

Úvod do navrhování vozovek

Ing. Jan Zajíček

SENS 11

Návrhová metoda

Technicky správný a ekonomicky efektivní návrh vozovky je stejně důležitý, jako návrh jakéhokoliv jiného stavebního díla.

- ▶ **Poddimenzovaná vozovka sice nemá kam spadnout, ale vlivem provozu vozidel se začne rychle porušovat.**
- ▶ **Na druhé straně předimenzovaná konstrukce vozovky vede k ne hospodárnosti a plýtvání.**

Výstupem z návrhu vozovky je

- ▶ **určení typu a tloušťky všech konstrukčních vrstev tak, aby vozovka za předpokladu řádné údržby spolehlivě fungovala po celé návrhové období.**

Empirické metody

Návrh vozovky se provádí speciálním postupem, kterému se říká návrhová metoda.

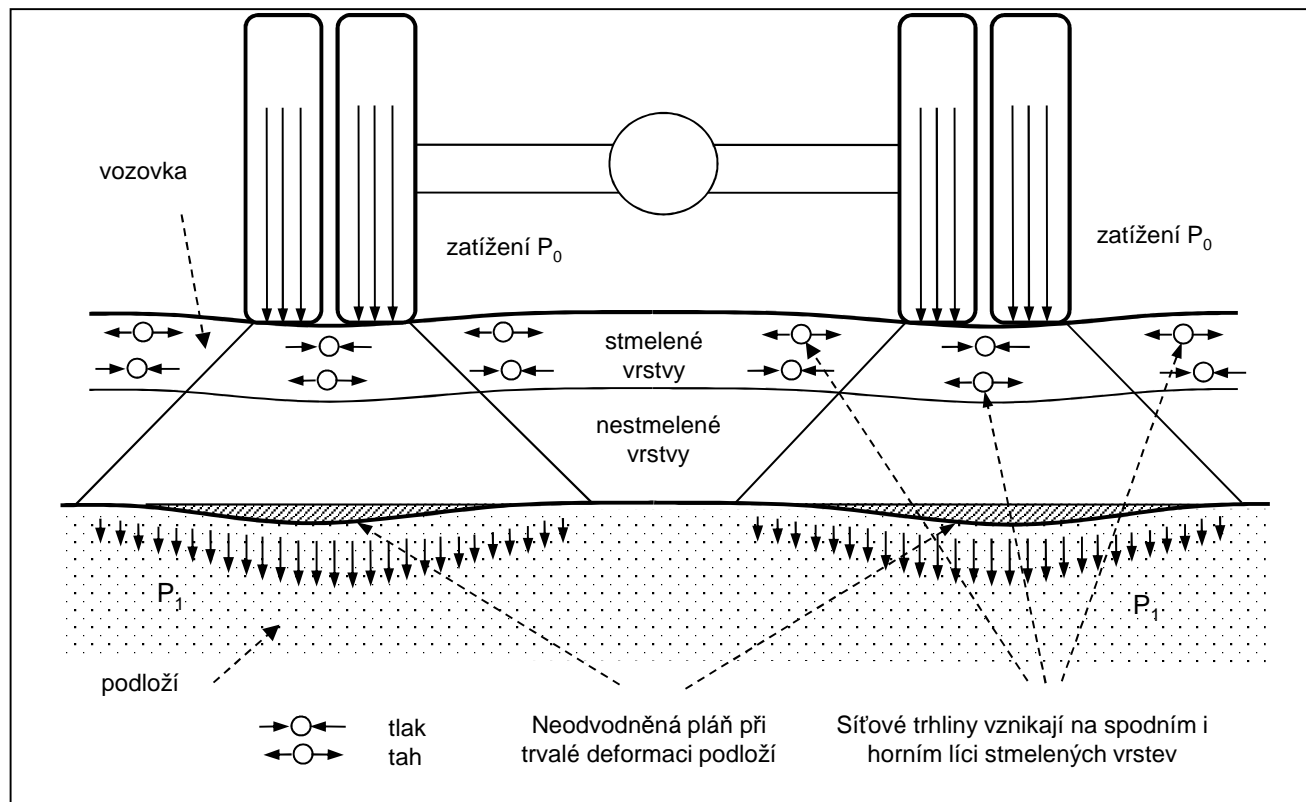
- ▶ První návrhové metody vznikly na základě zkušeností a experimentálních výsledků při sledování vztahů mezi
 - ▶ druhem a tloušťkou konstrukčních vrstev,
 - ▶ dopravním zatížením,
 - ▶ únosností podloží.
- ▶ Proto se jí říká empirické a byly založeny na práci s grafy, nomogramy nebo tabulkami.
- ▶ Empirické metody se již nepoužívají, rozvoj výpočetní techniky od 80. let minulého století umožnil vznik daleko efektivnějších metod analytických.

Analytické metody

Jsou založené na teorii vrstevnatého poloprostoru

- ▶ Modelují namáhání vrstev vozovky od dopravního zatížení a na základě známých únavových vlastností materiálů stmelených vrstev vyhodnotí jejich životnost.
- ▶ Je třeba vědět, že i analytické metody obsahují omezující předpoklady a četná zjednodušení a vypočtené výsledky nelze považovat za absolutní.
- ▶ Proto výpočetní model spolehlivě funguje jen v mezích, pro které je určen.
 - ▶ Různé experimentální výpočty není možné slepě přebírat a činit z nich závěry bez ověření v praxi.
 - ▶ Snadno se lze přesvědčit, že výpočtem lze dojít ke konstrukcím, které matematicky vyhoví, ale ve skutečnosti jsou nepoužitelné.

Analytické metody – princip modelu



1. Kritérium namáhání stmelených vrstev v tahu za ohybu *
2. Kritérium namáhání podloží v tlaku *

Analytické metody

Princip modelu

- ▶ Zatížení koly vozidel způsobuje při každém přejezdu průhyb vozovky.

Ve stmelených vrstvách vznikají opakovaná vodorovná napětí. Ta dříve nebo později zapříčiní porušení stmelených vrstev únavou a na povrchu vozovky se vytvoří síťové trhliny.



Analytické metody

Princip modelu

- ▶ Zatížení koly vozidel způsobuje při každém přejezdu průhyb vozovky.

Podobně působí zatížení na podloží, kde dojde ke kumulaci nepružných přetvoření a ve stopě vozidel vzniknou trvalé deformace.

Poznámka: Nezaměňovat s vyjetými kolejiemi v asfaltových vrstvách.



Vstupní údaje při návrhu vozovky

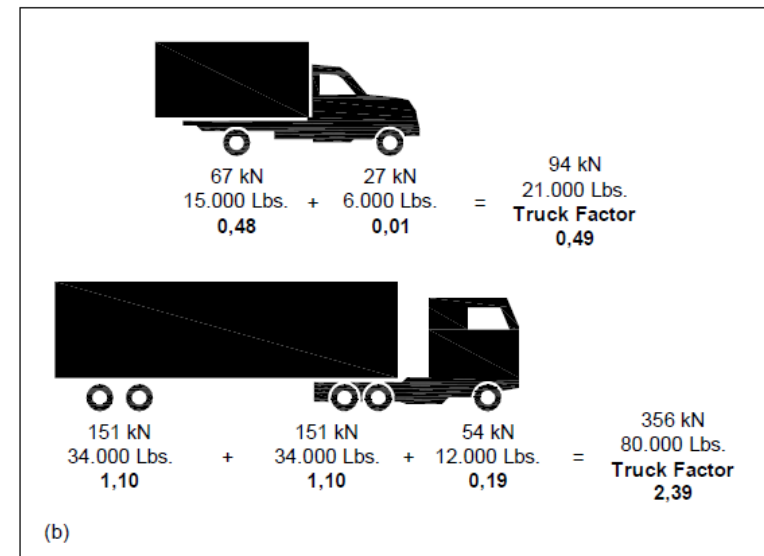
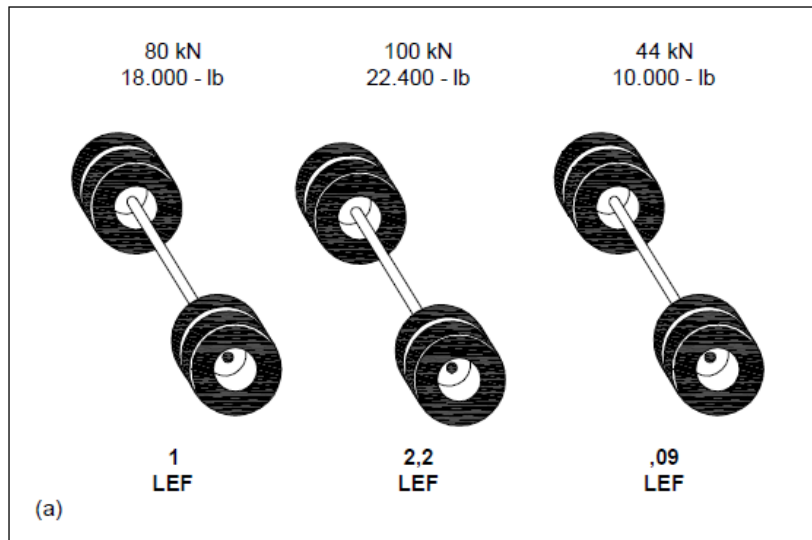
Dopravní zatížení

- ▶ Účinek každého vozidla na vozovku závisí na jeho hmotnosti, počtu náprav a jejich rozmístění.
- ▶ Zásadní vliv na porušování vozovky pak má množství přejezdů jednotlivých vozidel.
- ▶ Pro vyjádření vlivu všech typů vozidel vznikla myšlenka převést účinek počtu přejezdů těchto vozidel na účinek počtu přejezdů tzv. návrhové nápravy.
 - ▶ Parametry návrhové nápravy souvisejí s nejvyššími povolenými hmotnostmi náprav, v různých zemích se liší, ČR 100 kN, USA 80 kN, FR 130 kN.
 - ▶ Vztah přepočtu účinku přejezdu mezi nápravami o různé hmotnosti byl nejprve zjišťován empiricky.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní zatížení

- Porovnání účinků náprav o různých hmotnostech
(Thickness Design Manual Series No. 1., The Asphalt Institute, KY, USA)



LEF - Load Equivalency Factor

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní zatížení

- ▶ Pro představu – přejezd jedné nápravy o hmotnosti 10 t má přibližně stejný účinek jako
 - ▶ 2,5 přejezdů nápravy 8 t
 - ▶ 16 přejezdů nápravy 5 t
 - ▶ 125 přejezdů nápravy 3 t
- ▶ Naopak 1 přejezd nápravy o hmotnosti
 - ▶ 13 t je srovnatelný se 3 x 10 t
 - ▶ 15 t je srovnatelný s 5 x 10 t
- ▶ Rozhodující jsou těžká nákladní vozidla, různé dodávky a osobní automobily prakticky nemají žádný význam.
- ▶ Významný vliv má přetěžování vozidel.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní zatížení

- ▶ je zatížení způsobené přejezdy vozidel. Vyjadřuje se celkovým počtem přejezdů návrhové nápravy v nejvíce zatíženém jízdním pruhu za návrhové období.
- ▶ Zjišťuje se obvykle při dopravním průzkumu, kde se zaznamenají určité typy vozidel jako např.
 - ▶ Střední nákladní vozidla
 - ▶ Těžká nákladní vozidla
 - ▶ Návěsové soupravy
 - ▶ Autobusy
- ▶ Toto se pak přepočítá podle přepočtových koeficientů pro jednotlivé typy vozidel.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní zatížení podle TP 170

$$TNV_0 = 0,1 N1 + 0,9 N2 + PN2 + N3 + PN3 + 1,3 NS + A + PA \quad (\text{TP 170, B.4.3})$$

Další symboly jsou průměrné denní intenzity provozu:

N1	lehkých nákladních vozidel (užitečná hmotnost do 3 tun), vozidel/den;
N2	středních nákladních vozidel (užitečná hmotnost 3-10 tun), vozidel/den;
PN2	přívěsy středních nákladních vozidel, vozidel/den;
N3	těžkých nákladních vozidel (užitečná hmotnost nad 10 tun), vozidel/den;
PN3	přívěsů těžkých nákladních vozidel, vozidel/den;
NS	návěsových souprav, vozidel/den;
A	autobusů, vozidel/den;
PA	přívěsů autobusů, vozidel/den

- ▶ Dopravní zatížení se v ČR též vyjadřuje jako průměrná denní intenzita tzv. těžkých nákladních vozidel (TNV).
- ▶ Tento způsob se vztahem B.4.3 vyžaduje revizi.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní zatížení podle TP 170

- ▶ Počet přejezdů návrhové nápravy (N_{cd}) určuje vztah, který byl oproti TP 170 sloučením několika dílčích kroků pro lepší názornost upraven takto:

$$N_{cd} = C_1 \times C_2 \times C_3 \times C_4 \times TNV_k \times 365 \times t_d$$

- ▶ C_1 podíl TNV pro nejvíce zatížený jízdní pruh (1; 0,5; 0,45)
- ▶ C_2 fluktuace (rozptyl) stop vozidel (0,7; 1)
- ▶ C_3 součinitel vytíženosti vozidel (0,5; 0,7; 1)
- ▶ C_4 vliv rychlosti pohybu vozidel (1; 2)

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní zatížení

- Výsledky sčítání dopravy viz www.rsd.cz

Sčítání dopravy 2010 (sč.úsek: 6-1360)														... význam zkratek		
Roční průměr denních intenzit dopravy		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV	
RPDI - všechny dny	voz/den	2 652	923	293	189	232	2 436	161	0	0	0	6 886	24 104	61	31 051	
		LN	SN	SNP	TN	TNP	NSN	A	AK	TR	TRP	TV	O	M	SV	
RPDI - pracovní den (Po-Pá)	voz/den	3 279	1 141	370	234	293	3 076	189	0	0	0	8 582	24 717	54	33 353	
RPDI - volné dny (mimo svátky)	voz/den	1 084	377	101	77	80	836	91	0	0	0	2 646	22 571	78	25 295	
Hodinová intenzita dopravy												TV	SV			
Padesátirázová intenzita dopravy	voz/h											661	2 981			
Špičková hodinová intenzita dopravy	voz/h											651	2 565			
Těžká nákladní vozidla - TNV																
Hodnota TNV	voz/den														TNV	8 069
Intenzita dopravy pro hlukové a emisní výpočty												OA	NA	NS	Celkem	
Roční průměr intenzit, den (06-18)	voz/den											18 240	2 890	1 914	23 044	
Roční průměr intenzit, večer (18-22)	voz/den											4 326	530	521	5 377	
Roční průměr intenzit, noc (22-06)	voz/den											1 599	505	526	2 630	

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní zatížení

- ▶ V praxi se často dopravní zatížení dělí na třídy:

Třída dopravního zatížení	TNV_k
S	> 7 500
I	3 501 - 7 500
II	1 501 - 3 500
III	501 - 1 500
IV	101 - 500
V	15 - 100
VI	< 15

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Únosnost podloží

- ▶ Zatížení koly vozidel působí přes konstrukci vozovky na podloží, které se prohýbá.
- ▶ Požadavkem na podloží je, aby se prohýbalo jen velmi málo a aby průhyby byly pružné, tj. bez trvalých deformací.
- ▶ Únosnost podloží je schopnost podloží přenášet zatížení od vozovky; jeho základní charakteristikou je návrhový podul pružnosti E_d .
 - ▶ E_d lze přímo měřit pomocí triaxiálního přístroje.
 - ▶ Složitost měření E_d a působení různých vlivů jako je vlhkost, mráz a tání, velikost působícího napětí a způsob zatěžování vede k tomu, že přímé měření E_d se v praxi nepoužívá.
 - ▶ Používají se jednoduché nepřímé metody jako např. CBR.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Únosnost podloží

► Zkouška CBR

Podařilo se odvodit korelační vztahy mezi CBR a moduly pružnosti zemin, měřenými v triaxiálním přístroji.



Vstupní údaje při návrhu vozovky

Únosnost podloží – podle TP 170 – Dodatek

- ▶ **Stanovení pomocí CBR po sycení ve vodě po dobu 96 hod**
 - ▶ Bylo upuštěno od odvození vlhkosti na základě vodního režimu, voda se do podloží dostává i jiným způsobem než kapilárním vzlínáním
- ▶ **Stanovení pomocí zatřídění zeminy podloží**

Tabulka obsahuje dělení podloží z hlediska únosnosti do 3 typů, což je vhodné při práci s katalogem vozovek.

Pro informaci jsou uvedeny i hodnoty kontrolního modulu přetvárnosti E_{def2} .

Typ podloží	min. CBR ¹⁾	Zatřídění zeminy podloží podle klasifikace			Minimální kontrolní modul přetvárnosti E_{def2} ²⁾	Návrhový modul pružnosti E_d
		Vhodné	Podmínečně vhodné	Nevhodné (upravit vždy)		
P III	15 %	G-F, SW	S-F, MG, CG, MS, CS, SP, SM, SC, GP, GM, GC	ML, MI, MH, MV, CL, CI, CH, CV	45 30 ³⁾	50
P II	30 %	G-F, GW	–	–	60	80
P I	50 %	GW, kamenitá sypanina	–	–	90	120

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Únosnost podloží – několik poznámek

- ▶ Při správném postupu se o únosnosti podloží rozhoduje v době zpracování projektové dokumentace ještě před zahájením stavebních prací.
- ▶ Praxe však ukazuje, že na skutečný stav podloží se často přichází až při kontrolním měření zemní pláně statickou zatěžovací zkouškou (měření E_{def2}).
 - ▶ Je zvláštní, že v mnoha případech je toto považováno za standardní postup.
 - ▶ Příčinou nemusí být jen neznalost, zvláště když při projektování za nejnižší cenu je obvykle první „uspořenou“ položkou geotechnický průzkum.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Únosnost podloží – několik poznámek

- ▶ Návrhový modul pružnosti podloží E_d a statický modul přetvárnosti E_{def2} nelze zaměňovat.
- ▶ E_d reprezentuje chování podloží pod vozovkou za průměrných podmínek během doby životnosti vozovky. Je to dynamická veličina, která odpovídá napětí na povrchu podloží pod hotovou vozovkou a je o řád nižší, než napětí pod zatěžovací deskou při kontrole E_{def2} .
- ▶ E_{def2} je statickou kontrolní zkouškou vhodnosti použitého materiálu a jeho dostatečného zhutnění za podmínek během stavby.
- ▶ Mezi E_d a E_{def2} neexistuje žádná obecná korelace.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Únosnost podloží – několik poznámek

- ▶ Pokud je podloží neúnosné, tj. nesplňuje požadavky $\text{CBR} \geq 15 \%$ nebo podmínky vhodnosti podle klasifikace (podle ČSN 73 6133), musí se upravit nebo vyměnit.
- ▶ Účinnost úpravy nebo výměny zeminy podloží se řídí její tloušťkou (viz kap. 9, ČSN 73 6133), nikoliv regulací pevnostních parametrů upravené zeminy.
- ▶ Vliv neúnosného podloží též nelze kompenzovat zvyšováním pevnostních parametrů konstrukčních vrstev.
 - ▶ Nárůst pevnostních parametrů od podloží přes konstrukci vozovky musí být postupný, jinak se jakákoliv příliš „pevná“ vrstva umístěná, kam nepatří, vždy poláme (křehká deska na neúnosném podkladu).

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Únosnost podloží – několik poznámek

- ▶ **Málo účinné bývá použití různých výztužných prvků (geosyntetik) na zemní pláni nebo v konstrukci vozovky.**
 - ▶ Přetvoření vozovky a podloží vyvolaná zatížením od dopravy jsou malá a proto neumožňují docílit aktivaci potřebné tahové síly aby mohla výztuž působit.
 - ▶ Též si lze těžko představit spolupůsobení neúnosné zeminy, vykazující minimální vnitřní tření, s výztužným prvkem.
 - ▶ Geosyntetika se dobře uplatňuje při vyztužování zemních těles, kde jsou větší deformace a výztuž se může dostatečně napnout.
- ▶ **Stejně tak různé umělohmotné kapsy a oka, zabudovaná ve výztužném prvku nemohou snížit tlak na podloží.**

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Klimatické podmínky

- ▶ je třeba brát v úvahu z hlediska ochrany podloží vozovky před promrzáním.
- ▶ V závislosti na očekávané intenzitě a trvání období mrazu (index mrazu) se požaduje dostatečná tloušťka všech vrstev vozovky, která by podloží před promrzáním chránila.
- ▶ V běžných podmínkách není potřeba provádět žádná opatření a navrženou tloušťku vrstev z důvodu ochrany podloží před promrzáním dále zvyšovat.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Dopravní význam komunikace

- ▶ Při návrhu vozovky se přihlíží k jejímu dopravnímu významu, který obvykle souvisí s dopravním zatížením.
- ▶ U komunikace nižšího významu je možné na konci doby životnosti připustit větší rozsah konstrukčních poruch.
- ▶ Návrh významných komunikací musí být postaven více na straně bezpečnosti (dálnice, silnice I. tř.).
- ▶ Proto byla v ČR do návrhové metody spolehlivost návrhu zavedena pomocí tzv. návrhové úrovně porušení, která se značí D0, D1 a D2.
 - ▶ Přípustné množství konstrukčních poruch na konci návrhového období je pro $D0 \leq 1\%$, $D1 \leq 5\%$, $D2 \leq 25\%$.

Vstupní údaje při návrhu vozovky

Návrhové parametry konstrukčních vrstev

- ▶ **Základním návrhovým parametrem každé konstrukční vrstvy je její modul pružnosti a Poissonovo číslo.**
 - ▶ Čím je modul pružnosti vyšší, tím se vrstva při stejném zatížení méně deformuje (prohýbá).
- ▶ **Stmelené vrstvy z asfaltových směsí jsou dále charakterizovány parametry odolnosti proti únavě (opakovanému zatěžování).**

Návrh vozovky

Katalog vozovek

- ▶ Některé návrhové metody práci usnadňují tím, že předem spočítané konstrukce jsou přehledně uspořádány do katalogu vozovek.
- ▶ Katalogové listy obsahují konstrukce vozovek pro všechny třídy dopravního zatížení, různé typy podloží a obvykle používané typy konstrukčních vrstev.
 - ▶ Výhodou je snadné a rychlé provedení návrhu vozovky.
 - ▶ Nevýhodou je nepřesnost z hlediska zohlednění skutečného dopravního zatížení a omezený výběr typů konstrukčních vrstev.

Návrh vozovky

Ukázka katalogu vozovek podle TP 170

Při $v \leq 50$ km/h se musí vzít v úvahu, že koeficient $C_4 = 2$.

D1-N

TDZ	III	IV	V	VI
TNV_1 (TNV/24h)	1200	440	90	15
TNV_k (TNV/24h)	1500	500	100	15
TNV_{cd} (mil. TNV)	6.9	2.3	0.46	0.070
N_{cd} (mil. 10t náprav)	2.9	0.8	0.16	0.025

ACO, ACP, MZK, ŠD	Podloží	III		IV		V		VI	
		PII	PIII	PII	PIII	PII	PIII	PII	PIII
100		40 60 50	ACO 11+ ACL 16+ ACP 16+	40 80	ACO 11 ACP 16+	40 60	ACO 11 ACP 16+	40 60	ACO 11 ACP 16+
200		170	MZK	150	MZK	150	MZK	150	MZK
300		150	ŠD _A	150	ŠD _A	150	min. ŠD _B	150	min. ŠD _B
400		250	ŠD _A	200	ŠD _A	200	min. ŠD _B	200	min. ŠD _B
500			ŠD _A		ŠD _A		min. ŠD _B		min. ŠD _B
	Ha	150	150	120	120	100	100		
	Hv	470	570	420	470	400	450		

ACO, ACP, ŠD	Podloží	III		IV		V		VI	
		PII	PIII	PII	PIII	PII	PIII	PII	PIII
100		40 60 90	ACO 11+ ACL 16+ ACP 22+	40 60 50	ACO 11 ACL 16+ ACP 16+	40 70	ACO 11 ACP 16+	40 50	ACO 11 ACP 16+
200		250	ŠD _A	250	ŠD _A	200	ŠD _A	200	ŠD _A
300		200	ŠD _A	150	ŠD _A	150	min. ŠD _B	150	min. ŠD _B
400		150	ŠD _A	150	ŠD _A	150	min. ŠD _B	150	min. ŠD _B
500			ŠD _A		ŠD _A		min. ŠD _B		min. ŠD _B
	Ha	190	190	150	150	110	110	90	90
	Hv	440	540	400	450	310	410	290	390

D, MZ	Podloží	III		IV		V		VI	
		PII	PIII	PII	PIII	PII	PIII	PII	PIII
100		40 60 90	ACO 11+ ACL 16+ ACP 22+	40 60 50	ACO 11 ACL 16+ ACP 16+	40 70	ACO 11 ACP 16+	40 50	ACO 11 ACP 16+

Návrh vozovky

Výpočet pomocí programu LAYEPS

LayEps v4.2 - Ing. Jan Zajíček

Soubor Výpočty nápověda

1 2 3 4

Typ výpočtu 3 (default.kt3)

Název akce **test typ3** Spust **Typ 3**

Vrstvy	název	tloušťka	
	ACO +	40	[mm]
	ACL +	60	[mm]
	ACP +	50	[mm]
	MZK	150	[mm]
	SD	220	[mm]
			[mm]
			[mm]
			[mm]
			[mm]

Zatížení

Úroveň porušení: **D1**

Počet přejezdů TNVc: **6843750**

Počet zatěžovacích kol: **2**

Nestandardní zatížení

Poloměr: [mm]

Intenzita: [MPa]

Vzdálenost kol: [mm]

Rozvor: [mm]

Podloží

Typ: **P III**

Epodl. **50** [MPa]

Vodní režim: **pendulární**

Namrzavost: **nebezpečná**

Index mrazu: **450**

Součinitelé zatížení

C2: **0.70 pro ostatní kombinace**

C3: **0.70 podíl 20%-50% náprav nad 10t**

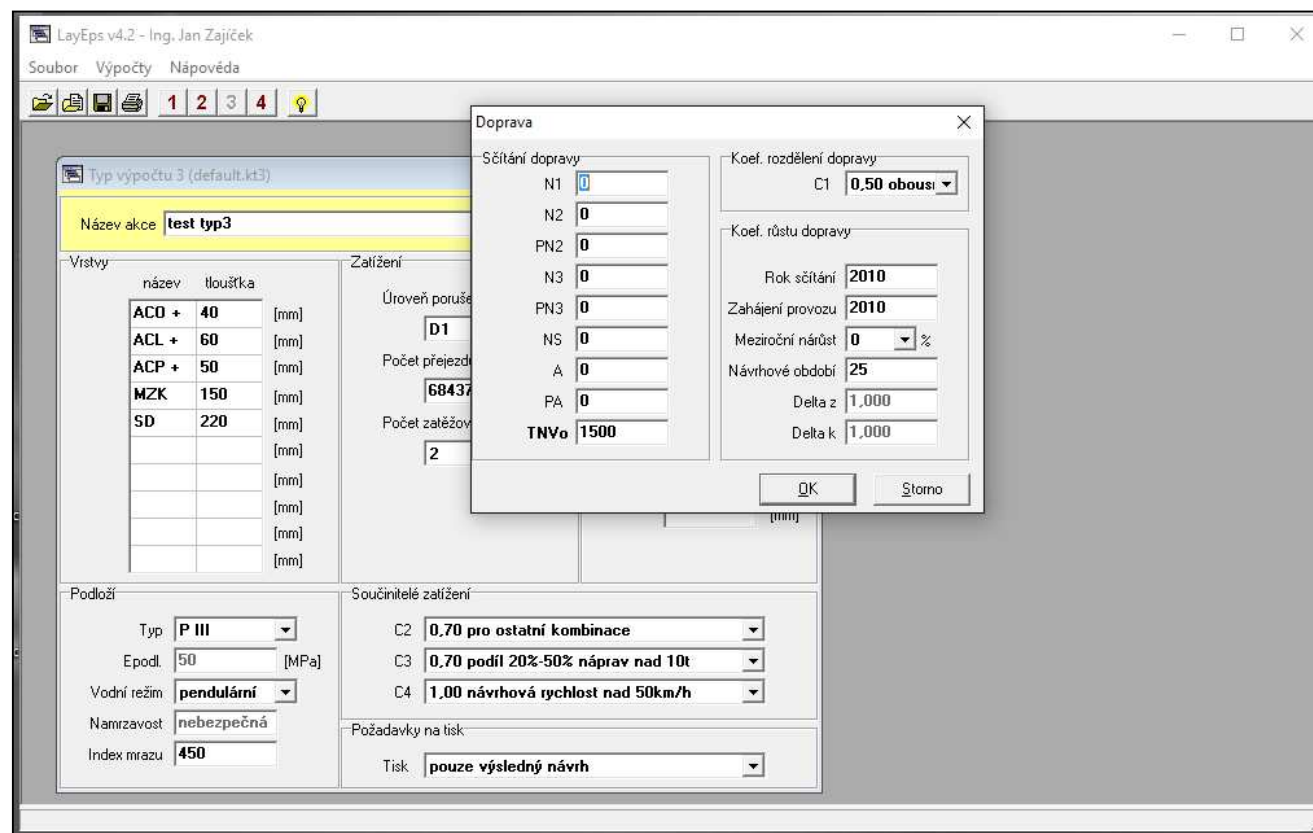
C4: **1.00 návrhová rychlost nad 50km/h**

Požadavky na tisk

Tisk: **pouze výsledný návrh**

Návrh vozovky

Výpočet pomocí programu LAYEPS



Návrh vozovky

Výpočet pomocí programu LAYEPS

$$D_{ij} = \frac{N_{ij}}{N_{ij,lim}} < 1$$

D_{ij} Poměrné porušení

N_{ij} Celkový (skutečný) počet opakování zatížení

$N_{ij,lim}$ Mezní (vypočtený) počet opakování zatížení

(test typ3) *

Uložit Tisknout Uložit do schránky

Posouzení vozovky : test typ3

Uroveň porušení	D1	počet kol	2
Návrhové období	25		
delta z	1.00	C1 = .50	poloměr otisku 120.3
delta k	1.00	C2 = .70	intenzita .55
TNVo	1500.	C3 = .70	vzdálenost kol 344.0
TNVc	6843750.	C4 = 1.00	

Vrstvy :	čís.	materiál	tl.	spolupús.	poměrné porušení
	1	ACO +	40.	.000	.0000
	2	ACL +	60.	.000	.0024
	3	ACP +	50.	.000	.5864
	4	MZK	150.	.000	.0000
	5	SD	220.	.000	.0000
		celkem	520.		
				min. tl.	380.

Podloží :	modul střední	50.	poměrné porušení	.8378
	modul jarní	50.		

index mrazu	450.
režim pendulární	
nebezpečně namrzavé	

DĚKUJI ZA POZORNOST

**Ing. Jan Zajíček
jzajicek@volny.cz
tel. 602 515 105**