



VŠB-Technická univerzita Ostrava  
Fakulta stavební  
Studentská vědecká odborná činnost  
školní rok 2004-2005

# VÝPOČET RYCHLOSTI NÁVRHOVÉHO POMALÉHO VOZIDLA VE STOUPÁNÍ

Předkládají studenti: Ondřej Bojko, Luisa Elblová, Josef Pavelka  
Odborný garant : Doc. Ing. Marián Krajčovič, Csc.  
Katedra : 227



## **VÝPOČET RYCHLOSTI NÁVRHOVÉHO POMALÉHO VOZIDLA VE STOUPÁNÍ**

**Řešitelský kolektiv:** Ondřej Bojko, Luisa Elblová, Josef Pavelka  
VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební  
Jiří Nowak, Jiří Pištecký  
VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní

**Vedoucí práce:** Doc. Ing. Marián Krajčovič, Csc.  
VŠB – TU Ostrava, Fakulta stavební  
Ing. Michal Richtář  
VŠB – TU Ostrava, Fakulta strojní

---

### **Anotace**

Práce obsahuje návrh fyzikálního modelu pohybu návrhového pomalého vozidla (ve smyslu přílohy K normy ČSN 73 6101), odvození pohybové rovnice a její řešení numerickým výpočtem. Dále porovnává výsledky tohoto výpočtu a jejich grafické vyjádření s ustanoveními zmíněné normy. Součástí práce je rovněž program k výpočtu rychlosti vozidla v závislosti na délce, kterou vozidlo urazí na úseku o zvoleném podélném profilu.

### **Annotation**

The work contains a suggestion physical model of moving design slow vehicle (In terms of the appendices to K norm ČSN 73 6101), derivation of motion equation and its solution by using the Metod of numerical computation. Further on it compares the results of this computation and their graphic presentation with provision of the fore mentioned norm. A part of the work is also a programme for speed computation in dependence on the lenght, covered by the vehicle on a section of choosen longitudinal profile.



## **I Úvod do problematiky zjišťování rychlosti návrhového pomalého vozidla**

### **Zjišťování rychlosti návrhového pomalého vozidla dle normy ČSN 736101**

Norma ČSN 73 6101 Projektování silnic a dálnic uvádí postup ke zjištění těch úseků směrově oddělených pozemních komunikací, které z důvodu svého podélného sklonu vyžadují zvětšení počtu jízdních pruhů ( případně zřízení pruhu pro pomalá vozidla), aby intenzita provozu na těchto úsecích nepřekročila únosnou mez. Postup uvedený v normě sestává ze tří kroků:

- 1) určení rychlosti tzv. návrhového pomalého vozidla ve všech bodech trasy o známém podélném profilu dle přílohy K normy
- 2) přiřazení tzv. stupně ohodnocující stoupání resp. Rychlosti ohodnocující stoupání dle přílohy A normy
- 3) určení návrhové intenzity dopravního proudu na sledovaném úseku a její porovnání s hodnotou přípustné intenzity

Zřízení přídatného pruhu se pak provede v té části úseku, kde návrhová intenzita překročí hodnotu přípustné intenzity.

Prvním krokem tohoto postupu je tedy určení rychlosti tzv. návrhového pomalého vozidla. Příloha K normy nabízí dva možné postupy: odečtení této rychlosti z grafů K.1 – K.7, nebo dosazení do vzorce pro změnu rychlosti na elementárním úseku trasy ( viz příloha č.1).

Oba postupy předpokládají rozdělení sledovaného úseku na jednotlivé části, v nichž je podélný sklon komunikace považován za konstantní. Odečtení z grafů, resp. Dosazování do vzorce se pak opakuje pro každou část úseku s tím, že rychlost návrhového pomalého vozidla na konci předchozího úseku vstupuje jako počáteční rychlost do výpočtu rychlosti následující části úseku. Výsledkem je pak graf závislosti rychlosti na vzdálenosti, kterou vozidlo urazí na sledovaném úseku.

### **Návrhové pomalé vozidlo a problémy s aplikací normového postupu**

Jak grafy, tak vzorec uvedený normou mají být odvozeny z pohybové rovnice hmotného bodu se stejnými, jako má tzv. návrhové pomalé vozidlo. Parametry, kterými je toto vozidlo definováno normou ČSN 73 6101 z roku 2004 uvádí tabulka č.1:

Hmotnost	44 000 kg
Výkon motoru	370 kw
Hnací moment motoru ( pro jízdu ve stoupání)	1600 Nm
Poloměr kola	0,526 m
Čelní plocha	8,5 m <sup>2</sup>
Součinitel odporu vzduchu	0,7
Součinitel odporu valení	0,006
Účinnost převodového ústrojí	0,8878
Převodový poměr (plynule proměnlivý)	2,07 až 49,68

Tab. 1

Tyto parametry návrhového pomalého vozidla se v normě objevily poprvé ve Změně 6 ČSN 73 6101 z prosince 1998. Do té doby bylo návrhové pomalé vozidlo charakterizováno výkonem motoru 132 kw, hmotností 19,6 t a maximální dosažitelnou rychlostí 70 km/h, jak uvádí verze normy ČSN 73 6101, platná od 5. 6. 1985 ( viz. Příloha č.2). Pozoruhodné na návrhovém pomalém vozidle je, že přinejmenším výkon motoru 370 kW se pohybuje na hranici špičkového vozidla třídy N3, hodnota součinitele odporu valení je příliš nízká, odpovídá přehuštěné pneumatice.

Tato zřejmá nesrovnalost nás přivedla k záměru pokusit se sestavit obecné pohybové rovnice a po dosažení parametrů námi zvoleného návrhového pomalého vozidla porovnat naše výsledky s výsledky získanými pomocí návrhového pomalého vozidla aplikací obou postupů uvedených v normě.

Zároveň chceme využít takto získané rovnice k vytvoření jednoduchého programu k automatizovanému výpočtu a vykreslení závislosti rychlosti návrhového pomalého vozidla na uražené vzdálenosti, což by zrychlilo proces ověřování potřeby zvýšit počet pruhů na daném úseku pozemní komunikace proti současné praxi.

## II ODOZENÍ POHYBOVÉ ROVNICE HMOTNÉHO BODU S VLASTNOSTMI NÁVRHOVÉHO VOZIDLA

### Vytvoření fyzikálního modelu

Naše volba fyzikálního modelu, kterým popisujeme pohybový stav vozidla jedoucího po komunikaci s daným podélným sklonem, vychází z parametrů, které uvádí norma jako vstupní hodnoty pro výpočet v poznámce přílohy K (viz Tab. 1). Snažily jsme se tedy vytvořit model co nejjednodušší a přitom se co nejvíce přiblížit modelu, který pravděpodobně volil tvůrce příslušných ustanovení normy.

### Působící síly

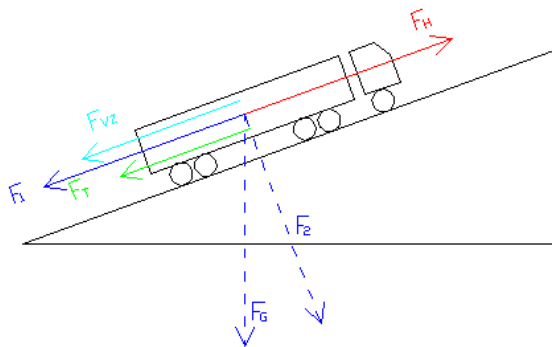
Nahradíme návrhové pomalé vozidlo hmotným bodem o hmotnosti  $m$ . Tento hmotný bod pak umístíme na nakloněnou rovinu, která svírá s vodorovnou rovinou

úhel  $\alpha$ , a po které se tento hmotný bod pohybuje nerovnoměrným pohybem s počáteční rychlostí  $v_0$ .

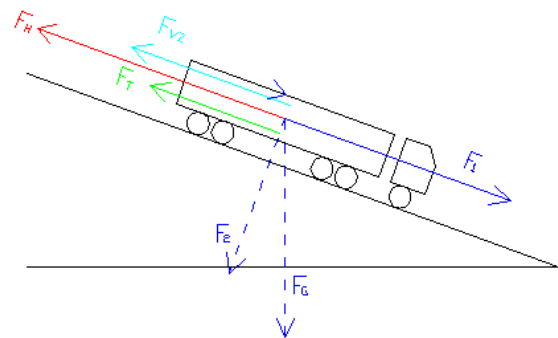
Síly které na hmotný bod působí, můžeme rozdělit do dvou skupin:

- Síly aktivní**, které působí ve směru pohybu hmotného bodu. Pokud uvažujeme pohyb do kopce, je aktivní silou pouze hnací síla motoru  $F_H$ . Při sjíždění vystupuje jako aktivní síla pouze složka tíhové síly  $F_1$ , působící ve směru rovnoběžném s nakloněnou rovinou.
- Síly pasivní**, působí proti směru pohybu. Ve stoupání to jsou: složka tíhové síly  $F_1$ , působící ve směru rovnoběžném s nakloněnou rovinou, síla odporu prostředí (vzduchu)  $F_{VZ}$ , a síla valivého odporu třením  $F_T$ , přiklesání pak obě síly třecí  $F_{VZ}$  a  $F_T$  a také hnací síla  $F_H$  (pouze pokud jde o tzv. brždění motorem).

Oba případy, stoupání i sjíždění s bržděním hnacím ústrojí ilustrují obrázky č.1 a 2.



Obr. 1



Obr. 2

$F_1$  složka tíhové síly působící rovnoběžně s nakloněnou rovinou:

$$F_1 = F_G \cdot \sin \alpha = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$F_{VZ}$  síla odporu prostředí (vzduchu):

$$F_{VZ} = \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2$$

$F_T$  síla valivého odporu (valivé tření):

$$F_T = \frac{\xi \cdot F_2}{r} = \frac{\xi \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{r}$$

$F_H$  hnací síla motoru:

$$F_H = \eta \cdot \frac{P}{v}$$

kde značí:

$m$ .....hmotnost

$g$ .....tíhové zrychlení

$C$ ..... součinitel odporu vzduchu

$\rho$ .....hustota vzduchu

$S$ .....čelní plocha vozidla

$v$ .....okamžitá rychlost

$r$ .....poloměr kola

$\xi$ ..... součinitel válivého tření

$\eta$ .....Účinnost převodového ústrojí

$P$ ..... výkon motoru

$\alpha$ .....úhel mezi nakloněnou rovinou a vodorovnou rovinou

Vztah pro sílu  $F_1$  je odvozen z rozkladu síly  $F_G$  na složky  $F_1$  a  $F_2$ , jak je vidět na obrázcích č. 1 a 2. Odvození vztahů pro třecí síly vychází přímo z klasické definice těchto veličin. Odvození vztahu pro hnací sílu motoru je podrobně rozvedeno v samostatné příloze. ( viz příloha č. 3).

Výslednice sil působících na hmotný bod je tedy:

$F = F_H - F_{vz} - F_T - F_1$  .....pro stoupání

$F = -F_H - F_{vz} - F_T + F_1$ .....pro klesání

Dále platí:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{s}{100}$$

$$n = \frac{r \cdot P}{M \cdot v}$$

kde:

$s$ .....podélný sklon v %

$n$ .....převodový poměr

$M$ .....hnací moment motoru

Potom můžeme dle 2. Newtonova zákona zapsat výslednici sil působících na hmotný bod jako časovou změnu jeho hybnosti:

$$F = m \cdot \dot{v}$$

Po dosazení získáváme pohybovou diferenciální rovnici (1) pro stoupání:

$$\eta \cdot \frac{P}{v} - \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 - \frac{\xi \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{r} - m \cdot g \cdot \sin \alpha = m \cdot \dot{v}$$

A analogicky rovnici (2) pro klesání s bržděním motorem:

$$-\eta \cdot \frac{P}{v} - \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 - \frac{\xi \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{r} + m \cdot g \cdot \sin \alpha = m \cdot \dot{v}$$

### III ŘEŠENÍ POHYBOVÉ ROVNICE, JEHO GRAFICKÉ ZNÁZORNĚNÍ

Nadále se budeme zabývat pouze řešením případu, kdy vozidlo jede do kopce. Uvádíme tedy numerické řešení rovnice (1). Využijeme Newtonovy aproximace derivace

$$\dot{v} = \frac{dv}{dt} \approx \frac{v_{n+1} - v_n}{k} \quad n \in \{0, 1, 2, \dots\}$$

kde:

**k** .....krok numerického výpočtu [s]

**v<sub>i</sub>** .....okamžitá rychlost v čase  $t_i = i \cdot k$

Pak tedy můžeme rovnici (1) upravit do tvaru:

$$v_{n+1} = v_n + \frac{k}{m} \left( \eta \cdot \frac{P}{v_n} - \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v_n^2 - \frac{\xi \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{r} - m \cdot g \cdot \sin \alpha \right)$$

Po konzultaci s kolegy fakulty strojní jsme se rozhodly udělat v tomto místě změnu oproti poslední verzi normy z roku 2004. Výkon motoru **P** nahradíme vzorcem pro vyjádření výkonu motoru v závislosti na hnacím momentu motoru **M** a otáčkách motoru **n**.

$$P = \frac{M \cdot n}{9549,3}$$

kde:

**n** .....otáčky motoru [ $\text{min}^{-1}$ ]

Další změnu navrhujeme v úpravě nepřesnosti znění parametrů pro návrhové vozidlo, a to součinitel valivého odporu není 0,006. Tato hodnota odpovídá ramenu valivého odporu. Součinitel valivého odporu se pohybuje v rozmezí 0,012-0,015. Proto dále doporučujeme nahradit hodnotu  $\zeta/r$  hodnotou 0,012.

Dále navrhujeme upravit parametry návrhového vozidla v závislosti na dnešní situaci automobilismu takto:

Hmotnost	44 000 kg
Výkon motoru	<b>270kw/1800 min<sup>-1</sup></b>
Hnací moment motoru ( pro jízdu ve stoupání)	<b>1800Nm/1000 min<sup>-1</sup></b>
Poloměr kola	0,526 m
Čelní plocha	8,5 m <sup>2</sup>
Součinitel odporu vzduchu	0,7
Součinitel odporu valení	<b>0,012</b>
Účinnost převodového ústrojí	0,8878
Převodový poměr ( <b>stupňovitě proměnlivý</b> )	2,07 až 49,68

Tab. 2

Ukázky parametrů různých automobilů třídy N3 jsou v příloze č. 4. Na jejich základě si můžeme udělat představu o navrhovaném normovém vozidle.

Pak tedy můžeme znovu rovnici (1) upravit do tvaru:

$$v_{n+1} = v_n + \frac{k}{m} \left( \eta \cdot \frac{M \cdot n}{v_n \cdot 9549,3} - \frac{1}{2} \cdot C \cdot \rho \cdot S \cdot v_n^2 - \frac{\xi \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha}{r} - m \cdot g \cdot \sin \alpha \right)$$

Příklad numerického výpočtu rychlosti vozidla jedoucího po úseku s konstantním podélným sklonem pro  $v_0 = 70$  km/h,  $s = 5\%$ ,  $k = 5$ s a pro upravené normové parametry vozidla ( viz. Tab. 2) uvádí Tab. č. 3. Jednotlivé sloupce ukazují okamžitou velikost jednotlivých sil působících v daném časovém okamžiku na hmotný bod představující vozidlo, dále jejich výslednici, okamžitou rychlost vozidla, aktuální teoretický převodový stupeň a ujetou vzdálenost.

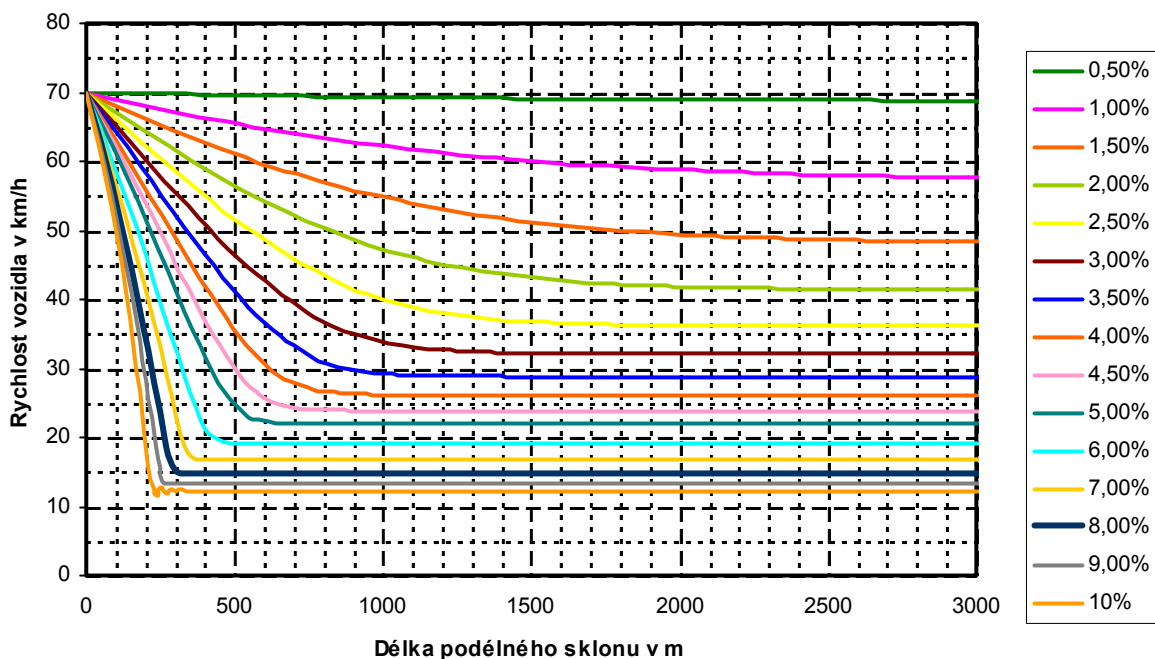
Grafickým vyjádřením rovnice (1) jsou následující grafy č. 1 a 2. Zobrazující závislost rychlosti  $v$  na uražené vzdálenosti  $L$  pro vozidlo s parametry dle Tab. 2, s počáteční rychlostí  $v_0 = 70$  km/h (Graf 1) a  $v_0 = 80$  km/h (Graf 2). Zobrazeny jsou závislosti pro stejné kladné podélné sklony jako uvádí grafy K1 a K2 normy.



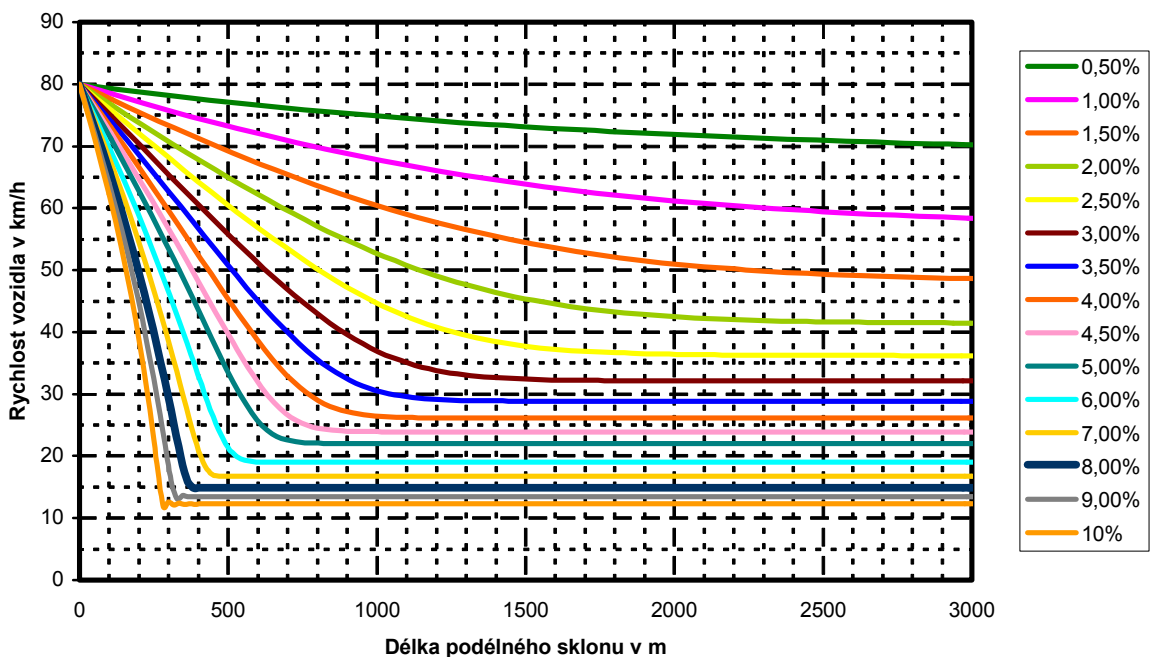
Tab. 3

čas	působící síly				výslednice sil F (N)	rychlost vozidla		převodový stupeň n	vzdálenost L
	Fh	Fvz	Ft	F1		v (m/s)	v (km/h)		
0						19,44444	70	6,25564	0
5	8606,38	1355,39	5279,93	2199,97	-228,918	19,41843	69,9064	6,26402	97,15719
10	8617,91	1351,77	5273,41	2199,97	-207,243	19,39488	69,8216	6,27163	194,1905
15	8628,37	1348,49	5273,41	2199,97	-193,502	19,37289	69,7424	6,27875	291,1099
20	8638,17	1345,44	5273,41	2199,97	-180,652	19,35236	69,6685	6,28541	387,923
25	8647,33	1342,59	5273,41	2199,97	-168,639	19,3332	69,5995	6,29164	484,6369
30	8655,9	1339,93	5273,41	2199,97	-157,41	19,31531	69,5351	6,29746	581,2582
35	8663,92	1337,45	5273,41	2199,97	-146,916	19,29862	69,475	6,30291	677,793
40	8671,41	1335,14	5273,41	2199,97	-137,11	19,28304	69,4189	6,30801	774,2472
45	8678,42	1332,98	5273,41	2199,97	-127,948	19,2685	69,3666	6,31277	870,626
50	8684,97	1330,97	5273,41	2199,97	-119,39	19,25493	69,3177	6,31721	966,9346
55	8691,09	1329,1	5273,41	2199,97	-111,397	19,24227	69,2722	6,32137	1063,178
60	8696,81	1327,35	5273,41	2199,97	-103,933	19,23046	69,2297	6,32525	1159,359
65	8702,15	1325,72	5273,41	2199,97	-96,9625	19,21944	69,19	6,32888	1255,484
70	8707,14	1324,21	5273,41	2199,97	-90,4548	19,20916	69,153	6,33226	1351,556
75	8711,8	1322,79	5273,41	2199,97	-84,3795	19,19957	69,1185	6,33543	1447,578
80	8716,15	1321,47	5273,41	2199,97	-78,7085	19,19063	69,0863	6,33838	1543,553
85	8720,21	1320,24	5273,41	2199,97	-73,4152	19,18229	69,0562	6,34114	1639,485
90	8724	1319,09	5273,41	2199,97	-68,4751	19,17451	69,0282	6,34371	1735,377
95	8727,54	1318,02	5273,41	2199,97	-63,8648	19,16725	69,0021	6,34611	1831,232
100	8730,85	1317,02	5273,41	2199,97	-59,5627	19,16048	68,9777	6,34835	1927,051
105	8733,93	1316,09	5273,41	2199,97	-55,5485	19,15417	68,955	6,35045	2022,838
110	8736,81	1315,23	5273,41	2199,97	-51,8032	19,14828	68,9338	6,3524	2118,594
115	8739,49	1314,42	5273,41	2199,97	-48,309	19,14279	68,9141	6,35422	2214,321
120	8742	1313,66	5273,41	2199,97	-45,0491	19,13767	68,8956	6,35592	2310,023
125	8744,34	1312,96	5273,41	2199,97	-42,0082	19,1329	68,8784	6,3575	2405,699
130	8746,52	1312,31	5273,41	2199,97	-39,1716	19,12845	68,8624	6,35898	2501,352
135	8748,56	1311,7	5273,41	2199,97	-36,5256	19,1243	68,8475	6,36036	2596,984
140	8750,45	1311,13	5273,41	2199,97	-34,0577	19,12043	68,8335	6,36165	2692,596
145	8752,23	1310,6	5273,41	2199,97	-31,7559	19,11682	68,8205	6,36285	2788,189
150	8753,88	1310,1	5273,41	2199,97	-29,6091	19,11345	68,8084	6,36397	2883,765
155	8755,42	1309,64	5273,41	2199,97	-27,607	19,11032	68,7971	6,36502	2979,324
160	8756,86	1309,21	5273,41	2199,97	-25,7398	19,10739	68,7866	6,36599	3074,869
165	8758,2	1308,81	5273,41	2199,97	-23,9986	19,10466	68,7768	6,3669	3170,399
170	8759,45	1308,44	5273,41	2199,97	-22,3748	19,10212	68,7676	6,36775	3265,916
175	8760,61	1308,09	5273,41	2199,97	-20,8606	19,09975	68,7591	6,36854	3361,42
180	8761,7	1307,76	5273,41	2199,97	-19,4487	19,09754	68,7511	6,36928	3456,914
185	8762,71	1307,46	5273,41	2199,97	-18,1321	19,09548	68,7437	6,36996	3552,396
190	8763,66	1307,18	5273,41	2199,97	-16,9044	19,09356	68,7368	6,3706	3647,869
195	8764,54	1306,92	5273,41	2199,97	-15,7598	19,09177	68,7304	6,3712	3743,332
200	8765,36	1306,67	5273,41	2199,97	-14,6925	19,0901	68,7244	6,37176	3838,787
205	8766,13	1306,44	5273,41	2199,97	-13,6973	19,08854	68,7188	6,37228	3934,233
210	8766,85	1306,23	5273,41	2199,97	-12,7695	19,08709	68,7135	6,37276	4029,672
215	8767,51	1306,03	5273,41	2199,97	-11,9044	19,08574	68,7087	6,37321	4125,105
220	8768,13	1305,85	5273,41	2199,97	-11,0979	19,08448	68,7041	6,37364	4220,53
225	8768,71	1305,67	5273,41	2199,97	-10,3459	19,0833	68,6999	6,37403	4315,95
230	8769,25	1305,51	5273,41	2199,97	-9,64481	19,08221	68,6959	6,37439	4411,363
235	8769,76	1305,36	5273,41	2199,97	-8,99119	19,08118	68,6923	6,37474	4506,772
240	8770,23	1305,22	5273,41	2199,97	-8,38182	19,08023	68,6888	6,37505	4602,175

Graf 1



Graf 2



## IV Porovnání výsledků s výsledky získanými postupem podle normy

### Normový vzorec pro výpočty změny rychlosti vozidla na elementárním úseku

Příloha K normy z roku 2004 uvádí stejně jako příloha K normy z roku 2000, a příloha X její předchozí verze z roku 1985 také vzorec, který již v sobě obsahuje zadané parametry návrhového pomalého vozidla a umožňuje počítat změnu rychlosti vozidla na elementárním úseku dráhy. Tento vzorec je v obou verzích normy uveden shodně takto:

$$\Delta v = \left[ \frac{250}{v_0^2} - \frac{127}{v_0} \cdot (0,015 + s) - 0,000291 \cdot v_0 \right] \cdot \Delta x$$

kde:  $v$ .....změna rychlosti na elementárním úseku o délce  $x$   
 $v_0$ .....počáteční rychlost na začátku tohoto úseku  
 $s$ .....podélný sklon úseku

Norma dále uvádí, že délka úseku  $x$  nesmí být při výpočtu volena větší než 50 m a přitom musí platit:  $\frac{v}{v_0} < 0,05$

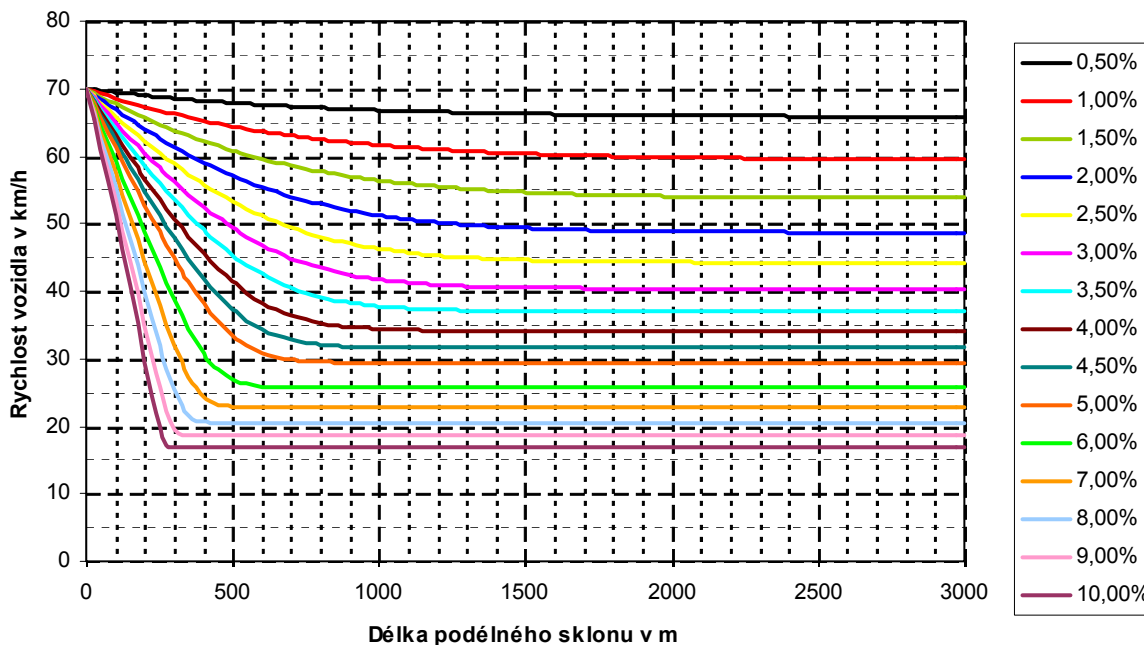
Výpočet rychlosti návrhového pomalého vozidla podle tohoto vztahu pro podélný sklon  $s = 5\%$  a počáteční rychlost  $v_0 = 70$  km/h ukazuje tabulka č.4. Délka elementárního úseku  $x$  byla s ohledem na splnění výše uvedených normových požadavků zvolena 25 m.

Následující graf č.3 ukazuje závislosti rychlosti na ujeté vzdálenosti ( vypočtené podle normou udávaného vzorce) pro podélné sklony od 0,5% do 10%.

Změna rychlosti dv (m/s)	rychlost v (km/h)	délka L (m/s)	dv/v0	změna rychlosti dv (m/s)	rychlost v (km/h)	délka L (m/s)	dv/v0
0	70,00	0	0	-1,15976E-05	29,38983	1500	-3,9E-07
-2,181954082	67,81805	25	-0,0312	-8,57349E-06	29,38982	1525	-2,9E-07
-2,177539206	65,64051	50	-0,0321	-8,57349E-06	29,38981	1550	-2,9E-07
-2,170992112	63,46951	75	-0,0331	-8,57349E-06	29,38980	1575	-2,9E-07
-2,161809305	61,30771	100	-0,0341	-8,57349E-06	29,38979	1600	-2,9E-07
-2,149392081	59,15831	125	-0,0351	-8,57349E-06	29,38978	1625	-2,9E-07
-2,133033138	57,02528	150	-0,0361	-8,57349E-06	29,38978	1650	-2,9E-07
-2,111904258	54,91338	175	-0,037	-8,57349E-06	29,38977	1675	-2,9E-07
-2,085047319	52,82833	200	-0,038	-8,57349E-06	29,38976	1700	-2,9E-07
-2,051372264	50,77696	225	-0,0388	-8,57349E-06	29,38975	1725	-2,9E-07
-2,00966746	48,76729	250	-0,0396	-8,57349E-06	29,38974	1750	-2,9E-07
-1,958630107	46,80866	275	-0,0402	-8,57349E-06	29,38973	1775	-2,9E-07
-1,896926554	44,91173	300	-0,0405	-8,57349E-06	29,38972	1800	-2,9E-07
-1,823293789	43,08844	325	-0,0406	-8,57349E-06	29,38972	1825	-2,9E-07
-1,736692143	41,35175	350	-0,0403	-8,57349E-06	29,38971	1850	-2,9E-07
-1,636512791	39,71523	375	-0,0396	-8,57349E-06	29,38970	1875	-2,9E-07
-1,522829029	38,19240	400	-0,0383	-8,57349E-06	29,38969	1900	-2,9E-07
-1,396655858	36,79575	425	-0,0366	-8,57349E-06	29,38968	1925	-2,9E-07
-1,260152099	35,53560	450	-0,0342	-8,57349E-06	29,38967	1950	-2,9E-07
-1,116675615	34,41892	475	-0,0314	-8,57349E-06	29,38966	1975	-2,9E-07
-0,970607042	33,44831	500	-0,0282	-8,57349E-06	29,38966	2000	-2,9E-07
-0,826909744	32,62140	525	-0,0247	-8,57349E-06	29,38965	2025	-2,9E-07
-0,690489471	31,93091	550	-0,0212	-8,57349E-06	29,38964	2050	-2,9E-07
-0,565514401	31,36540	575	-0,0177	-8,57349E-06	29,38963	2075	-2,9E-07
-0,454893084	30,91051	600	-0,0145	-8,57349E-06	29,38962	2100	-2,9E-07
-0,360050678	30,55046	625	-0,0116	-8,57349E-06	29,38961	2125	-2,9E-07
-0,281023077	30,26943	650	-0,0092	-8,57349E-06	29,38960	2150	-2,9E-07
-0,216776847	30,05266	675	-0,0072	-8,57349E-06	29,38960	2175	-2,9E-07
-0,16561599	29,88704	700	-0,0055	-8,57349E-06	29,38959	2200	-2,9E-07
-0,125557649	29,76148	725	-0,0042	-8,57349E-06	29,38958	2225	-2,9E-07
-0,09461302	29,66687	750	-0,0032	-8,57349E-06	29,38957	2250	-2,9E-07
-0,070960676	29,59591	775	-0,0024	-8,57349E-06	29,38956	2275	-2,9E-07
-0,053029884	29,54288	800	-0,0018	-8,57349E-06	29,38955	2300	-2,9E-07
-0,039521711	29,50336	825	-0,0013	-8,57349E-06	29,38954	2325	-2,9E-07
-0,029393726	29,47396	850	-0,001	-8,57349E-06	29,38954	2350	-2,9E-07
-0,021827343	29,45214	875	-0,0007	-8,57349E-06	29,38953	2375	-2,9E-07
-0,016189901	29,43595	900	-0,0005	-8,57349E-06	29,38952	2400	-2,9E-07
-0,011998103	29,42395	925	-0,0004	-8,57349E-06	29,38951	2425	-2,9E-07
-0,008885913	29,41506	950	-0,0003	-8,57349E-06	29,38950	2450	-2,9E-07
-0,006577856	29,40848	975	-0,0002	-8,57349E-06	29,38949	2475	-2,9E-07
-0,004867579	29,40362	1000	-0,0002	-8,57349E-06	29,38948	2500	-2,9E-07
-0,003601039	29,40002	1025	-0,0001	-8,57349E-06	29,38948	2525	-2,9E-07
-0,002663534	29,39735	1050	-9E-05	-8,57349E-06	29,38947	2550	-2,9E-07
-0,001969819	29,39538	1075	-7E-05	-8,57349E-06	29,38946	2575	-2,9E-07
-0,001456626	29,39393	1100	-5E-05	-8,57349E-06	29,38945	2600	-2,9E-07
-0,001077049	29,39285	1125	-4E-05	-8,57349E-06	29,38944	2625	-2,9E-07
-0,000796339	29,39205	1150	-3E-05	-8,57349E-06	29,38943	2650	-2,9E-07
-0,000588764	29,39146	1175	-2E-05	-8,57349E-06	29,38942	2675	-2,9E-07
-0,000435283	29,39103	1200	-1E-05	-8,57349E-06	29,38942	2700	-2,9E-07
-0,000321804	29,39071	1225	-1E-05	-8,57349E-06	29,38941	2725	-2,9E-07
-0,000237905	29,39047	1250	-8E-06	-8,57349E-06	29,38940	2750	-2,9E-07
-0,000175877	29,39029	1275	-6E-06	-8,57349E-06	29,38939	2775	-2,9E-07
-0,00013002	29,39016	1300	-4E-06	-8,57349E-06	29,38938	2800	-2,9E-07
-9,61193E-05	29,39007	1325	-3E-06	-8,57349E-06	29,38937	2825	-2,9E-07
-7,10571E-05	29,39000	1350	-2E-06	-8,57349E-06	29,38936	2850	-2,9E-07
-5,25295E-05	29,38994	1375	-2E-06	-8,57349E-06	29,38936	2875	-2,9E-07
-3,88327E-05	29,38990	1400	-1E-06	-8,57349E-06	29,38935	2900	-2,9E-07
-2,87072E-05	29,38988	1425	-1E-06	-8,57349E-06	29,38934	2925	-2,9E-07
-2,12218E-05	29,38985	1450	-7E-07	-8,57349E-06	29,38933	2950	-2,9E-07
-1,56883E-05	29,38984	1475	-5E-07	-8,57349E-06	29,38932	2975	-2,9E-07
-1,15976E-05	29,38983	1500	-4E-07	-8,57349E-06	29,38931	3000	-2,9E-07

Tab. 4

Graf 4



## Grafy K.1, K.2 normy pro odečítání rychlosti v závislosti na ujeté vzdálenosti

Grafy K.1 a K.2 normy z roku 2000 „Vztah podélného sklonu nivelety a rychlosti návrhového pomalého vozidla pro ostatní silniční síť (K.1, počáteční rychlost  $v_0 = 70$  km/h), resp. Pro dálnice a rychlostní silnice“ (K.2, počáteční rychlost  $v_0 = 80$  km/h) jsou uvedeny v příloze č.1, odpovídající graf X.1 „Vztah podélného sklonu nivelety a rychlosti návrhového vozidla“ normy z roku 1985 v příloze č.1.

## Porovnání výsledků a závěry

Z porovnání grafů č.1 a 2 s grafy uvedenými v platné normě (viz. příloha 1) vyplývá, že zvolený fyzikální model uspokojivě vystihuje normovou závislost rychlosti návrhového pomalého vozidla na ujeté vzdálenosti. Maximální odchylka mezi příslušnými hodnotami v jednotlivých grafech je 17%, přičemž nižší hodnoty rychlosti udávají grafy č. 1 a 2.

Výsledky výpočtu dle rovnice (1) tedy můžeme považovat za dostatečné. Je vidět že po změně parametrů návrhového vozidla resp. zmenšení hodnoty výkonu motoru klesly vzdálenosti které může automobil urazit při určitém poklesu rychlosti. Došli jsem k závěru že dnešní postup návrhu délky stoupacího přidavného pruhu je nedostačující.



Porovnáme-li graf č. 3 odpovídající řešení dle vzorce uvedeného v normě s normovými grafy v příloze č. 1, můžeme konstatovat zásadní rozdíly v průběhu i hodnotách funkce rychlosti v závislosti na ujeté vzdálenosti.

Naopak porovnání grafu č. 3 s grafem uvedeným v normě z roku 1985 (viz. Příloha č. 2), zjišťujeme nápadnou podobnost. Z této podobnosti usuzujeme, že vzorec publikovaný jak v normě z roku 1985, 2000 tak i v platné verzi normy z roku 2004 vychází z parametrů návrhového pomalého vozidla dle starší verze normy (1985).

Z toho vyplívá, že aplikací dvou postupů uváděných platnou normou se získají diametrálně odlišné výsledky. Proto navrhuje změny parametrů návrhového vozidla, vypuštění výpočtového vzorce z normy případně nahrazení tohoto vzorce korektně opraveným vztahem a dále změny grafů K1, K2 při její další novelizaci.



## Studentská vědecká odborná činnost 2005

VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební

Ludvíka Podéště 1875, 708 33 Ostrava-Poruba

<http://fast.vsb.cz>



### Poděkování:

Děkujeme Doc. Ing. Mariánu Krajčovičovi, Csc. za zajímavé a podnětné zadání práce a za odborné vedení, Ing. Michalu Rychtářovi za poskytnutí výpočetního softwaru a kolegům Jiřímu Nowakovi a Jiřímu Pišteckému z fakulty strojní za cenné rady ohledně technických údajů.