xlabel("t (s)")
406 % ylabel("SoC (%)")
407 % subplot(2,1,2)
408 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,22))
409 % xlabel("t (s)")
410 % ylabel("P_bat")
411 %
412 % figure(10)
413 % subplot(2,1,1)
414 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,20))
415 % xlabel("t (s)")
416 % ylabel("PMSM Torque (N/m)")
417 % subplot(2,1,2)
418 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,20)*gear_PMSM)
419 % xlabel("t (s)")
420 % ylabel("PMSM Torque_shaft (N/m)")
421 %
422 % figure(11)
423 % subplot(2,1,1)
424 % plot(vystupy(:,4)/1000,vystupy(:,3))
```

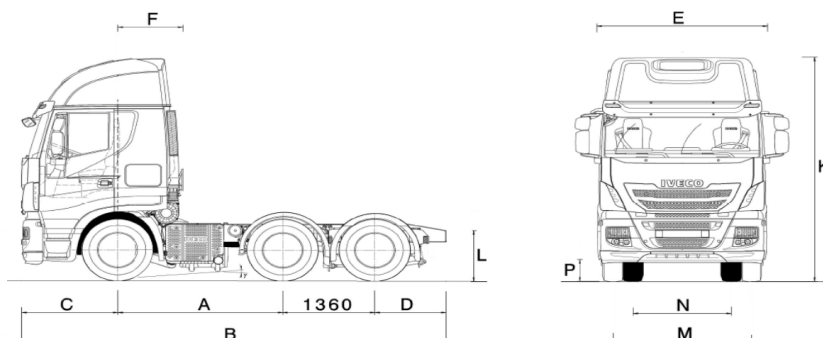
24/05/23 12:42 C:\Users\tomas...\Diplomka Simulace.m 10 of 10

```
425 % xlabel("s (km)")
426 % ylabel("v (km/h)")
427 % title("Rychlostní profil Ostrava - Plzeň")
428 % subplot(2,1,2)
429 % plot(vystupy(:,4)/1000,vystupy(:,23))
430 % xlabel("s (km)")
431 % ylabel("h (m n. m.)")
432 % title("Výškový profil Ostrava - Plzeň")
433
434 % figure(3)
435 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,10),vystupy(:,1),vystupy(:,18))
436 % xlabel('t (s)')
437 % ylabel('n (ot/min)')
438 % title('Otáčky na motorech v průběhu jízdy')
439 % legend('Otáčky vznětového motoru','Otáčky pomocného elektrického pohonu')
440
441
442 % figure(2)
443 % plot(vystupy(:,1),vystupy(:,28),vystupy(:,1),vystupy(:,29),vystupy(:,1),
vystupy(:,30))
444 % legend('R_r_o_l','R_a_e_r_o','R_n')
445 % xlabel('t (s)')
446 % ylabel('R (N)')
447 % title('Vybrané jízdní odpory')
```

Příloha 5 – Katalogový list IVECO STRALLIS

STRALLIS E6

HI-WAY (AS)
AS440S48TX/P



Plated/Design Weights (kg)	GVM	GTW	Front Axle	2nd Axle	Rear Axle
Plated weights	24500	44000	7100	6700	11500
In use Authorised Weight Restrictions (AWR)	24500	44000	8000	6700	10500
Design weights	24500	44000	8000	6700	13000

(*) The GVM depends on the combination of axle loads and 5th wheel position

Kerb Weights (kg)

Weights are to standard specification and include water, oils, 5 litres of AdBlue and 20 litres of fuel but excludes driver.
Kerb weights are subject to a manufacturing tolerance of +/- 5%.

Options: Aluminium air reservoirs reduce kerb weight by -40kg. Alloy wheels reduce kerb weight by -158.4kg 8 x (22.5 x 9.00) wheels.

Wheelbase	2440	2640
Front	4925	4940
Rear	2775	2780
Total	7700	7720
Trailer/Payload @ GTW	36300	36280

Dimensions (mm)

A	Wheelbase	2440	2640
B	Overall length (over bumpers)	6258	6458
C	Front overhang	1410	1410
D	Rear overhang	1048	1048
E	Cab width (over front bumper)	2550	2550
F	C/line f/axle to back of cab equip	840	840
	Back of cab to end of frame	4008	4233
I	Fifth wheel position (22.5") (*)	710	910
K	Cab height (unladen)	3774	3774
L	Frame height (unladen)	959	959
	Centre of drive axle	769.4	769.4
M	Front track	2049	2049
N	Rear track	1818	1818
	Frame C section width	80	80
	Frame thickness	6.7	6.7
	Front ground clearance (bumper)	217	217
	Rear ground clearance (drive axle)	227	227
	Turning circle (wall to wall)	13500	14000
	Side members max height	302.4	302.4

(*) 5th wheel position depends on axle plated weights

Tyres and Wheels	Tyre Size	Tread			Wheels					
		Front	Pusher axle	Drive axle	Front	Pusher axle	Drive axle			
Standard	22.5 wheel size	315/70R22,5	315/70R22,5	315/70R22,5	On Road	On Road	Traction	22.5x9.00	22.5x9.00	22.5x9.00

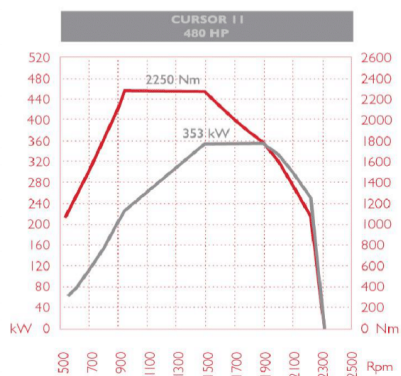
*Variety of optional tyres depending on axle loads and GVM



The information in this literature is intended to be of a general nature only. Iveco Ltd reserves the right to modify or change specification at any time. For further information please consult your dealer. AS440S48TX/P 16/01/2014

STRALIS E6 AS440S48TX/P 6x2 Tractor

Engine		Cursor 11 (EURO VI)	
Standard:		intercooled, over head camshaft,	
		4 valves per cylinder.	
Cylinders		6 in line	
Bore (mm)		128	
Stroke (mm)		144	
Total displacement cm ³		11118	
Weight (without oil / water) Kg		1130	
Power (kW / Hp)		353/480	
@ rpm		1500-1900	
Torque (Nm)		2250	
@ rpm		950-1500	



Notes	
Turbocharger	Electronic EVG Turbo Intercooler
Engine Brake power (kW / Hp)	465/632
@ rpm	2800 rpm
Electronic Common Rail	Peak nozzle pressures up to 2200 bar
Compressor	630 cc

Clutch	
Type:	Single plate, pull type.
Asbestos free	
Outer diameter	17 inches

Gearbox		EuroTronic 12 AS 2330 TD	
12 -speed fully automated with semi - automated function			
Gear ratio's			
1st		15.86	
2nd		12.33	
3rd		9.57	
4th		7.44	
5th		5.87	
6th		4.57	
7th		3.47	
8th		2.7	
9th		2.1	
10th		1.63	
11th		1.29	
12th		1	
Rev1		14.68	
Rev2		11.41	

Additional available manual gearbox: ZF 16S2320 TD

Equipment available includes:
 Hi-Design & Aerodynamics: Redesigned front grille and air deflectors, new bumper profile, sun visor with LED lights, light assemblies with LED Daytime Running Lights (DRL) and Xenon headlights. Interior space of more than 10 m³, new ergonomic dashboard, designed with high quality non-reflective materials. Repositioned controls readily visible and accessible, ensuring maximum safety, expanded storage compartments. New steering wheel with integrated phone controls. "High Comfort" lower bunk, 80cm wide and more than 2m long, with wooden slats, or multi-section bed folding in the centre to become a useful table. Additional air conditioning system. Two spacious illuminated storage compartments, accessible from outside and inside. Two additional external storage compartments. Fridge enhanced with handy bottle rack and, maxi-fridge with a capacity of more than 50 litres. The cabin has been treated with a thick cathaphoretic coating. Anti-abrasive wax coating for the underside of the chassis.

TPMS (Tyre Pressure Monitoring System), EBS + BAS Electronic Braking System (EBS) integrating ABS (Antilock Braking System), ASR (Acceleration Slip Regulation) and EBL (Electronic Brake Limiter) functions, ESP (Electronic Stability Program), Hill holder, ACC (Adaptive Cruise Control), Downhill Cruise Control GAP, LDWS (Lane Departure Warning System), EcoSwitch, Ecofleet, DSE (Driving Style Evaluation - DAS (Driving Attention System))
 INFOTAINMENT/TELEMATICS: IVECONNECT (touch screen radio) - Radio Blue Tooth - Truck Navigation Predisposition - New Telematic Box.

The information in this literature is intended to be of a general nature only. Iveco Ltd reserves the right to modify or change specification at any time. For further information please consult your dealer. AS440S48TX/P 18/01/2014

Axles	
Front	Iveco 5876/4 I-beam with oil filled hubs,
Pusher axle	Iveco 5876/4
Drive	Meritor MS13-175X Hypoid
Diff Lock	Standard
Standard Ratio	2.64:1
Type	Lifting steering axle
Wheels and tyres	Single

Chassis	
Type	Ladder construction with rolled steel side members and riveted and bolted cross members. C -section chassis rails Dimensions : 302.4 x 80 x 6.7mm

Fuel Tank	
Type	wb 3800 340 / wb 4000 430 litres, aluminium Locking fuel cap

Adblue Tank	
Type	50 litres, plastic, locking cap

Suspension	
Drive axle	Pneumatic ECAS (remote control in the cab)
Type	4 pneumatic air bags (13,000 kg)
Raise/lower	(+140/-70 mm) height chassis
Pusher axle	2 pneumatic air bags on pusher axle (6,700 kg)
Lift	2 pneumatic air bags (dimeter 206mm)

Electronics	
Type	24v negative earth return
Alternator	28v, 90A
Starter	24v, 5.5kW
Battery	2 x 12v, 220Ah
Isolation switch	Electronic controlled

Brakes	
Type	EBS + BAS
Front	432mm ventilated disc
Rear	432mm ventilated disc
Park	Actuates spring brake chambers on Front axle and drive axle
Iveco turbo brake	De-compression engine brake + Exhaust flap
Heated air drier	Standard
Air reservoirs	Steel
ABS	Standard
ASR Traction Control	Standard

Steering	
Type	ZF 8098 power assisted
Steering wheel adjustr height and inclination	
Steering wheel lock.	