



Zpracovatel : TÜV SÜD Czech s.r.o.	SYSTÉM JEDNOTNÝCH ZKUŠEBNÍCH METODIK	ZM- A/08.06
ZM- A - METODIKA POSOUZENÍ VLIVU SNÍŽENÍ HMOTNOSTI NA SPOTŘEBU PALIVA AUTOMOBILU SE ZOHLEDNĚNÍM NÁKLADOVOSTI		
08 - Hospodárnost		
06 - Spotřeba paliva ve specifickém režimu		
Počet listů	24	Datum vydání: 20.12.2013
Počet příloh	-	Platnost od :
Zpracoval	pracoviště : TÜV SÜD Czech s.r.o. pracovník : Ing. Martin Šotola	
Schválil : Ing. Michal Kalinský		TÜV SÜD Czech s.r.o. Novodvorská 994/138 142 21 Praha 4 Czech Republic DIČ: CZ63987121 
		 _____ <i>razítko, podpis</i>
Za správnost :	Ing. Tomáš Hrdlička	

ZM-A/08.06					
ZÁZNAM O REVIZÍCH A DOPLŇCÍCH					
Poř. č.	Datum	Oprava provedena na základě	Opraven list č.	Vyměněn list č.	Navíc zařazen list č.

Obsah

1	Cíl, rozsah a platnost metodiky.....	4
2	Všeobecné podmínky metodiky.....	4
3	Vlastní popis metodiky	7
3.1	Energetická bilance jízdních odporů vozidla.....	7
3.2	Nákladovost materiálových koncepcí	17
3.3	Hmotnost vozidla vs. nákladovost karoserie.....	21
3.4	Hmotnost vozidla vs. spotřeba paliva a CO ₂	23
4	Vyjádření k „novosti postupů“	23
5	Popis uplatnění metodiky	23
6	Publikace předcházející metodice	23
7	Seznam grafů, obrázků a tabulek	24
8	Seznam použité související literatury.....	24

1 Cíl, rozsah a platnost metodiky

Metodika popisuje posouzení vlivu hmotnosti automobilu na spotřebu paliva a tedy emise CO₂. Úspora hmotnosti je při zachování úrovně bezpečnosti v protikladu s náklady na výrobu takového vozidla. Nákladovost hmotnostně úspornějších řešení je v metodice zohledněna. Získání vstupních hodnot množství spotřebovaného paliva je provedeno energetickou bilancí na základě jízdních odporů vzešlých ze základních charakteristik vozidla. Vozidlo je výpočetně podrobeno zátěži vycházející z cyklu New European Driving Cycle (NEDC). Tento cyklus je definován v předpisu EHK 83 Jednotná ustanovení pro homologaci vozidel z hlediska emisí znečišťujících látek podle požadavků na motorové palivo. Jízdní cyklus NEDC uvádí městský a mimoměstský zkušební rychlostní profil. Kombinovaná spotřeba vozidla je zjištěna ze čtyř po sobě jdoucích městských rychlostních profilů a jednoho mimoměstského.

Platnost metodiky je zde omezena pouze na normalizovaný jízdní cyklus NEDC a zadané vozidlo. Se změnou hodnot akcelerace, stoupání apod. bude vliv hmotnosti na spotřebu paliva odlišný. Obecně lze však tento přístup považovat za použitelný pro jakékoliv jízdní cykly při zadání správných jízdních odporů a technických parametrů vozidla. Těmi jsou např. součinitel odporu vzduchu, čelní plocha, hmotnost, dynamický poloměr pneumatiky, momenty setrvačnosti, převodové poměry, účinnost převodového ústrojí atd. V předložené metodice byly použity hodnoty malého vozidla.

Technologická část zahrnuje určení nákladovosti výroby, která je aplikována na konkrétních příkladech. Původní ocelové převážně lisované díly jsou nahrazovány lehkými protlačovanými a odlévanými díly z hliníkových slitin. Průběhy nákladovosti jsou vztaženy k ročním produkcím.

Metodika se nezabývá celkovou uhlíkovou stopou ve smyslu produkce CO₂ od těžby nerostných surovin po hotový výrobek.

Metodika vznikla za podpory Technologické agentury České republiky (Program Alfa) a je jedním z výstupů řešení projektu TA01031241 Pasivní bezpečnost vozidel při použití nekonvenčních materiálů.

2 Všeobecné podmínky metodiky

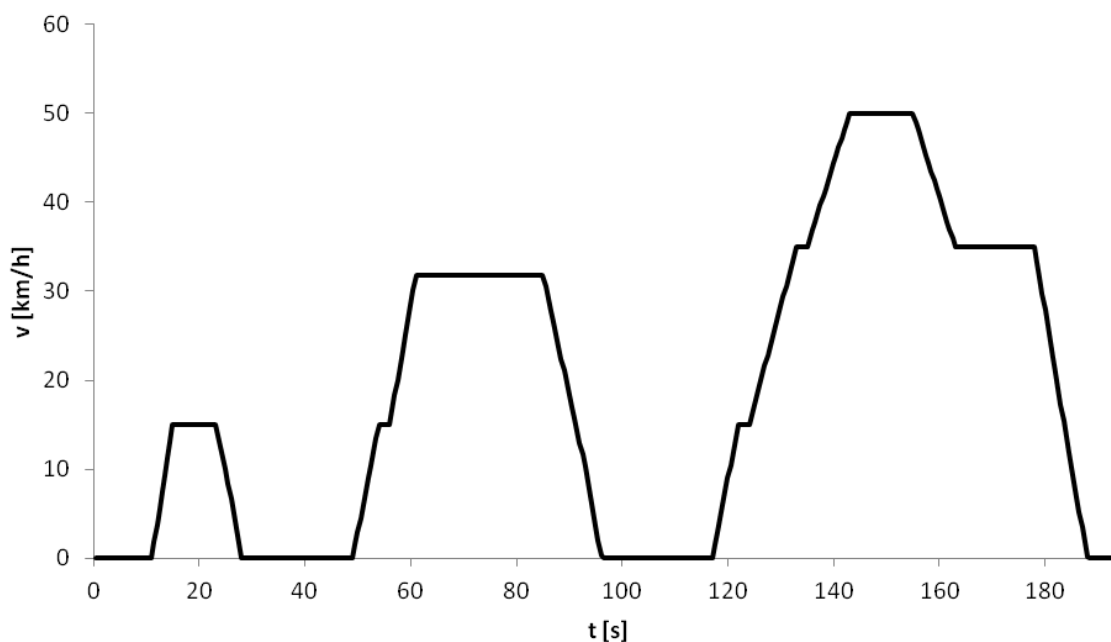
Předpis EHK 83 stanovuje technické požadavky na schvalování typu motorových vozidel. Kromě toho tento předpis stanovuje pravidla pro shodnost vozidel v provozu, životnost zařízení k regulaci emisí a pro palubní diagnostické systémy (OBD). Tento předpis platí pro vozidla kategorií M1, M2, N1 a N2 s referenční hmotností nepřesahující 2 610 kg.

Součástí předpisu NEDC je cyklus ve kterém se zkouší vozidlo na válcovém dynamometru. Tento cyklus udává požadavky na zrychlení, rychlosti a doby výdrže na stanovených parametrech.

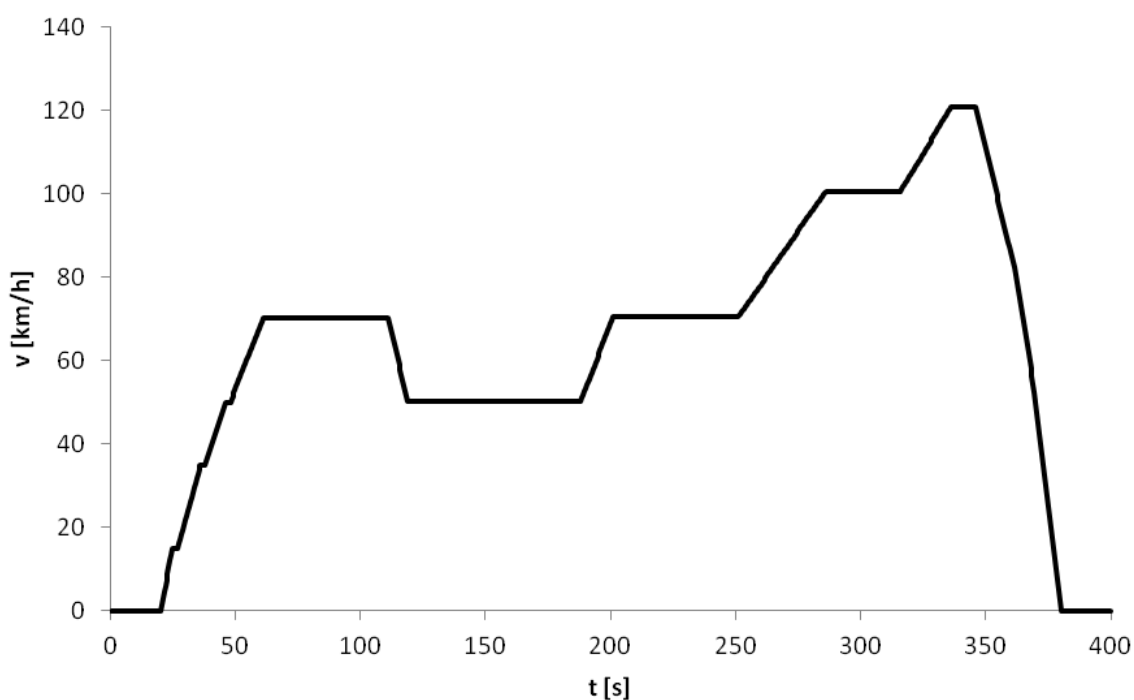
Nákladovost ve druhé části metodiky je stanovena pro karoserie malých a středních osobních automobilů a slouží jako orientační hodnoty pro různé koncepce karoserie. Přesné vyčíslení nákladů by bylo nutné provést pro konkrétní díly karoserie v konkrétní oblasti a s podklady konkrétních dodavatelských firem. To však není účelem metodiky a velkou roli zde hrají dodavatelsko-odběratelské vztahy mezi výrobcem automobilů (OEM) a subdodavateli.

Jízdní odpory vozidel

Energii získanou z paliva přeměnou ve spalovacím motoru na mechanickou práci použijeme na překonání jízdních odporů vozidla. Druhy jízdních odporů jsou definovány dle jízdního cyklu NEDC. Dílčí městskou část uvádí Obrázek 1 a mimoměstskou část Obrázek 2.



Obrázek 1 - Dílčí městský zkušební cyklus [1]



Obrázek 2 - Mimoměstský zkušební cyklus [1]

Vzhledem k tomu, že normovaný jízdní cyklus nezahrnuje stoupání, jsou uvažovány pouze tyto jízdní odpory:

- aerodynamický
- valení
- ze zrychlení

Tabulka 1 - Seznam použitých veličin a jednotek

a	zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
c_x	součinitel odporu vzduchu	[-]
E	modul pružnosti	[GPa]
F	čelní plocha	$[m^2]$
f	součinitel valivého odporu	[-]
g	tíhové zrychlení	$[m \cdot s^{-2}]$
H_u	výhřevnost paliva	$[J \cdot kg^{-1}]$
i_0	stálý převod	[-]
i_i	převod i-tého rychlostního stupně	[-]
I_d	moment setrvačnosti diferenciálu	$[kg \cdot m^2]$
I_k	moment setrvačnosti kola	$[kg \cdot m^2]$
I_m	moment setrvačnosti motoru	$[kg \cdot m^2]$
I_p	moment setrvačnosti převodovky	$[kg \cdot m^2]$
m	hmotnost	[kg]
m_{red}	redukovaná hmotnost	[kg]
n	otáčky	$[min^{-1}]$
O_a	odpor ze zrychlení	[N]
O_f	odpor valení	[N]
O_v	odpor vzduchu	[N]
O_Σ	celkový jízdní odpor	[N]
P_M	výkon motoru	[W]
P_P	potřebný výkon	[W]
r_d	dynamický poloměr kola	[m]
r_v	valivý poloměr kola	[m]
s	dráha	[m]
s_u	celková dráha dílčího městského cyklu	[m]
s_{nu}	celková dráha mimoměstského cyklu	[m]
s_0	počáteční dráha	[m]
t	čas	[s]
V	objem	$[m^3]$
v	rychlost	$[km \cdot h^{-1}]$
$v_{x \rightarrow y}$	rychlost, při které se řadí z rychl. stupně "x" na "y"	$[km \cdot h^{-1}]$
v_0	počáteční rychlost	$[km \cdot h^{-1}]$
W_Σ	celková práce	[J]
δ_a	součinitel rotačních hmot	[-]
ρ	hustota	$[kg \cdot m^{-3}]$
η_M	účinnost motoru	[-]
σ_{kt}	mez kluzu	[MPa]
σ_{pt}	mez pevnosti	[MPa]
ω	úhlová rychlost	$[rad \cdot s^{-1}]$
$V_{100celk}$	spotřeba celková	l/100km
V_{100u}	spotřeba městský cyklus	l/100km
V_{100nu}	spotřeba mimoměstský cyklus	l/100km
V_{PMK}	celková dodatečná spotřeba	l

3 Vlastní popis metodiky

3.1 Energetická bilance jízdních odporů vozidla

Metodika popisuje získání a vyhodnocení dat o spotřebovaném palivu na základě hmotnosti vozidla, typu pohonu a jízdních vlastnostech za pomoci programu vycházejícího z NEDC cyklu podle předpisu EHK 83. Cílem je snížit hmotnost vozidla použitím nekonvenčních materiálů se zohledněním nákladovosti.

Pro výpočet energetické bilance vozidla je nutné znát hodnoty, které uvádí Tabulka 2.

Při kontrolním výpočtu správnosti metodiky jsme použili hodnoty pro vozidlo Škoda Fabia II s benzinovým motorem 1.4 16V/63 kW.

Tabulka 2 – Vstupní hodnoty výpočtu spotřeby vozidla

ρ	hustota vzduchu	1,25	kg m^{-3}
c_x	součinitel odporu vzduchu	0,33	
F	čelní plocha	1,9	m^2
f	součinitel valivého odporu	0,025	
g	tíhové zrychlení	9,81	m s^{-2}
m	pohotovostní hmotnost s řidičem	1104	kg
n_M	otáčky motoru při maximálním točivém momentu	3800	min^{-1}
r_v	valivý poloměr kola	0,289	m
r_d	dynamický poloměr kola	0,28	m
I_m	moment setrvačnosti motoru	0,2	kg.m^2
I_p	moment setrvačnosti převodovky	0,1	kg.m^2
I_d	moment setrvačnosti diferenciálu	0,15	kg.m^2
I_k	moment setrvačnosti kola	0,8	kg.m^2
i_0	stálý převod	3,882	
i_1	převod 1. rychlostního stupně	3,77	
i_2	převod 2. rychlostního stupně	2,1	
i_3	převod 3. rychlostního stupně	1,39	
i_4	převod 4. rychlostního stupně	1,03	
i_5	převod 5. rychlostního stupně	0,81	
$\eta_{PÚ}$	celková účinnost převodového ústrojí	0,93	
η_M	účinnost motoru (teoretická hodnota)	0,35	
H_u	výhřevnost benzínu	46,4	MJ/kg
ρ	hustota paliva	740	kg/m^3

Vstupní hodnoty jsou použity z technických údajů vozidla [2] a studijních materiálů Fakulty strojní ČVUT v Praze.

Následující Tabulka 3 a Tabulka 4 podrobně popisují dílčí městský cyklus a mimoměstský cyklus NEDC. Jsou zde uvedeny požadované rychlosti, zrychlení, doby trvání jednotlivých operací cyklu, změny rychlostních stupňů a doby volnoběhu.

Tento cyklus je vhodné zanést např. do SW MS Excel nebo MATLAB, kdy pro jednotlivé jízdní fáze jsou vypočteny jízdní odpory. Samotná tvorba aplikace v SW MS Excel nebo MATLAB není předmětem metodiky.

Tabulka 3 – Dílčí městský cyklus [1]

č. op.	Operace	Fáze	Zrychlení (m.s ⁻²)	Rychlost (km.h ⁻¹)	Trvání každé		Kumulativní doba (s)	Zařazený rychlostní stupeň u ručně řazené převodovky
					operace (s)	fáze (s)		
1	Volnoběh	1	0	0	11	11	11	6s PM + 5s Ki (*)
2	Zrychlování	2	1,04	0-15	4	4	15	1
3	Ustálená rychlost	3	0	15	9	8	23	1
4	Zpomalování	4	0,69	15-10	2	5	25	1
5	Zpomalování, spojka vypnuta		0,92	10-0	3		28	Ki (*)
6	Volnoběh	5	0	0	21	21	49	16s PM + 5s Ki (*)
7	Zrychlování	6	0,83	0-15	5	12	54	1
8	Změna rychlostního stupně			15	2		56	
9	Zrychlování		0,94	15-32	5		61	2
10	Ustálená rychlost	7	0	32	24	24	85	2
11	Zpomalování	8	-0,75	32-10	8	11	93	2
12	Zpomalování, spojka vypnuta		-0,92	10-0	3		96	k ₂ O
13	Volnoběh	9	0	0	21	21	117	16s PM + 5s Ki (*)
14	Zrychlování	10	0,83	0-15	5	26	122	1
15	Změna rychlostního stupně			15	2		124	
16	Zrychlování		0,62	15-35	9		133	2
17	Změna rychlostního stupně			35	2		135	
18	Zrychlování		0,52	35-50	8		143	3
19	Ustálená rychlost	11	0	50	12	12	155	3
20	Zpomalování	12	-0,52	50-35	8	8	163	3
21	Ustálená rychlost	13	0	35	13	13	176	3
22	Změna rychlostního stupně	14		35	2	12	178	
23	Zpomalování		-0,99	35-10	7		185	2
24	Zpomalování, spojka vypnuta		-0,92	10-0	3		188	k ₂ O
25	Volnoběh	15	0	0	7	7	195	7s PM (*)

Tabulka 4 - Mimoměstský cyklus NEDC [1]

Č. oper.	Operace	Fáze	Zrychlení (m/s ²)	Rychlost (km/h)	Trvání každé operace (s)	fáze (s)	Celková doba (s)	Zařazený stupeň
1	Volnoběh	1	0	0	20	20	20	K ₁ ¹
2	Zrychlování	2	0,83	0-15	5	41	25	1
3	Změna rychlostního stupně			15	2		27	-
4	Zrychlování		0,62	15-35	9		36	2
5	Změna rychlostního stupně			35	2		38	-
6	Zrychlování		0,52	35-50	8		46	3
7	Změna rychlostního stupně			50	2		48	-
8	Zrychlování		0,43	50-70	13		61	4
9	Ustálená rychlost	3	0	70	50	50	111	5
10	Zpomalování	4	-0,69	70-50	8	8	119	4s.5 + 4s.4
11	Ustálená rychlost	5	0	50	69	69	188	4
12	Zrychlování	6	0,43	50-70	13	13	201	4
13	Ustálená rychlost	7	0	70	50	50	251	5
14	Zrychlování	8	0,24	70-100	35	35	286	5
15	Ustálená rychlost2	9	0	100	30	30	316	5 ²
16	Zrychlování2	10	0,28	100-120	20	20	336	5 ²
17	Ustálená rychlost2	11	0	120	10	20	346	5 ²
18	Zpomalování2	12	-0,69	120-80	16	34	362	5 ²
19	Zpomalování2		-1,04	80-50	8		370	5 ²
20	Zpomalování, spojka vypnuta		-1,39	50-0	10		380	K ₅ ¹
21	Volnoběh	13	0	0	20	20	400	PM ¹

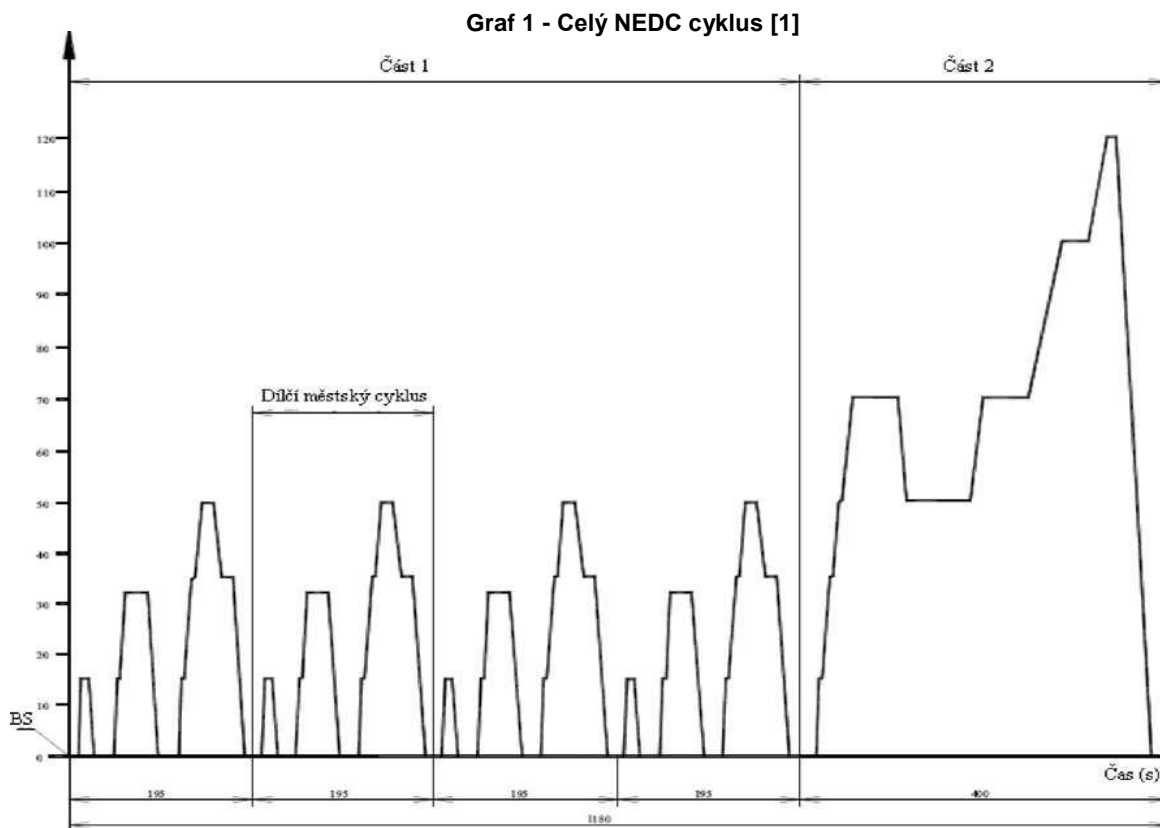
(*)Tabulka 3 a Tabulka 4 - legenda

PM = převodovka v neutrálu, spojka zapnuta

K1, K5= zařazen 1. nebo 5. rychlostní stupeň, spojka vypnuta

Další rychlostní stupeň lze použít dle doporučení výrobce, jestliže vozidlo je vybaveno převodovkou s více než pěti rychlostními stupni.

Zrychlení a jednotlivé rychlostní stupně vychází z hodnot NEDC (New European Driving Cycle).



NEDC cyklus v MS Excel je rozdělen na úseky po 0,5 sekundy a počítá hodnotu ujeté dráhy „s“ a okamžitě rychlosti „v“ dle vzorců:

při zrychlení z klidu: $s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2; v = a \cdot t$

při konstantní rychlosti: $s = v \cdot t; v = konst.$

při zpomalení: $s = s_0 + v_0 \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2; v = v_0 - a \cdot t$

Pro každý časový okamžik v MS Excel se počítají jízdní odpory působící na vozidlo:

$$O_{\Sigma} = O_v + O_f + O_a$$

odpor vzduchu $O_v = \rho \cdot c_x \cdot F \cdot \frac{v^2}{2}$

odpor valení $O_f = G \cdot f$

odpor ze zrychlení $O_a = m \cdot \delta_a \cdot a$

Pro výpočet odporů ze zrychlení na jednotlivé rychlostní stupně bylo třeba znát součinitele rotačních hmot a ty jsou vyjádřené z níže uvedené rovnice [3] takto:

$$\frac{1}{2} m_{red} \cdot v^2 = \frac{1}{2} m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \sum I_i \cdot \omega_i^2$$

$$m_{red} \cdot r_v^2 \cdot \omega_k^2 = m \cdot r_v^2 \cdot \omega_k^2 + (I_m + I_p) \cdot \omega_m^2 + I_d \cdot \omega_d^2 + I_k \cdot \omega_k^2$$

$$m_{red} \cdot r_v^2 \cdot \omega_k^2 = m \cdot r_v^2 \cdot \omega_k^2 + (I_m + I_p) \cdot (i_0 \cdot i_i)^2 \cdot \omega_k^2 + I_d \cdot \omega_k^2 + I_k \cdot \omega_k^2$$

$$m_{red} = m + \frac{(I_m + I_p) \cdot (i_0 \cdot i_i)^2 + I_d + I_k}{r_v^2}$$

$$\delta_a = \frac{m_{red}}{m} = 1 + \frac{(I_m + I_p) \cdot (i_0 \cdot i_i)^2 + I_d + I_k}{m \cdot r_v^2}$$

Dodatečná spotřeba je vypočítaná hodnota spotřebovaného paliva při stání, sepnuté spojce a při rozjezdu se spojkou kde vznikají ztráty třením.

Potřebná energie pro běh volnoběhu se vypočte následujícím způsobem:

Spotřeba vozidla při stání s volnoběžnými otáčkami odpovídá přibližně 0,8l / h. Tato hodnota je vynásobena daným časovým úsekem t [s].

$$V_{PM} = \frac{t}{3600} \times 0,8 \quad [l]$$

Palivo spotřebované při sepnuté spojce za jeden časový úsek vypočítáme obdobně.

$$V_k = \frac{0,5}{3600} \times 8 \quad [l]$$

Celková dodatečná spotřeba v dílčím cyklu je tedy:

$$V_{PMK} = + \sum V_{PM} + \sum V_k \quad [l]$$

Z jízdních odporů a rychlosti jízdy se v každém okamžiku vypočítá potřebný výkon:

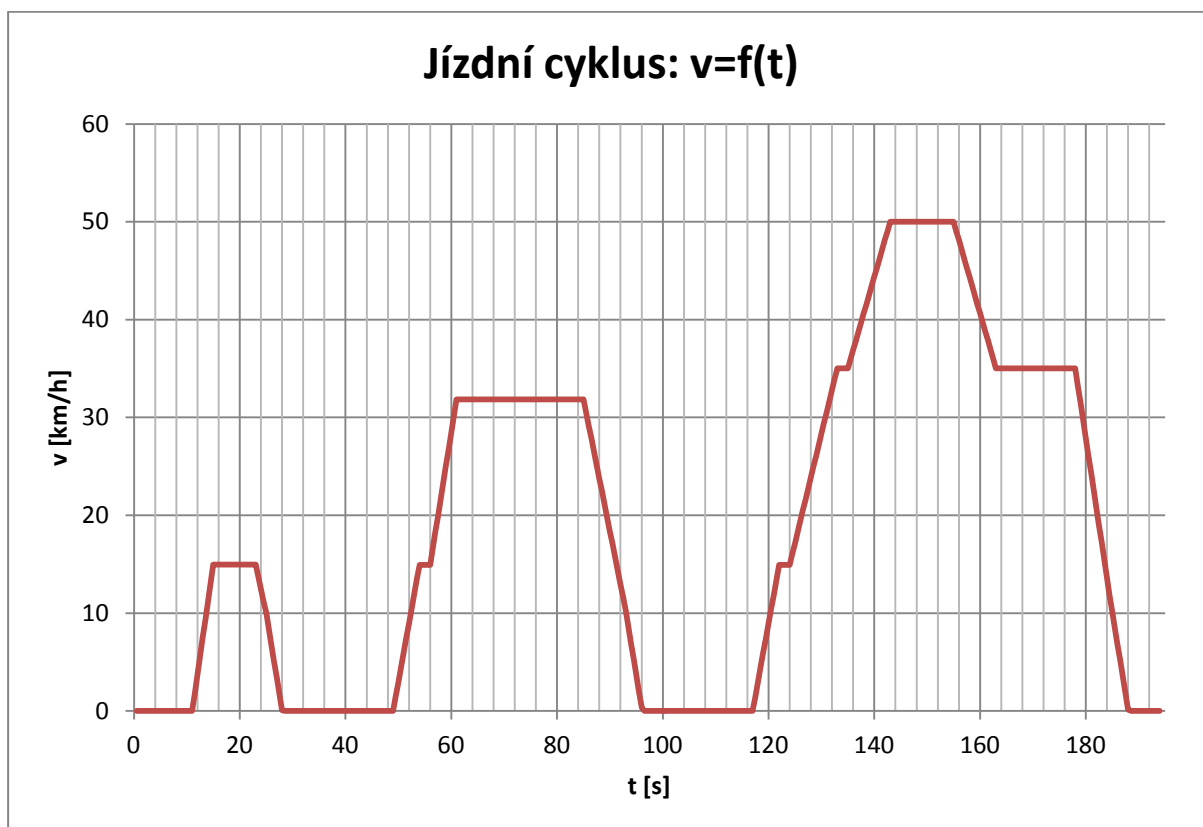
$$P_M = O_{\Sigma} \cdot v \cdot \eta_{PÚ}$$

Tento výkon se vydělí účinností motoru a tím vypočítáme výkon, který musíme dodat z paliva:

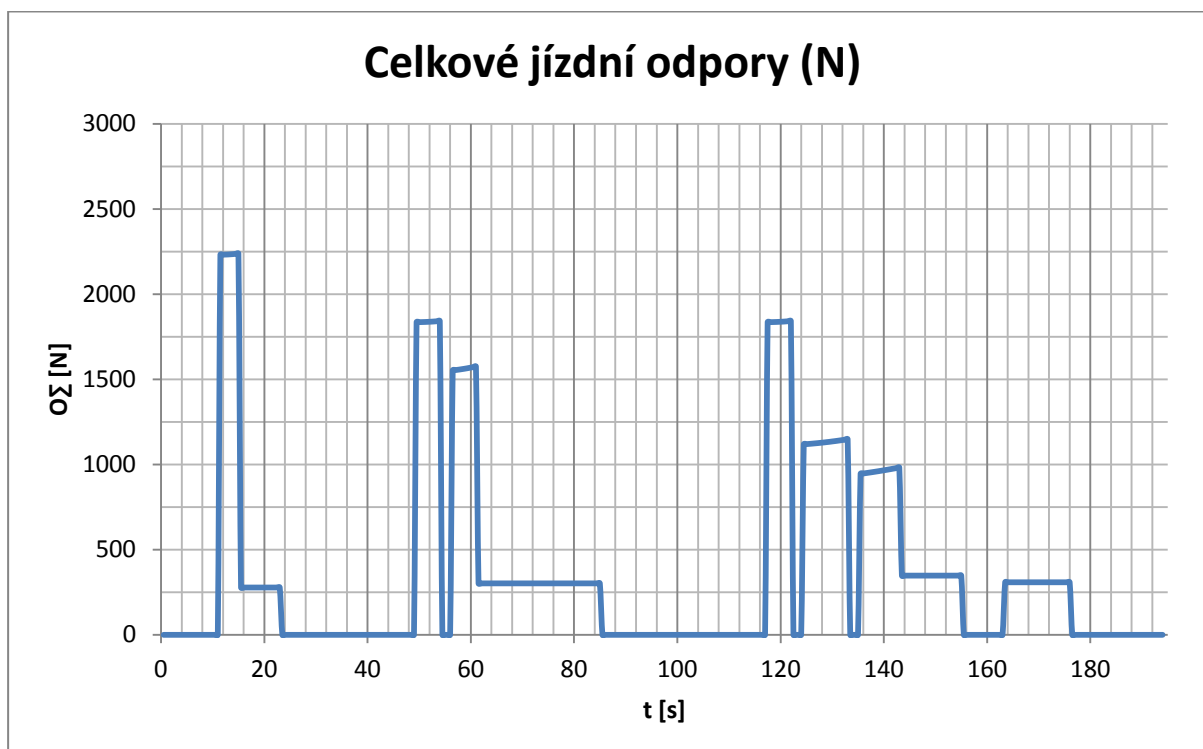
$$P_P = \frac{P_M}{\eta_M}$$

Průběh rychlostí, a příklady jízdních odporů a výkonů z kontrolního výpočtu z MS Excel znázorňuje Graf 2 až Graf 7 na následujících stránkách.

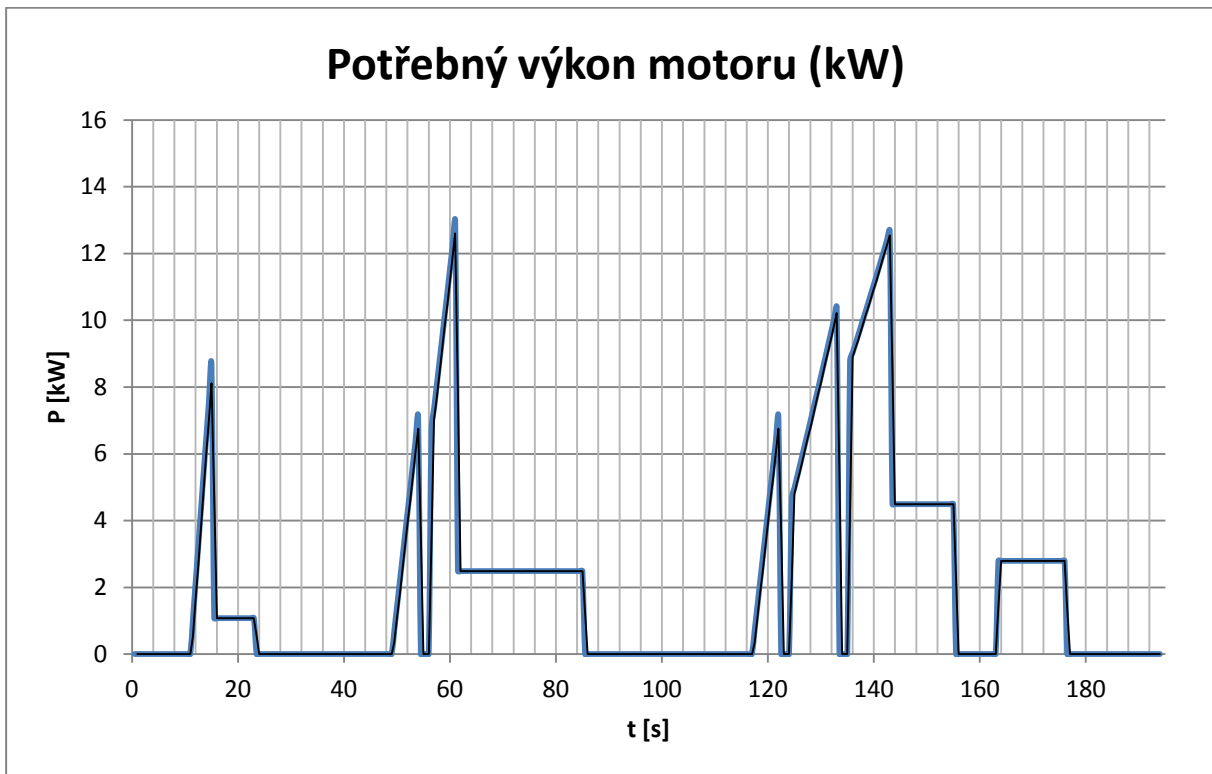
Graf 2 - Graf znázorňující dílčí městský cyklus v MS EXCEL



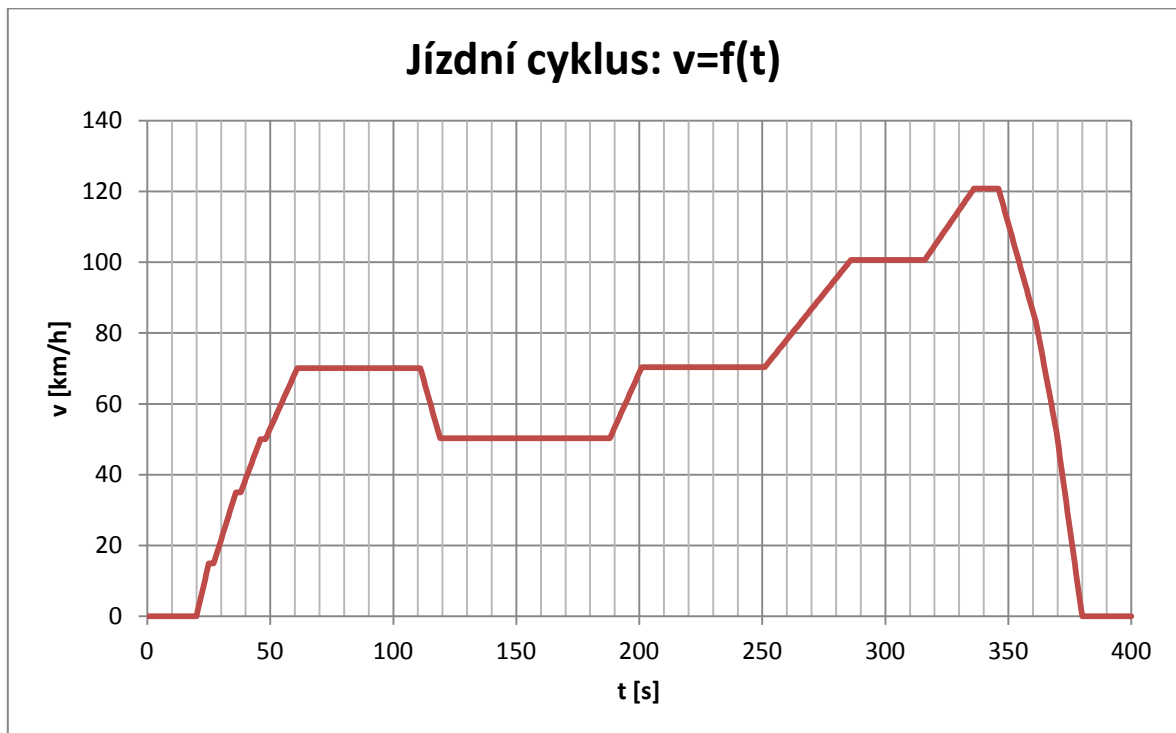
Graf 3 - Celkové jízdní odpory v závislosti na čase pro dílčí městský



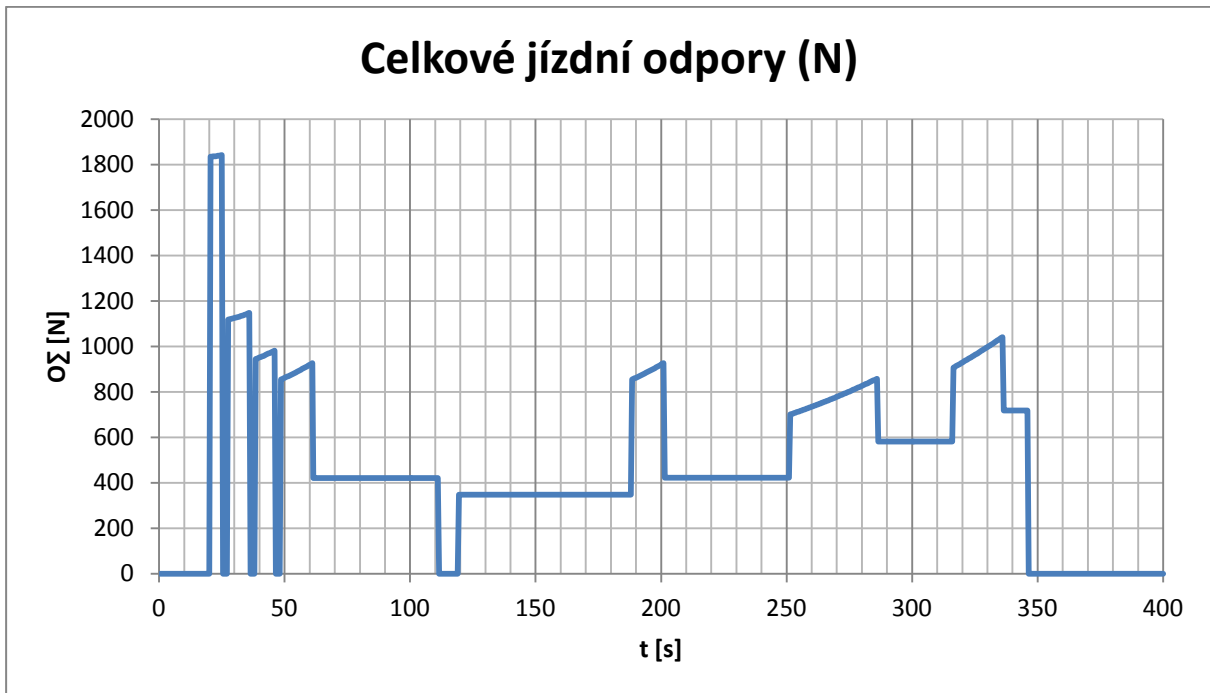
Graf 4 - Potřebný výkon motoru (dílní městský cyklus)



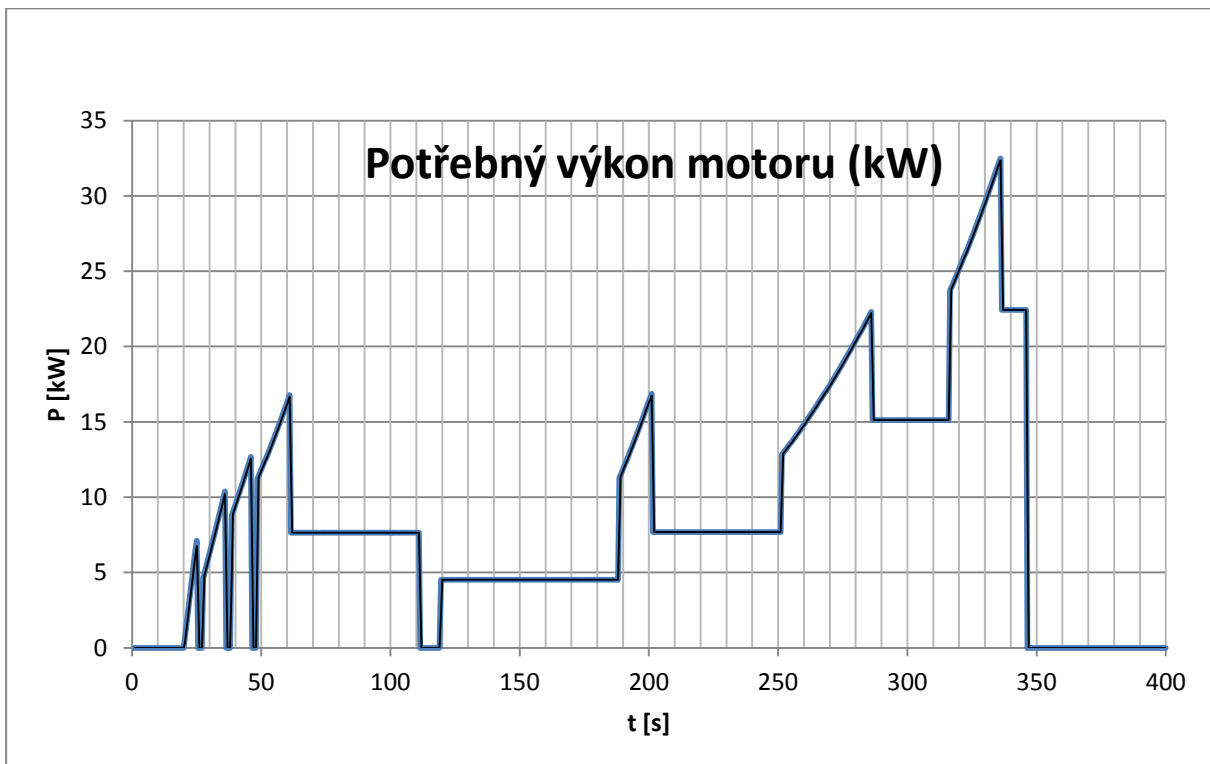
Graf 5 - Graf znázorňující dílní mimoměstský cyklus v MS Excel



Graf 6 - Celkové jízdní odpory (mimoměstský cyklus)



Graf 7 - Potřebný výkon motoru (mimoměstský cyklus)



Vzhledem k tomu, že práce je rovna součinu výkonu a času, vypočítá se celková práce jako integrál:

$$W_{\Sigma} = \int P \cdot dt$$

V programu MS Excel se při rozdělení jízdního cyklu na jednotlivé okamžiky po 0,5 nahradí integrál takto:

$$W_{\Sigma} \cong (P_{t-1} + P_t) \cdot (t_t - t_{t-1}) = \frac{1}{2} \cdot (P_{t-1} + P_t) \cdot 0,5 = \frac{1}{4} \cdot (P_{t-1} + P_t)$$

Tuto celkovou práci vydělíme výhřevností paliva a takto získáme hmotnost paliva potřebného na ujetí jednoho jízdního cyklu:

$$m_{pe} = \frac{W_{\Sigma}}{H_u}$$

Po vydělení hustotou benzínu, získáme jeho potřebný objem:

$$V_p = \frac{m_{pe}}{\rho}$$

Městský cyklus NEDC trvá 195 sekund a automobil při něm urazí dráhu 1017,86 m. Výpočet spotřeby paliva v l/100 km udává následující výpočtový vztah:

$$V_{100km(u)} = \frac{100 \times 10^3}{s} \times V_p + \frac{100}{1000} \times V_{PMK}$$

Mimoměstský cyklus NEDC trvá 400 sekund a automobil při něm urazí dráhu 6991,56 m. Výpočet spotřeby paliva v l/100 km udává následující výpočtový vztah:

$$V_{100km(nu)} = \frac{100 \times 10^3}{s} \times V_p + \frac{100}{1000} \times V_{PMK}$$

Vzorec pro výpočet celkové spotřeby kombinací městského a mimoměstského cyklu váženým průměrem.

$$V_{100celk} = \frac{4 \times s_u}{4 \times s_u + s_{nu}} \times V_{100km(u)} + \frac{s_{nu}}{4 \times s_u + s_{nu}} \times V_{100km(nu)}$$

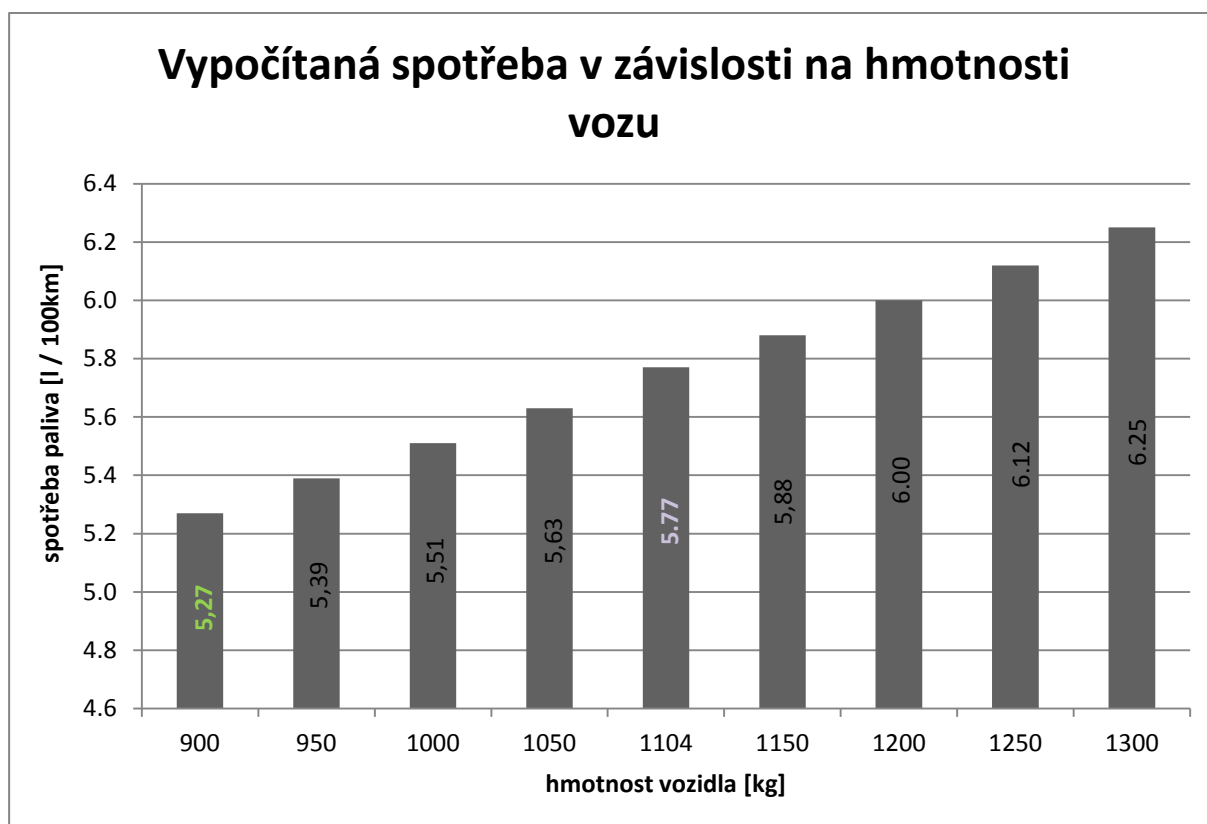
Výsledná vypočtená spotřeba vozidla s takto zadanými parametry v programu MS Excel je v následující tabulce, stejně jako naměřené hodnoty při homologaci vozidla.

Tabulka 5 - Specifikace spotřeby dle uživatelské příručky Škoda Fabia Owner's Manual [2]

Motor	1,4 l/63 kW - EU 5	Vypočtené	
Město	8,0	7,88	l/100km
Mimo město	4,7	4,54	l/100km
Kombinovaná spotřeba	5,9	5,77	l/100km
CO ₂	139	136	g/km
Pohotovostní hmotnost	1104	1104	kg
Maximální točivý moment	132	-	Nm při 38001/min ⁻¹

Kontrolním výpočtem jsme došli k závěru, že u vozidla s pohotovostní hmotností 1104kg dojde při snížení hmotnosti o 100 kg k úspoře paliva 0,25 l na 100 km.

Graf 8 - Vyhodnocení závislosti spotřeby na hmotnosti



3.2 Nákladovost materiálových koncepcí

Karoserie, podobně jako například pohonný řetězec, představuje téměř 30% hmotnosti osobního automobilu. Při rozvaze o úspoře hmotnosti se jedná o logický objekt zájmu. Postupné nahrazování jednotlivých prvků karoserie však není vhodnou cestou. Je nutný komplexní přístup. Při změně materiálu jedné části bude nutný výrazný zásah do konstrukce částí připojených. Části karoserie se vyrábí převážně lisováním, protlačováním a odléváním. Výroba karoserie se skládá ze dvou základních činností – z výroby prvků a jejich spojování. Tím se z kalkulace nákladů na výrobu karosérie stává komplexní problém. Není možné řešit pouze samotnou výrobu prvku karoserie a zanedbat jeho napojení do celé konstrukce.

V dnešní době existuje mnoho způsobů jak provést kalkulaci nákladovosti na výroby a výsledné číslo bude silně závislé jak na použité technologii, kvalitě a geopolitické a ekologické lokalitě dané výroby.

Proces návrhu výroby karoserie je ovlivňován požadavky zajišťujícími její výsledné vlastnosti. Mezi tyto parametry můžeme zařadit hmotnost, pevnost, životnost, torzní tuhost apod. Hliníkové slitiny jsou výbornou alternativou s ohledem na nízkou hmotnost, čímž klesá spotřeba paliva. Mezi primární překážky patří vyšší cena výchozích surovin (polotovaru plechu) a vyšší náklady na výrobní nástroje (vícenásobné formy - lisování ve více operacích, tepelné zpracování, antiadhezivní povlaky nástrojů – zamezení praskání). S rostoucí sériovostí se však tyto náklady stále méně promítnou do celkové ceny vozidla.

Slitiny hliníku se svou hustotou pohybují na úrovni jedné třetiny hustoty oceli. Tím vzniká prostor pro výraznou úsporu hmotnosti celku. Je nutné brát v úvahu konstrukční řešení jednotlivých částí a také nižší pevnost slitin hliníku v porovnání s ocelí. Tím se hmotnostní výhoda poněkud redukuje.

Cílem výrobců hliníkových slitin a zároveň automobilového průmyslu je snížení nákladů na výrobu slitin, zlepšení tvářitelnosti a obecně technologických vlastností slitin hliníku. Tím narážíme na další z problematických míst a tím je spojování prvků karoserie (nejčastěji hliník vs. hliník a hliník vs. ocel).

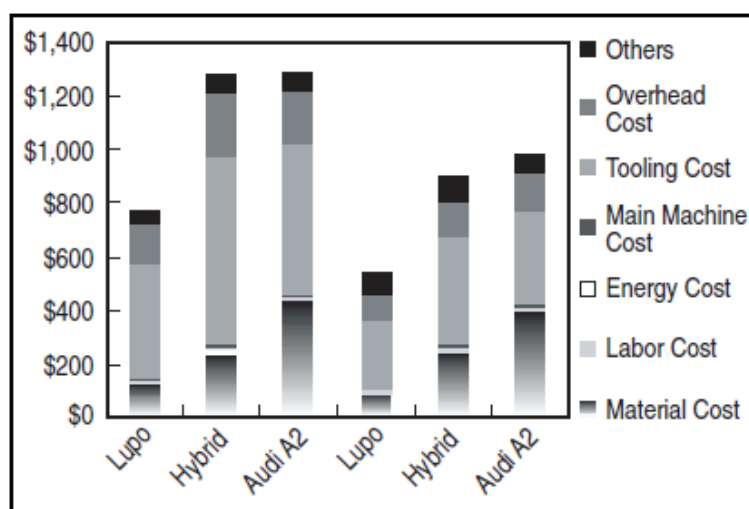
Přibližné rozložení nákladů na výrobu částí jedné karoserie pro malé osobní automobily v sériovosti 60 a 195 tis. kusů ročně uvádí Graf 9. Pro porovnání jsou zde uvedena vozidla VW Lupo (s ocelovou karoserií), VW Lupo Hybrid (s hybridní konstrukcí karoserie – ocel/hořč./hlin. slitiny) a Audi A2 jako představitel vozidla s kompletní karoserií z hliníkových slitin.

Pokud se blíže zaměříme na konstrukci karosérie jednotlivých vozů, všimneme si zejména rozdílu v použitých materiálech. Hybridní vůz VW Lupo je na první pohled k nerozeznání od klasické verze. Liší se však použitými materiály, kdy byla na dveře, kapotu a nárazníky použita hliníková slitiny. Jeden z panelů byl navíc vyroben z hořčíkové slitiny a na brzdový systém, šasi a kola byly také použity lehčí materiály než ocel. K další úspoře hmotnosti došlo v interiéru – speciální sedačky, volant a pedály. Audi A2 se skládá z laserem svařených odlitků, výlisků a protlačků (viz Tabulka 6). Vnější krycí panely jsou z hliníkové slitiny.

Tabulka 6 – Konstrukce porovnávaných karoserií dle technologií výroby [4]

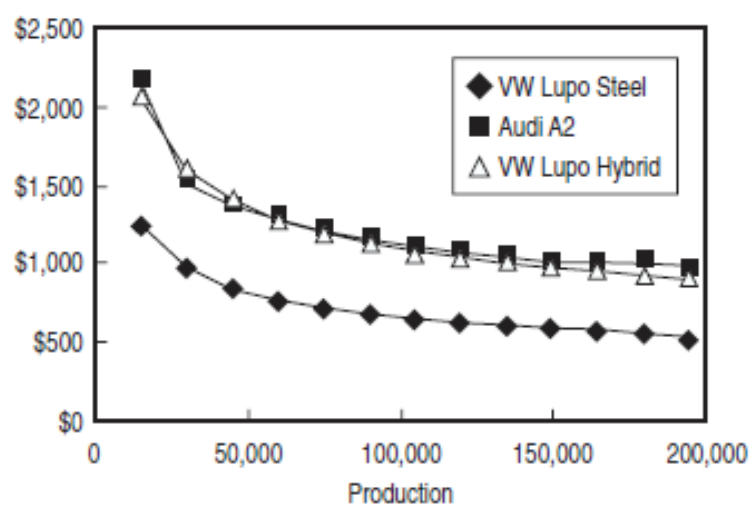
Vozidlo	Počet částí Karoserie	Způsob výroby	Hmotnost všech částí [kg]
VW Lupo	190	Výlisky	210
VW Lupo Hybrid	190	Výlisky	166
Audi A2	210	Výlisky (140)	153
		Protlačky (40)	
		Odlitky (50)	

Graf 9 - Rozložení nákladů při výrobě dílů karoserie [4]



Nejvýraznější částí jsou náklady na nástroje (Tooling Cost), následují materiálové náklady (Material Cost) a režijní náklady (Overhead Cost). Náklady na výrobu součástí karoserie v závislosti na roční produkci jsou uvedeny v následujícím grafu.

Graf 10 - Náklady na výrobu součástí karoserie [4]

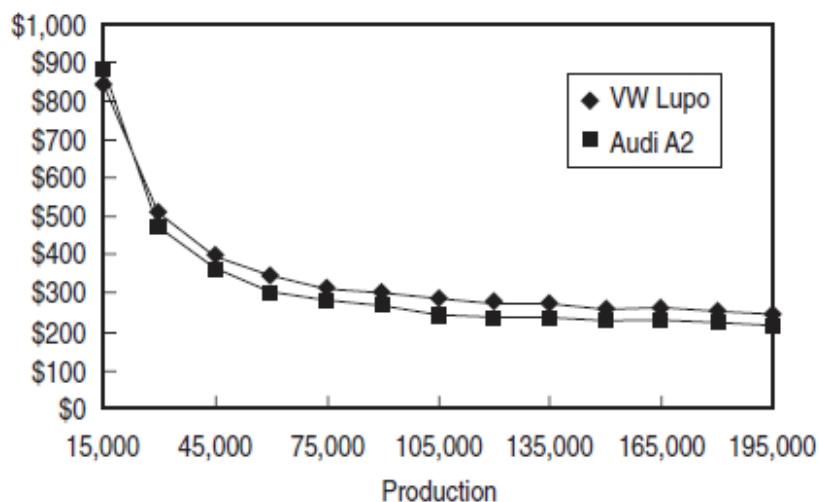


Nákladová křivka Audi A2 se dříve zplošťuje – to je zapříčiněno vysokým podílem (cca 40%) odlitků a protlačovaných profilů na celé karoserii. Tato technologie výroby nedosahuje takové ekonomičnosti jako lisování.

Druhou položkou nákladové analýzy je montáž, resp. spojování jednotlivých prvků karoserie. Používají se zejména techniky svařování (odporové, obloukové, laserové), tváření (klinčování, lemování), nýtování a lepení. Problematické je napojování prvků z rozdílného materiálu a také prvků, jejichž technologické vlastnosti neumožňují nasazení dosud používaných automatizovaných technologií. Jde hlavně o svařitelnost a tvářitelnost hliníkových plechů. Náklady na spojování jednotlivých dílů a celků byly hodnoceny na základě počtu či délky spojů.

Spojování plechů z hliníkových slitin a ze slitin hořčíku s ocelovým rámem s sebou nese dodatečné náklady k zamezení napětí ve spojích a jejich korozi. U obou verzí Lupo bylo použito odporové svařování. Audi je svařeno laserem (celkem 35m svaru), švových svarů (20m) a 1800 nýtů. Jak uvádí Graf 11, montáž Audi A2 je levnější než montáž VW Lupo až od sérií nad cca 20000ks ročně – zde se začne projevovat ekonomičnost laserového svařování.

Graf 11 - Náklady na montáž [4]

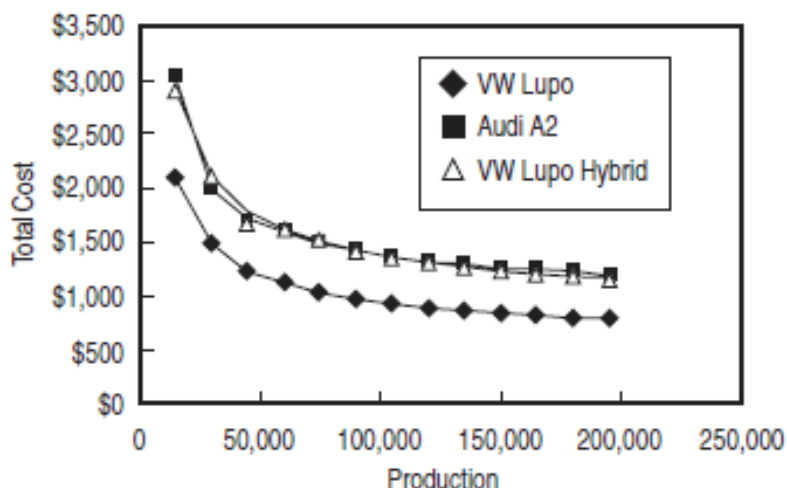


Cenový rozdíl této části výroby není výrazný a s rostoucí produktivitou se prakticky nemění – viz Graf 11.

K hodnocení nákladovosti procesů u obou automobilů byla použita databáze s kalkulací cenové náročnosti dílčích operací. U malých prvků karosérie se cena určovala pouze na základě hmotnosti. U větších pak byla tvořena souborem všech procesů (materiál, výrobní technologie, energie, stroje, nástroje, atd.).

Je zřejmé, že pokles ceny při rostoucí sériovosti je dán zejména klesajícím podílem ceny strojů a nástrojů na jednu součást, resp. na celé vozidlo. Zajímavější je pak pohled na náklady celkové (Graf 12), kdy je více patrný rozdíl mezi vozem VW Lupo s konvenční ocelovou karosérií a Audi A2 s hliníkovou karosérií, případně VW Lupo s karosérií tvořenou hliníkovými, ocelovými a hořčíkovými částmi.

Graf 12 – Celkové náklady na karoserii [4]



Výrazné navýšení ceny u hybridního vozu Lupo lze přičíst typu karosérie, která původně nepočítala s aplikací jiných než ocelových materiálů. Rozdíl mezi hliníkovou konstrukcí A2 a ocelovou u VW Lupo je přibližně 510 USD na jedné karosérii.

Předchozí řádky ukázaly, že hlavními překážkami v náhradě materiálů jsou vyšší náklady na suroviny a nástroje u hliníkových slitin. Cílem výrobců je vytvořit celohliníkový automobil se stejnou cenou jako u ocelového. Toto bude možné v případě, že cena výchozí suroviny klesne přibližně o 2,2 USD na kg. Cenový rozdíl mezi karosérií A2 a ocelovou VW Lupo by při této ceně mohl klesnout až na cca 320 USD při sériovosti 60000 vozů/ročně. Pravděpodobně bude možné vytvořit slitinu hliníku 5xxx za takovou cenu při použití kontinuálního lití a velké sériovosti. Avšak většina dosud používaných slitin je převážně ze série označené 6xxx a výjimečně 7xxx.

U kompozitních materiálů je předpokládáno, že v případě využití skelných vláken může dojít k úspoře cca 20 – 35% hmotnosti a v případě uhlíkových vláken v budoucnu až 65% hmotnosti karoserie.

Porovnání hmotností a základních cen materiálů karoserie středního vozidla v rozsahu BIW (Body In White) je uvedeno v následující tabulce.

Tabulka 7 – Porovnání koncepcí karoserií [5]

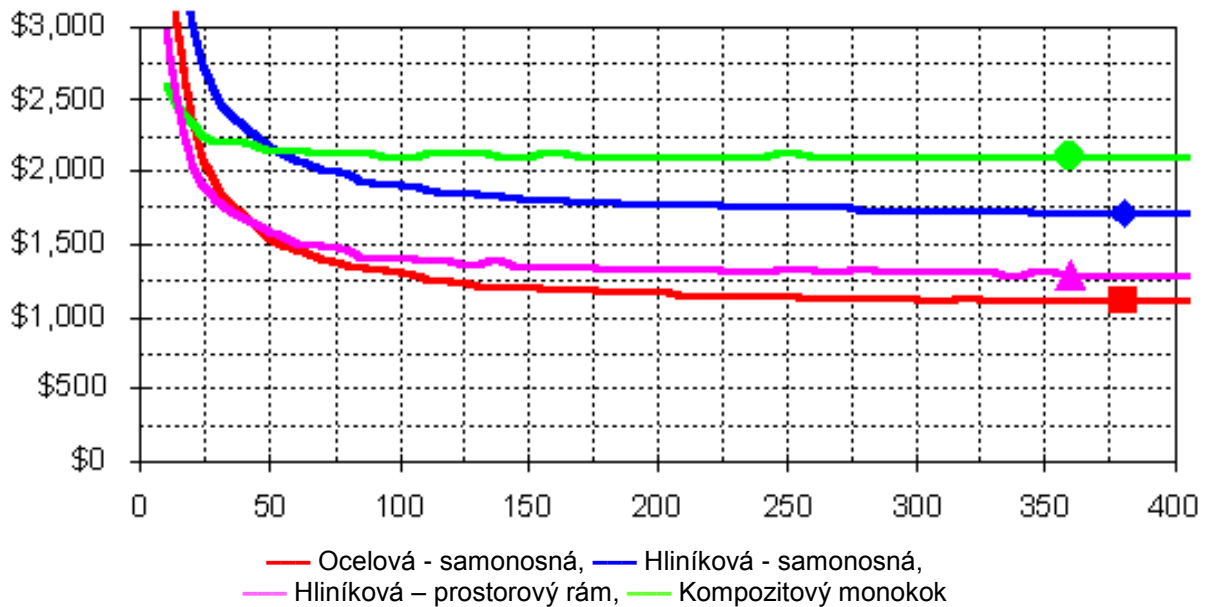
Typ karoserie	Ocelová - samonosná	Hliníková - samonosná	Ocelová – prostorový rám	Hliníková - prostorový rám	Kompozitový monokok
Hmotnost [kg]	315	188	302	188	235
Hmotnost v % ocelové	100%	60%	96%	60%	75%
Počet dílů	204	224	137	137	41
Cena materiálu [\$/kg]	0,77-0,92	3,00-3,50	0,77-2,22	2,00-3,00	3,13
Hustota [g/cm ³]	7,85	2,75	7,85	2,75	1,59

Následující Graf 13 nám umožní výrazně lépe určit, kdy je finančně vhodnější použití různých typů konstrukcí.

Aplikujeme-li pouze ekonomický vliv při výrobě karoserie lze uvažovat s daným rozdělením vhodnosti použitých materiálů.

V oblasti do 15 000 vyrobených kusů karoserie vychází nejlépe kompozitní materiál, tyto materiály mají sice výrazně vyšší náklady na vstupní materiál, nejsou ovšem zatíženy počáteční cenou na vytvoření technologie, tak jako je tomu u samonosné ocelové konstrukce. Ocelová konstrukce je finančně výhodnější až při sériích nad 50 000 kusů. V rozmezí mezi 15 000 a 50 000 se jako ekonomicky nejvhodnější použitelný typ konstrukce prokázal prostorový rám vyrobený ze slitin hliníku.

Graf 13 - Cena karoserie v závislosti na roční produkci (v 1000 kusech) a použité technologii výroby [6]



Kombinace pokročilých kompozitů a ultra lehkých (honey-comb) voštin by mohla sloužit jako základ pro budoucí vozidla s alternativními pohony. Tato konstrukce je v současnosti využívána především u závodních vozidel. Takové řešení by splňovalo většinu funkčních požadavků na karoserii kromě snadné recyklovatelnosti.

3.3 Hmotnost vozidla vs. nákladovost karoserie

Kapitola 3.2 ukazuje různé přístupy k nákladovosti karoserie různých koncepcí několika autorů. Výstupy těchto studií byly sdruženy a zjednodušeny do následujících tabulek a závěrů.

Postup vyhodnocení koncepcí, jejich hmotnost a nákladovost

Nutné vstupní informace:

- Velikost automobilu
 - malý automobil
 - střední automobil
- Plánovaná sériovost za rok
 - 15 000 ks
 - 50 000 ks
 - 100 000 ks

- Požadavek na hmotnostní úsporu v kg

Z následující tabulky vyplývá, že použití jiných koncepcí karoserie než je ocelová samonosná nám přináší zvýšené náklady v sériovostech 50 a 100 tis. kusů automobilů za rok. Pouze u nejnižší sériovosti je možné navíc změnou koncepce např. na kompozitový monokok či prostorový rám z hliníkových slitin dosáhnout nižších nákladů. To však nereprezentuje ani toliko ekonomičnost těchto koncepcí, jako neefektivnost vyrábění ocelové samonosné karoserie v malých sériích.

Dle předložených studií vyplývá, že u malých automobilů při zachování pasivní bezpečnosti lze jinými koncepcemi ušetřit přibližně 50 kg na karoserii oproti ocelové samonosné. Jako nejvýhodnější se jeví prostorový rám z hliníkových slitin ve všech třech produkčních kategoriích. V nejnižší sériovosti do 15 tis. kusů za rok vychází výhodně také kompozitový monokok.

U středních automobilů může být hmotnostní úspora různých koncepcí až okolo 130 kg oproti ocelové samonosné karoserii. I zde opět vychází nejvýhodněji prostorový rám z hliníkových slitin ve všech třech produkčních kategoriích.

Tabulka 8 – Nákladovost koncepcí v závislosti na hmotnosti a sériovosti

Malý automobil											
Hm. karos. [kg]	Rozdíl hmotnosti vůči ocel. [kg]	Produkce za rok 15000 ks			Produkce za rok 50000 ks			Produkce za rok 100000 ks			Koncepte karoserie
		Cena karos. [\$]	Nárůst ceny [\$]	\$/kg úspory	Cena karos. [\$]	Nárůst ceny [\$]	\$/kg úspory	Cena karos. [\$]	Nárůst ceny [\$]	\$/kg úspory	
210	0	2100	0	-	1200	0	-	900	0	-	Ocel samonosná
166	-44	2900	800	18	1800	600	14	1400	500	11	Al/ocel samonosná
157	-53	1700	-400	-8	1700	500	9	1500	600	11	Kompozit
153	-57	3100	1000	18	1700	500	9	1400	500	9	Al samonosná
153	-57	1700	-400	-7	1300	100	2	1000	100	2	Al prostorový rám

Střední automobil											
Hm. karos. [kg]	Rozdíl hmotnosti vůči ocel. [kg]	Produkce za rok 15000 ks			Produkce za rok 50000 ks			Produkce za rok 100000 ks			Koncepte karoserie
		Cena karos. [\$]	Nárůst ceny [\$]	\$/kg úspory	Cena karos. [\$]	Nárůst ceny [\$]	\$/kg úspory	Cena karos. [\$]	Nárůst ceny [\$]	\$/kg úspory	
315	0	3000	0	-	1500	0	-	1300	0	-	Ocel samonosná
249	-66	4100	1100	17	2200	700	11	1900	600	9	Al/ocel samonosná
235	-80	2500	-500	-6	2100	600	8	2100	800	10	Kompozit
188	-127	4000	1000	8	2200	700	6	1900	600	5	Al samonosná
188	-127	2500	-500	-4	1600	100	1	1400	100	1	Al prostorový rám

Výhody kompozitových karoserií se zde zatím výrazně neprojevily z důvodu stále ještě neefektivní sériové výroby a ceny vstupních materiálů. V tomto oboru však dochází k rozsáhlému vývoji a stále větší aplikovatelnosti v automobilovém průmyslu.

Snaha konstruktéra stávající ocelovou karoserii nahradit některými hliníkovými, hořčíkovými či kompozitovými částmi vede většinou na částečné snížení hmotnosti s velmi vysokými náklady. Efektivnější cestou v poměru snížení hmotnosti a zvýšení nákladovosti je celý nový koncept karoserie ať už z hliníkových slitin, či kombinací s kompozitovými díly.

3.4 Hmotnost vozidla vs. spotřeba paliva a CO₂

Za pomoci numerických simulací spotřeby paliva byla zajištěna úspora pohonných hmot při odlehčení o 100 kg na 0.25l/100km (vozidlo s pohotovostní hmotností 1104 kg).

V rámci těchto úvah je potřeba započíst tuto úsporu pohonných hmot a zároveň snížený podíl zplodin CO₂ uvolněných do atmosféry, což je hlavní snahou v případě snižování konstrukcí vozidel.

Snížení hmotnosti vzhledem k ocelové samonosné karoserii malého vozidla pro dvě alternativní koncepce a úsporu paliva během životnosti vozidla uvádí Tabulka 9. Životnost vozidla byla zvolena na 250 000 km (Zdroj: TOTAL). Úspora byla vypočtena dle kombinované spotřeby NEDC cyklu.

Tabulka 9 – Úspora paliva během životnosti vozidla

	Úspora hmotnosti	Úspora paliva	Úspora paliva během 250 000 km	Úspora CO ₂ při 2,357kg CO ₂ na 1l benzínu	Nárůst ceny karoserie oproti ocelové (sériovost 100 tis. ks)	Nárůst ceny karoserie při odečtení snížených nákladů na palivo BA 95 1,79\$/l (36,10 Kč/l, kurz 20,2 Kč/\$)
Kompozit	53 kg	0,134 l/100km	335 l	790 kg	600 \$	0 \$
Hliník – prostorový rám	57 kg	0,144 l/100km	360 l	849 kg	100 \$	- 544 \$

V případě že zahrneme do ekonomičnosti i výslednou úsporu na pohonných hmotách, bude jako nejvýhodnější vytvořit konstrukci za pomoci prostorového rámu vyrobeného z hliníkových slitin. Kdy dojde za dobu životnosti k úspoře na pohonných hmotách o objemu 360l a bude vyprodukováno o 849kg CO₂ méně.

4 Vyjádření k „novosti postupů“

Novost postupů je zde v propojení spotřeby paliva s možnými hmotnostními úsporami na konstrukci karoserie a nákladovostí takto odlehčené konstrukce.

5 Popis uplatnění metodiky

Předchozí kapitoly jsou zaměřeny na zjištění spotřeby vozidla v závislosti na jízdních odporech, emise CO₂ a na obecné přístupy nákladovosti výroby karoserií na základě uvedených studií. Metodika uvádí příklady nákladovosti, které mohou být brány v potaz v raném stádiu návrhu vozidla. V této nákladovosti, ale musí být zohledněny aktuální ceny materiálů, nástrojů, strojů, technologií atd. příslušné době a místu návrhu, vývoji a výrobě karoserie. Metodika je určena pro vývojové pracovníky výrobců osobních automobilů v rané fázi vývoje konceptu, kdy je řešena teoretická spotřeba paliva v závislosti na hmotnosti vozidla se zohledněním nákladovosti různých konstrukcí karoserie.

6 Publikace předcházející metodice

Dovol., M., Důvody a možnosti pro redukcii hmotnosti karoserie osobního vozu, Bakalářská práce, ČVUT v Praze, Praha, 2012

7 Seznam grafů, obrázků a tabulek

Graf 1 - Celý NEDC cyklus [1]	10
Graf 2 - Graf znázorňující dílčí městský cyklus v MS EXCEL	12
Graf 3 - Celkové jízdní odpory v závislosti na čase pro dílčí městský	12
Graf 4 - Potřebný výkon motoru (dílčí městský cyklus)	13
Graf 5 - Graf znázorňující dílčí mimoměstský cyklus v MS Excel	13
Graf 6 - Celkové jízdní odpory (mimoměstský cyklus)	14
Graf 7 - Potřebný výkon motoru (mimoměstský cyklus)	14
Graf 8 - Vyhodnocení závislosti spotřeby na hmotnosti	16
Graf 9 - Rozložení nákladů při výrobě dílů karoserie [4]	18
Graf 10 - Náklady na výrobu součástí karoserie [4]	18
Graf 11 - Náklady na montáž [4]	19
Graf 12 – Celkové náklady na karoserii [4]	20
Graf 13 - Cena karoserie v závislosti na roční produkci (v 1000 kusech) a použité technologii výroby [6]	21
Obrázek 1 - Dílčí městský zkušební cyklus [1]	5
Obrázek 2 - Mimoměstský zkušební cyklus [1]	5
Tabulka 1 - Seznam použitých veličin a jednotek	6
Tabulka 2 – Vstupní hodnoty výpočtu spotřeby vozidla	7
Tabulka 3 – Dílčí městský cyklus [1]	8
Tabulka 4 - Mimoměstský cyklus NEDC [1]	9
Tabulka 5 - Specifikace spotřeby dle uživatelské příručky Škoda Fabia Owner's Manual [2]	15
Tabulka 6 – Konstrukce porovnávaných karoserií dle technologií výroby [4]	18
Tabulka 7 – Porovnání koncepcí karoserií [5]	20
Tabulka 8 – Nákladovost koncepcí v závislosti na hmotnosti a sériovosti	22
Tabulka 9 – Úspora paliva během životnosti vozidla	23

8 Seznam použité související literatury

- [1] Předpis EHK 83 - Emise znečišťujících látek z vozidel, integrovaný soubor - 083630i1
- [2] Škoda Fabia, Návod k obsluze, Fabia česky 05.2012, S55.5610.09.15, 5J6 012 003 LN
www.skoda-auto.com
- [3] Dovol., M.: Důvody a možnosti pro redukci hmotnosti karoserie osobního vozu, Bakalářská práce, ČVUT v Praze, Praha, 2012
- [4] KELKAR, A., ROTH, R. a CLARK, J.: Automobile Bodies: Can Aluminum Be an Economical Alternative to Steel? [online] 2001, roč. 8, č. 53 [cit. 2013-10-23]. Dostupné z: <http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/0108/Kelkar-0108.html>
- [5] Davies, G.: Material for Automobile Bodies, Elsevier, Velká Británie, 2012
- [6] Dieffenbach, J.R., Globalization's Impact on Manufacturing: Bodies-in-White and Airbags as Case Study Examples, Global Automotive Management Council 3rd Course: Global Automotive Technology Senior Management Briefing, Stockholm, May 1999
- [7] Das, S., The cost of automotive polymer composites: a review and assessment of doe's lightweight materials composites research, Oak ridge national laboratory, January 2001