

# Optimalizace pohonného řetězce modelu hybridního vozidla

Bc. Jan Minář

Vedoucí práce: Ing. Vojtěch Klír, Ph.D.

Konzultant: Ing. Adam Barák

Konzultant: Ing. Ondřej Kozák

## **Abstrakt**

*Tato práce se zabývá optimalizací řídicí strategie simulačního modelu hybridního vozidla. Bylo vybráno šest optimalizačních (minimalizačních) metod dostupných v programu Matlab a ty byly odzkoušeny na testovacích funkcích. Na základě vyhodnocení byla zvolena spolehlivá a rychlá optimalizační metoda a ta byla použita k optimalizaci řídicí strategie simulačního modelu hybridního vozidla v prostředí Matlab/Simulink. Model odpovídá vozidlu typu Toyota Prius 3. generace. Vstupem do simulace je jízdní cyklus. Na výstupu je pak především sledována spotřeba paliva a stav nabití baterie po ujetí jízdního cyklu.*

## **Klíčová slova**

*Hybridní vozidlo, optimalizace, minimalizace, jízdní cyklus, řídicí strategie.*

## **1. Úvod**

Vývoj automobilových motorů s vnitřním spalováním (ICE) je jedním z největších úspěchů moderní technologie. Automobily velmi přispěly k rozvoji společnosti a to jak uspokojením potřeby každodenní mobility, tak obrovskou podporou průmyslu. Na druhou stranu vysoký počet automobilů, který stále narůstá s rozvojem zemí jako Čína či Indie, způsobuje závažné problémy týkající se životního prostředí. Mezi hlavní problémy patří znečištění vzduchu, globální oteplování a rychlé vyčerpávání ropných zásob.

V posledních desetiletích tak vzrůstá legislativní tlak na výrobce (např. emisní normy EURO), který je nutí snižovat spotřebu a emise svých vozů. Proto se výzkum spojený s dopravou zaměřil na vývoj účinné, čisté a bezpečné dopravy. Jako dobrá alternativa konvenčních automobilů pro blízkou budoucnost se jeví elektrická vozidla (EV), hybridní elektrická vozidla (HEV) a vozidla s palivovými články (FCV) [1].

Avšak při současných technologických možnostech mají čistě elektrická vozidla (EV) jen malou oblast využití, a to kvůli kapacitě baterií, která umožňuje na jedno nabití značně omezený dojezd (cca 80 – 150 km), slabé infrastruktury dobíjecích stanic a časové náročnosti dobíjení.

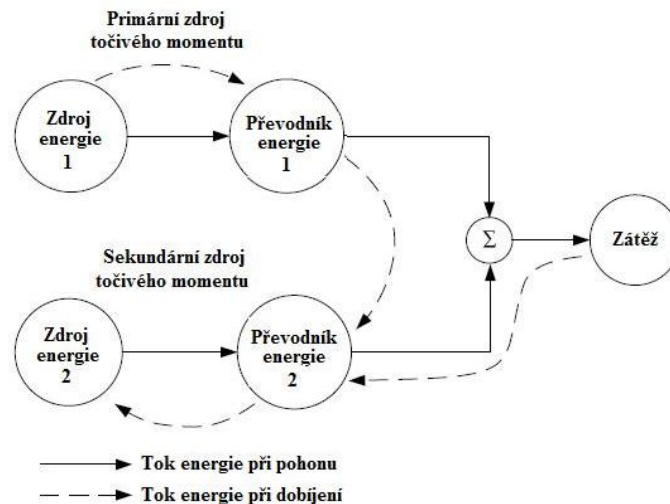
Do vozidel s palivovými články (FCV) byly v 90. letech vkládány veliké naděje. Ačkoli byla technologie dotažena k praktickému použití, vozidla jsou pro většinu lidí finančně nedostupná. Dalším faktorem je zcela chybějící infrastruktura výroby, distribuce a skladování vodíku. Vozidla se navíc setkávají s určitou skepsí ze strany uživatelů a to z důvodu nebezpečnosti vodíku. Jejich vývoj proto v současné době stagnuje.

Jako perspektivní se ukázal vývoj hybridních automobilů (HEV), které kombinují to nejlepší z oblasti spalovacích i elektrických motorů. V závislosti na uspořádání hnacího ústrojí a na stupni hybridizace lze dosáhnout snížení spotřeby paliva o 5 – 50 % (v určitých případech i více) [2].

Důležitým faktorem je také implementovaná řídicí strategie, která vhodně volí režim jízdy hybridního vozidla. Návrh a optimalizace takovéto řídicí strategie je předmětem této práce.

## 2. Hybridní vozidlo

Obecně může mít vozidlo více než jeden zdroj točivého momentu. Ten zde definujeme jako kombinaci „zdroje energie“ a „převodníku energie“ jako je například benzín – spalovací motor, palivový článek – elektromotor, baterie – elektromotor [1]. **Vozidlo, které používá k pohonu dva a více různých zdrojů energie se nazývá hybridní. Je žádoucí, aby jeden z těchto zdrojů energie byl dobíjitelný během jízdy.** Spalovací motor kombinovaný s elektrickým zdrojem energie a elektromotorem se nazývá Hybridní Elektrické Vozidlo (HEV) [2].



Obr. 1. Schéma hybridního vozidla [1]

### 2.1 Dělení hybridních vozidel dle stupně hybridizace (elektrizace)

Mezi konvenčním automobilem se spalovacím motorem a elektrickým vozidlem poháněným z baterií tedy existuje kategorie hybridních vozidel. Ty se dělí dle stupně hybridizace (elektrizace) na [2]:

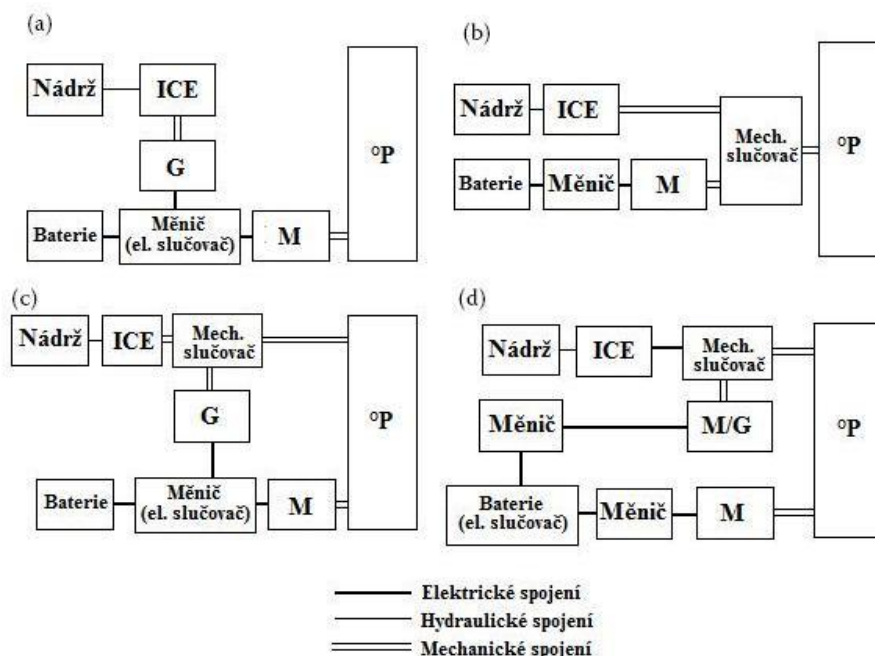
- Micro-hybridy** - stop/start systém = vypíná motor při dojezdu a zastavení.
- Mild hybridy** - podpora spalovacího motoru elektromotorem.
- Full hybridy** - možnost čistě elektrického pohonu na krátkou vzdálenost.
- Plug-in hybridy** - možnost čistě elektrického pohonu na střední vzdálenost, - možnost dobíjení baterií z elektrické sítě.
- Hybridní e-mobil** - elektrický pohon, podpora spalovacím motorem.
- Range extender** - pouze elektrický pohon, spalovací motor pro dobíjení baterií.



Obr. 2. Rozdělení hybridních vozidel dle stupně hybridizace pohonu [2]

## 2.2 Dělení hybridů dle stavby hnacího ústrojí

Stavbou hnacího ústrojí HEV je myšleno spojení jednotlivých komponent (zdroje energie, převodníky energie, převodová ústrojí, jízdní ústrojí, atd.), které definuje tok energie ve vozidle a kritická místa pro řízení. Dle stavby hnacího ústrojí se HEV dělí na čtyři kategorie: **sériové, paralelní, sério-paralelní a komplexní** [1].



*Obr. 3. Rozdělení hybridních vozidel dle stavby hnacího ústrojí [1]*

**Obrázek 3(a)** znázorňuje **sériové** hnací ústrojí. Hlavním znakem je slučování dvou elektrických energií v měniči, který slouží jako slučovač a ovladač toků energií z baterií a z generátoru do elektromotoru a naopak z elektromotoru do baterií. Palivová nádrž, spalovací motor a generátor jsou primární zdroj energie. Baterie slouží jako energetický nárazník.

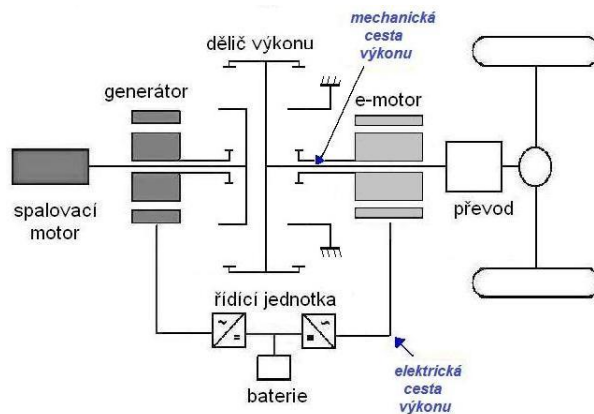
**Obrázek 3(b)** je takzvané **paralelní** hybridní hnací ústrojí. Typickým znakem je slučování dvou mechanických energií ve slučovací převodovce. Spalovací motor je hlavním zdrojem energie, baterie a elektromotor tvoří energetický nárazník. Tok energie lze řídit pouze pohonnými jednotkami (spalovacím motorem, elektromotorem).

**Obrázek 3(c)** znázorňuje **sério-paralelní** uspořádání hybridního hnacího ústrojí. Významným znakem je užití mechanického i elektrického slučovače. Tato kombinace má znaky obou předchozích typů a dokáže tak pracovat ve více režimech, než každý typ zvlášť. Na druhou stranu je tato stavba komplikovanější a náročnější na řízení. To jí činí dražší.

**Obrázek 3(d)** ukazuje stavbu **komplexního** hybridu, který je podobný serio-paralelnímu. Rozdíl je v tom, že funkci elektrického slučovače zde zastávají baterie a byl přidán jeden měnič mezi motor/generátor a baterie. Jde tedy o nejsložitější a nejdražší typ.

## 2.3 Jízdní režimy hybridního vozidla – Toyota Prius

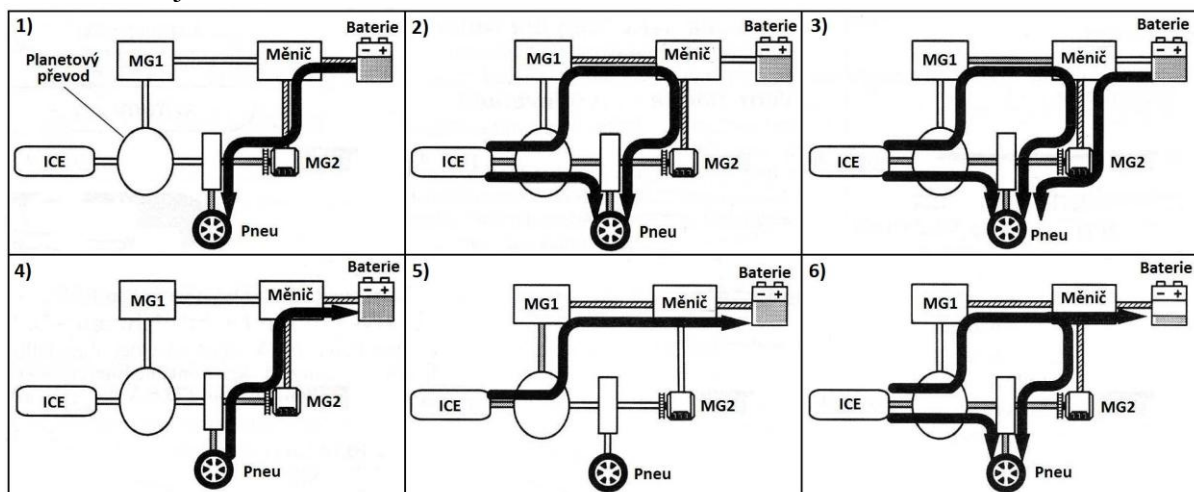
Čím složitější je stavba hnacího ústrojí, tím vyšší jsou zástavbové nároky, složitost řídicí strategie a cena vozidla. Zároveň však vozidlo disponuje větším množstvím jízdních režimů. Dokáže se tak lépe přizpůsobit projížděné trati a využívat energii co nejefektivněji. Pro příklad jízdních režimů je zde uvedena Toyota Prius 3. generace. Je to serio-paralelní Plug-In-Hybrid s planetovým děličem výkonu. Dochází tak k plynulé změně mezi sériovým a paralelním uspořádáním. Schéma hnacího ústrojí je na **Obr. 4.** [2].



Obr. 4. Schéma hnacího ústrojí Toyota Prius 3. generace [2]

Režim jízdy se přepíná podle řídicí strategie a to na základě požadovaného výkonu a stavu nabití baterie. Hlavní jízdní režimy hybridního vozidla jsou [3]:

- 1) **Rozjezd a nízký výkon** – při rozjezdu a nízkém zatížení pracuje spalovací motor s nízkou účinností (škrčení klapkou). Proto je velmi efektivní v této oblasti využívat elektrický režim jízdy. Energie se čerpá z baterie a vozidlo pohání pouze elektromotor. Stav nabití baterie musí být vyšší, než je minimální dovolená hodnota.
- 2) **Normální (střední) výkon** – při střední zátěži pracuje spalovací motor v optimální oblasti, a proto není třeba brát výkon z baterie. Výkon z motoru jde na kola, a to jak mechanickou cestou, tak elektrickou cestou.
- 3) **Vysoký výkon** – při požadavku na vysoký výkon (náhlá akcelerace) jde na kola výkon jak ze spalovacího motoru, tak z baterie. Stav nabití baterie nesmí klesnout pod minimální dovolenou hodnotu.
- 4) **Rekuperace** – rekuperace probíhá při požadavku na záporný výkon tedy při brzdění. Výkon z kol se transformuje na elektrickou energii a ta se ukládá zpět do baterie. Stav nabití baterie musí být nižší, než je maximální dovolená hodnota.
- 5) **Dobíjení při stání** – pokud vozidlo stojí a spalovací motor běží, lze výkon spalovacího motoru přeměnit na elektrickou energii a uložit ji do baterie. Tento způsob je však neefektivní a využívá se, jen pokud stav nabití baterie klesne pod minimální hodnotu.
- 6) **Dobíjení za jízdy** – pokud je požadavek na výkon nízký a zároveň stav nabití baterie je nízký, pracuje spalovací motor v optimální oblasti a přebytek výkonu se používá k dobíjení baterie.



Obr. 5. Režimy jízdy hybridního vozidla [3]

### 3. Simulační model hybridního vozidla

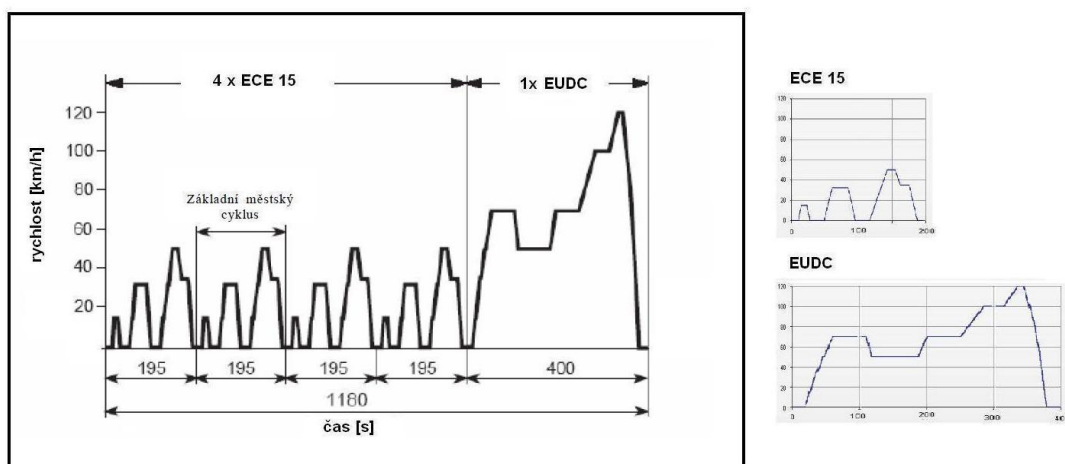
Model hybridního vozidla typu Toyota Prius byl sestaven v programu Matlab/Simulink, který matematicky popisuje chování celého vozidla. Byl vytvořen z bloků představujících jednotlivé komponenty hnacího ústrojí (spalovací motor, převodovka, elektromotory, baterie, atd.). Tyto komponenty představují „hmoty“ (hmotnost, setrvačnost), které jsou propojeny „spojovacími prvky“ (tuhost, tlumení). Systém je tak popsán soustavou  $n$  diferenciálních rovnic ( $n$  stupňů volnosti) a ty jsou následně řešeny numerickou integrací s časově proměnným krokem.

Parametry vozidla a model spalovacího motoru jsou založeny na vozidle Škoda Fabia 1.2 HTP a byly získány laboratorním měřením. Hybridní hnací ústrojí a parametry elektrických komponent odpovídají již zmíněnému vozidlu Toyota Prius. Model tedy nepředstavuje žádné konkrétní vozidlo. Je určen ke studiu chování a problematiky hybridních vozidel a jejich řídicích strategií. Výhodou modelu je však jeho vysoká modularita, díky které lze sestavit téměř jakýkoliv typ vozidla a upravit parametry tak, aby model reprezentoval konkrétní vůz.

Vstupem do simulace je předem definovaný jízdní cyklus (více kapitola 3.1). Sledovanými výstupy pak jsou například průběhy momentů v hnacím ústrojí, pohybové stavy (polohy, rychlosti, zrychlení) a především spotřeba paliva a elektrické energie. Proto model zahrnuje pouze podélnou dynamiku vozidla, která vychází z rovnosti hnací síly a součtu odporových sil na kole. Odporové síly jsou dány odporem valení kola, odporem vzduchu, odporem ze zrychlení a odporem ze stoupání [4].

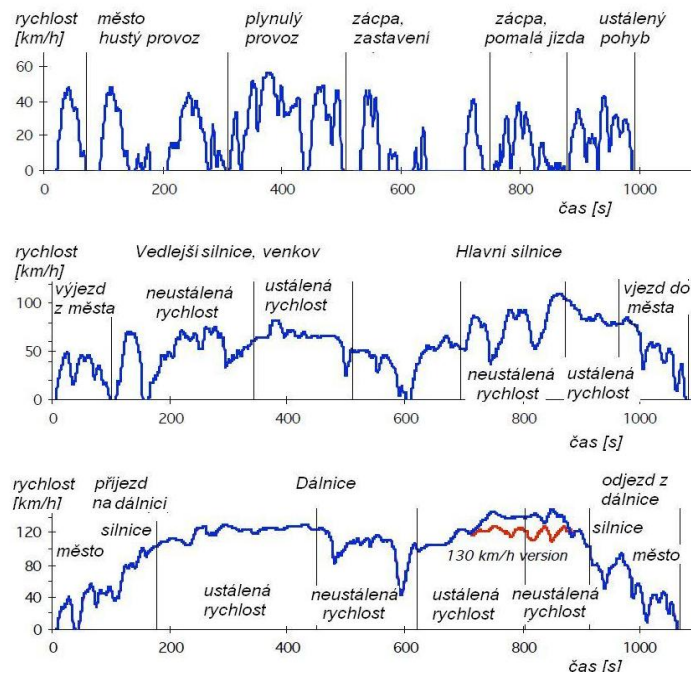
#### 3.1 Jízdní cyklus

Jízdní cyklus je definovaný jako závislost rychlosti na čase a jeho průběh je přesně stanovený a standardizovaný. Používá se ke stanovení spotřeby paliva a produkce emisí. Výsledky různých vozidel jsou pak porovnatelné. Těchto cyklů existuje velké množství, liší se v různých zemích a pro jednotlivé kategorie vozidel. V Evropě se standardně pro osobní vozidla používá jízdní cyklus NEDC (New European Driving Cycle). Ten se skládá ze 4 městských cyklů ECE 15 (Urban Driving Cycle) a 1 mimoměstského cyklu EUDC (Extra Urban Driving Cycle). Ukázka NEDC je na **Obr. 6.** [2]. Je patrné, že se jedná o uměle vytvořený a vysoce stylizovaný jízdní cyklus sestavený z konstantních rychlostí, akcelerací a decelerací.



**Obr. 6.** Jízdní cyklus NEDC [2]

Oproti tomu některé jízdní cykly, jako je Artemis, jsou založeny na datech sesbíraných v reálném provozu – **Obr. 7.** Takový cyklus je výrazně dynamičtější [5].



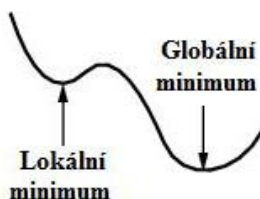
Obr. 7. Jízdní cykly Artemis Urban, Artemis Rural a Artemis MW130/150 [2]

#### 4. Optimalizace

Optimalizace slouží k nalezení množiny navrhovaných parametrů systému, které mohou být v určitém směru označovány jako optimální. V praxi se jedná o **minimalizaci** (příp. maximalizaci) nějaké systémové charakteristiky nebo uměle vytvořené „cílové funkce“, která může podléhat omezením ve formě rovnic, nerovnic nebo horních a dolních hranic.

**Lokální minimum** funkce je bod, jehož funkční hodnota je menší (nebo rovna), než hodnoty v blízkém okolí bodu, ale možná větší než ve vzdálenějších bodech.

**Globální minimum** je bod, jehož funkční hodnota je menší (nebo rovna), než všechny hodnoty jinde na celé funkci [6].



Obr. 8. Rozdíl mezi lokálním a globálním minimem [6]

K optimalizaci je v této práci využít **optimalizační toolbox** programu Matlab. Ten obsahuje často užívané algoritmy k řešení omezených i neomezených spojitých, nespojitých či stochastických úloh, úloh bez derivace a dalších složitějších úloh. Některé metody pracují na principu hledání derivace funkce (deterministické), jiné prohledávají funkční hodnotu v okolí počátečního bodu (heuristické). Toolbox obsahuje (1) algoritmy pro binární, lineární, kvadratickou i nelineární optimalizaci, (2) nelineární metody nejmenších čtverců a (3) řešič soustav nelineárních rovnic.

Součástí programu je také **globální optimalizační toolbox**, který poskytuje metody k hledání globálního řešení úlohy obsahující více minim (maxim). Tyto metody jsou založené na předchozích algoritmech, jen pracují na celém definičním oboru funkce, a to tak, že vycházejí z více počátečních bodů najednou [6].

V tomto konkrétním případě je optimalizace využita na některé parametry modelu vozidla a to tak, aby se minimalizovala spotřeba paliva na ujetý jízdní cyklus. Nejprve je však proveden test optimalizačních funkcí, aby byla zvolena ta nejvhodnější. Za tímto jsem zvolil šest zástupců minimalizačních algoritmů a ty jsem odzkoušel na testovacích funkcích určených ke zkoušení optimalizačních metod a jejich nastavení. Na základě výsledků z testu jsem vybral nejvhodnějšího zástupce a toho jsem nakonec použil k optimalizaci řídicí strategie simulačního modelu hybridního vozidla.

#### 4.1 Test optimalizačních metod

Vybral jsem šest zástupců optimalizačních metod - tři standardního rozsahu z optimalizačního toolboxu a tři globálního rozsahu z globálního optimalizačního toolboxu.

##### Standardní

- fminunc* - minimalizuje neomezené nelineární funkce více proměnných,
- fminsearch* - minimalizuje neomezené nelineární funkce více proměnných bez derivace,
- fminimax* - minimalizuje řešení soustavy nelineárních funkcí více proměnných.

##### Globální

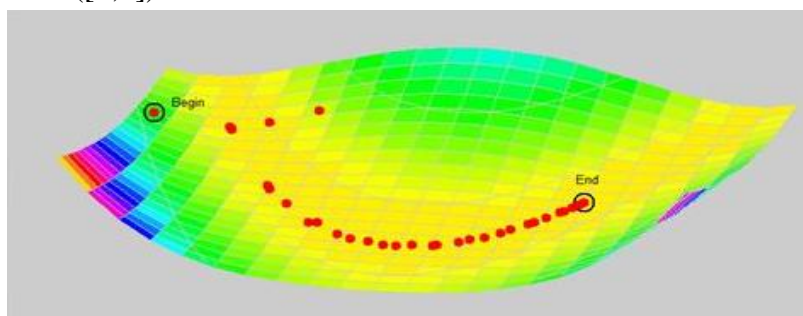
- patternsearch* - hledá minimum omezené funkce pomocí vyhledávacího vzorce (mřížky),
- globalsearch* - hledají minimum pomocí standardních minimalizačních funkcí jako je *+multistart* *fmincon*, *ale* z více počátečních bodů najednou.

Tyto minimalizační metody jsem spustil na testovacích funkcích [7]. Ke spuštění jsem použil vestavěnou funkci „bandem“, která slouží k demonstraci optimalizačních metod na Rosenbrockovo funkci. Tuto funkci jsem však upravil tak, aby prováděla mnou zvolené optimalizační rutiny na vybraných testovacích funkcích.

V tabulce je pak zaznamenána poloha nalezeného minima ( $x$ ), jeho funkční hodnota ( $fval$ ) a počet iterací ( $iteraions$ ,  $funcCount$ ), který vypovídá o rychlosti konvergence k minimu.

#### 1) Rosenbrockova funkce

Minimum:  $f([1;1]) = 0$



Obr. 9. Rosenbrockova funkce

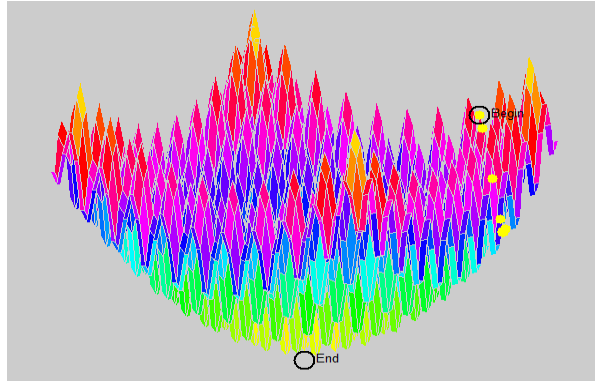
Tabulka 1. – Hodnocení optimalizačních metod na Rosenbrockově funkci

Výsledné hodnoty	<i>fminunc</i>	<i>fminsearch</i>	<i>fminimax</i>	<i>patternsearch</i>	<i>globalsearch</i>	<i>multistart</i>
$x$	[1; 1]	[1; 1]	[1; 1]	[1,0368; 1,0751]	[1; 1]	[1; 1]
$fval$	0	0	0	0,0014	0	0
$iteraions$	34	114	37	1501		
$funcCount$	150	210	247	5632	3000	3691

**Hodnocení:** Všechny řešiče standardního rozsahu našly žádané minimum ve velmi krátkém čase. Globální řešiče *multistart* a *globalsearch* našly minimum po větším počtu iterací. Metoda *patternsearch* se velmi rychle přiblížila k minimum, ale přílišná plochost funkce zapříčinila zjemňování mřížky a velmi pomalou konvergenci k přesnému minimumu.

## 2) Rastriginova funkce

Minimum:  $f([0;0]) = 0$



Obr. 10. Rastriginova funkce

Tabulka 2. – Hodnocení optimalizačních metod na Rastriginově funkci

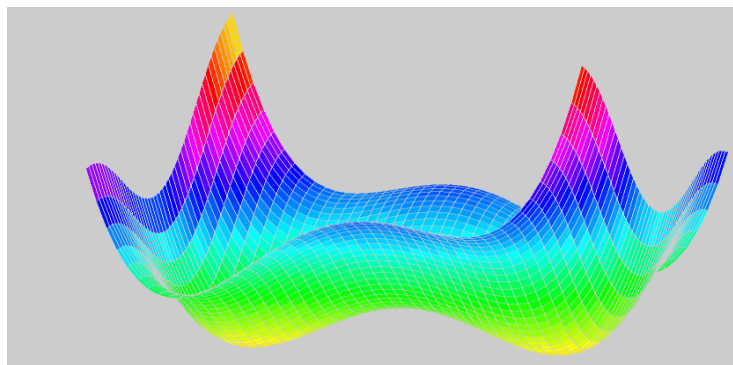
Výsledné hodnoty	fminunc	fminsearch	fminimax	patternsearch	globalsearch	multistart
<b>x</b>	[0; 0]	[-4; 4]	[0; 0]	[0; 0]	[0; 0]	[0; 0]
<b>fval</b>	0	31,84	0	0	0	0
<b>iterations</b>	3	30	9	30		
<b>funcCount</b>	21	59	52	104	2668	5500

**Hodnocení:** Na této vysoce multimodální funkci sklouzává k lokálnímu minimumu první z řešičů standardního rozsahu *fminsearch*. Zato řešič *patternsearch* našel žádané minimum a to poměrně rychle oproti ostatním globálním řešičům.

## 3) Funkce Six Hump Camel Back

Minima:  $f([-0,0898 ; 0,7126]) = -1,0316$

$f([0,0898 ; -0,7126]) = -1,0316$



Obr. 11. Funkce Six Hump Camel Back



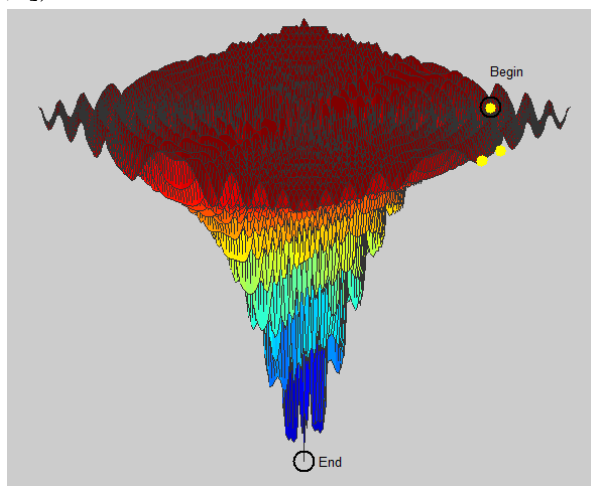
Tabulka 3. – Hodnocení optimalizačních metod na Funkci Six Hump Camel Back

Výsledné hodnoty	fminunc	fminsearch	fminimax	patternsearch	globalsearch	multistart
x	[1.7; -0.8]	[1.7; -0.8]	[-0,0898; 0,7127]	[-0,0898; 0,7127]	[-0,0898; 0,7127]	[0,0898; -0,7127]
fval	-0,2155	-0,2155	-1,0316	-1,0316	-1,0316	-1,0316
iteraions	10	39	8	52		
funcCount	33	76	42	176	2272	397

**Hodnocení:** Na této funkci sklouzává k lokálnímu minimu další řešič standardního rozsahu *fminunc*. Řešič *patternsearch* opět našel žádané minimum nejrychleji z globálních řešičů. Za povšimnutí stojí i metoda *multistart*, která našla minimum v poměrně rychlém čase.

#### 4) Funkce Dropwave

Minimum:  $f([0;0]) = -1$



Obr. 12. Funkce Dropwave

Tabulka 4. – Hodnocení optimalizačních metod na Funkci Six Hump Camel Back

Výsledné hodnoty	fminunc	fminsearch	fminimax	patternsearch	globalsearch	multistart
x	[-3.33; 3.33]	[-1.67; 3.14]	[-3.33; 3.33]	[0; 0]	[0; 0]	[0; 0]
fval	-0,1528	0	-0,1528	-1	-1	-1
iteraions	3	44	5	34		
funcCount	15	84	24	108	3167	6883

**Hodnocení:** Na této velmi složité funkci sklouzává k lokálnímu minimu i poslední řešič standardního rozsahu *fminimax*. Pouze globální metody našly žádané minimum, přičemž stojí za zmínku metoda *patternsearch* a její nízký počet iterací. Ten bude výhodou při aplikaci optimalizace na simulační model.

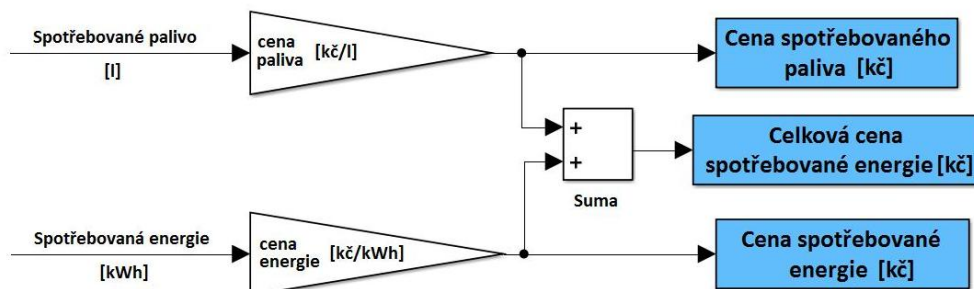
## 4.2 Volba optimalizační metody

Standardní řešiče na složitějších funkcích selhávají či sklouzávají k lokálnímu minimu. Globální řešiče, jak se dalo očekávat, obstály na všech funkcích. Slabostí metody *Patternsearch* se ukázaly být velmi ploché funkce. Nespornou výhodou je však její rychlost konvergence k minimu. Na základě výsledků testu jsem se tedy rozhodl přednostně využít globální řešič **Patternsearch**:

- hledá minimum omezené funkce pomocí vyhledávacího vzorce (mřížky, matrice),
- nejprve prohlíží funkční hodnoty sousedních bodů a pak přijme ten s nejnižší funkční hodnotou a vyhledává dál,
- pokud některé sousední body spadají do různých konvexních údolí, prohlíží všechna údolí najednou,
- konverguje k minimu ve většině případů rychleji než *globalsearch* a *multistart*.

## 5. Optimalizace řídicí strategie simulačního modelu hybridního vozidla

Z důvodů uvedených v kapitole 4.2 jsem se tedy rozhodl využít pro optimalizaci řídicí strategie modelu hybridního vozidla optimalizační metodu *Patternsearch*. Jako „cílovou funkci“ jsem zvolil cenu celkové energie spotřebované na ujetí jízdního cyklu a tu jsem se rozhodl minimalizovat. Celková cena spotřebované energie je dána součtem cen spotřebovaného paliva a elektrické energie. Schematické znázornění je na **Obr. 13**.



**Obr. 13.** Cílová funkce pro optimalizaci

Řídicí strategie je v modelu tvořena RS klopným obvodem [8], který na základě signálu okamžité rychlosti vozidla přepíná mezi čistě elektrickým režimem a hybridním režimem (viz kapitola 2.3 – módy 1 a 2). Pokud byla rychlost nižší než mezní rychlost, jelo vozidlo pouze na elektřinu z baterií. Naopak pokud rychlost vozidla stoupla nad mezní hodnotu rychlosti, připojil se spalovací motor a vozidlo jelo v hybridním módu. Hodnota této mezní rychlosti byla zvolena na základě laboratorních zkoušek vozidla Toyota Prius.

Mým **cílem** bylo najít optimální hodnotu této mezní rychlosti pro přepínání režimů a to tak, aby byla minimalizována celková cena spotřebované energie. Během optimalizace jsem však objevil několik **nedostatků**:

- 1) Při snaze minimalizovat celkovou cenu spotřebované energie tlačí optimalizace mezní rychlost co nejvýše. Celý cyklus je tak odjet pouze na elektřinu. Důvodem je výrazně nižší cena elektrické energie oproti benzínu. Zvolená cílová funkce se zde jeví jako ne příliš vhodná.
- 2) Pokud jede vozidlo pouze na elektřinu, dochází k neustálému vybíjení baterie. V reálném provozu je však žádoucí neustále udržovat „rozumný“ stav nabití baterie (SOC). Proto by bylo vhodné pro přiblížení simulačního modelu reálnému provozu doplnit řídicí strategii o logiku udržování SOC v určitém pásmu.

- 3) Během provozu hybridního vozidla nesmí stav nabití baterie klesnout pod kritickou úroveň, při které by došlo ke znehodnocení baterie. Stejně tak nesmí dojít k přebíjení baterie nad maximální povolenou hodnotu. Takovéto hlídání stavu nabití baterie v modelu také chybí. V praxi to znamená, že během simulace může stav nabití baterie klesnout do záporných hodnot a to vyvolá chyby a nepřesnosti v simulaci.

## 6. Závěr

V této práci jsou shrnuty základní poznatky o hybridních vozidlech a optimalizačních metodách. Šest zástupců optimalizačních metod zde bylo odzkoušeno na testovacích funkcích a na základě výsledků byla přednostně zvolena metoda, která úspěšně konvergovala k minimu v nejkratším čase. Tato metoda byla použita k optimalizaci řídicí strategie simulačního modelu hybridního vozidla. Optimalizace však nedosáhla žádaných výsledků a to z důvodů uvedených v kapitole 5. Řešení vidím v přehodnocení zvolené cílové funkce a návrhu nové řídicí strategie, která bude lépe vyhovovat podmínkám optimalizace a bude vycházet ze stavu nabití baterie (SOC) a požadovaného výkonu. Taková řídicí strategie by se dala použít i pro složitější úlohy jako je například simulace reálného provozu z externě nasbíraných dat a to i s uvážením výškového převýšení.

### Seznam symbolů a zkratek

EV	(electric vehicle)	elektrické vozidlo
FCV	(fuel cell vehicle)	vozidlo s palivovými články
G	(generator)	generátor
HEV	(hybrid electric vehicle)	hybridní elektrické vozidlo
ICE	(internal combustion engine)	motor s vnitřním spalováním
M	(motor)	elektromotor
SOC	(state of charge)	stav nabití baterie

### Seznam použité literatury

- [1] Ehsani M., Gao Y., Emadi A.: *Modern Electric, Hybrid Electric and Fuel Cell Vehicles – Fundamentals, Theory, and Design*. Second Edition. CRC Press. 2010. ISBN: 978-1-4200-5398-2.
- [2] Morkus J.: *Hybridní pohony*. Přednášky FS ČVUT v Praze. 2014.
- [3] Nowakowski Ch.: *Diploma Arbeit*. URL: [http://ifs.fhduesseldorf.de/docs/arbeit\\_nowakowski.pdf](http://ifs.fhduesseldorf.de/docs/arbeit_nowakowski.pdf).
- [4] Barák A., Klír V., Gorfrýd O.: *Simulation and tests of hybrid vehicles in transient driving cycles*. Roztoky u Prahy – Vehicle Center of Sustainable Mobility. 2013.
- [5] Barlow T. J., Latham S., McCrae I. S., Boulter P. G.: *A reference book of driving cycles for use in the measurement of road vehicle emissions*. Version 3. TRL Limited. 2009.
- [6] MATLAB – help. URL: <http://www.mathworks.com/help/>.
- [7] Molga M., Smutnicki C.: *Test functions for optimization needs*. URL: <http://www.zsd.ict.pwr.wroc.pl/files/docs/functions.pdf>.
- [8] Mikrokontroléry PIC. [online]. R-S klopný obvod. [cit. 27/3/2014]. URL: <http://mikrokontrolery-pic.cz/zaciname/cislicova-technika/sekvencni-logicke-obvody/klopný-obvod-rs/>.