

# PODKLADNÍ VRSTVY A PODLOŽÍ VOZOVEK

## DIMENZOVANIE STMELENEJ PODKLADOVEJ VRSTVY PRE MIMORIADNE ZAŤAŽENÉ DOPRAVNÉ POLOCHY INTERMODÁLNYCH TERMINÁLOV

Ing. Zsolt Boros, Ing. Filip Buček, Ing. Maroš Halaj

TPA Spoločnosť pre zabezpečenie kvality a inovácie s. r. o., Bratislava

Datum 28.11.2018

SDRUŽENÍ  
PRO VÝSTAVBU  
SILNIC



# OBSAH

- 1. Motivácia**
- 2. Referencie**
- 3. Vozovky pre nadmerne zaťažené plochy**
- 4. Prednosti vozovky zo zámkovej dlažby**
- 5. Zásady dimenzovania**
- 6. Zaťaženie vozovky**
- 7. Konštrukcia vozovky**
- 8. Návrh a posúdenie podkladovej vrstvy**
- 9. Záver**

## Motivácia



# Motivácia



# Motivácia

16th – 19th October 2018; Seoul, South Korea



**12**th International Conference on  
Concrete Block Pavement

# Referencie

December 2008

Uniclass L534



# PIANC

Report n° 165 - 2015



## DESIGN AND MAINTENANCE OF CONTAINER TERMINAL PAVEMENTS

The World Association for Waterborne Transport Infrastructure

## Heavy duty pavements

THE STRUCTURAL DESIGN OF HEAVY DUTY PAVEMENTS FOR PORTS AND OTHER INDUSTRIES

EDITION 4



[www.paving.org.uk](http://www.paving.org.uk)

## INDUSTRIAL PAVEMENT WITH CONCRETE PAVERS

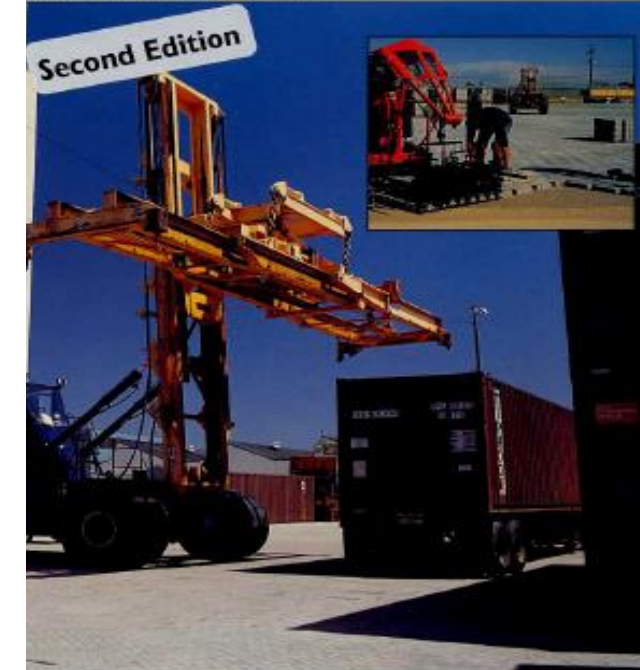
Comprehensive Guide

David R. Smith, PhD., Edited by David R. Smith

INDUSTRIAL AREAS, BULK AND CONTAINER PORTS

SPECIFICATIONS • CONSTRUCTION

ESTIMATE COSTS • MAINTENANCE



# Konštrukcie vozoviek pre nadmerne zaťažené plochy:

**Cementobetónový kryt**

**Kryt zo zámkovej dlažby**

**Kryt z asfaltových zmesí**

**Kryt z asfaltocementového betónu**

# **Prednosti vozovky s krytom zo zámkovej dlažby:**

**Odolnosť proti veľkému statickému zaťaženiu**

**Odolnosť proti vodorovnému (pozdĺžnemu) zaťaženiu**

**Ľahký prístup k podzemným inžinierskym sieťam**

**Jednoduché nahradenie zlomených kusov dlažby**

**Vysoká odolnosť proti oteru od pneumatík a pásových vozidiel**

**Rýchla drenáž vďaka skoseným spojom**

**Celková odolnosť proti hydraulickým olejom**

**Integrované vodorovné značenie**

**Vysoká odolnosť proti rozmrazovacím soliam**



# **Prednosti vozovky s krytom zo zámkovej dlažby:**

**Nízka doba výstavby vďaka mechanizovanej pokládke**

**Možnosť okamžitého spustenia dopravy po pokládke**

**Zmena polohy s dosadnutým podkladom bez vzniku trhlín pri zachovaní stálej prevádzkyschopnosti vozovky**

**Prevádzkyschopnosť aj za výskytu podstatne vyššej miery trvalých deformácií ako iné typy konštrukcií vozoviek**

# Všeobecné zásady dimenzovania

1. Uvažovanie zámkovej dlažby do celkovej únosnosti
2. Dopravné zaťaženie: cca 10 x väčšie ako pri NV
3. Veľké statické zaťaženie od kontajnerov
4. Vplyv zaťaženia na podklad a podložie
5. Uvažovanie celkového vplyvu vozidla (všetky kolesá)
6. Dynamické účinky od dopravného prostriedku
7. Konštrukčné a technologické zásady
8. Spôsob pokládky

# Zaťaženie vozovky

**Dopravným zariadením na manipuláciu s kontajnermi typu „Reach Stacker“**

**Kontajnermi pôdorysne uloženými do blokového usporiadania**

# Zaťaženie vozovky

## Zaťaženie vozovky od vozidiel typu Reach Stacker

Počet prejazdov vozidiel typu Reach Stacker počas doby životnosti vozovky:

$$180 \times 365 \times 25 = 1\ 642\ 500 \text{ prejazdov}$$



# Zaťaženie vozovky

## Zaťaženie vozovky od vozidiel typu Reach Stacker

Určenie návrhovej nápravy:

Predpokladaný typ vozidla Reach Stacker: KRONE SMV 4545  
CB5 (CBX5)

Hmotnosť prázdneho dopravného zariadenia:	110t
Maximálna hmotnosť kontajnera:	45 t

# Zaťaženie vozovky

## Zaťaženie vozovky od vozidiel typu Reach Stacker

Výpočtové parametre návrhovej nápravy s hmotnosťou 110t (predná náprava):

$$2P = 1100 \text{ kN}$$

$$P = 550 \text{ kN}$$

$$a = 4,18 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$p = 1,00 \text{ MPa}$$

Výpočtové parametre nápravy s hmotnosťou 45t (zadná náprava):

$$2P = 450 \text{ kN}$$

$$P = 225 \text{ kN}$$

$$a = 2,676 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

$$p = 1,00 \text{ MPa}$$

# Zaťaženie vozovky

## Zaťaženie vozovky od vozidiel typu Reach Stacker

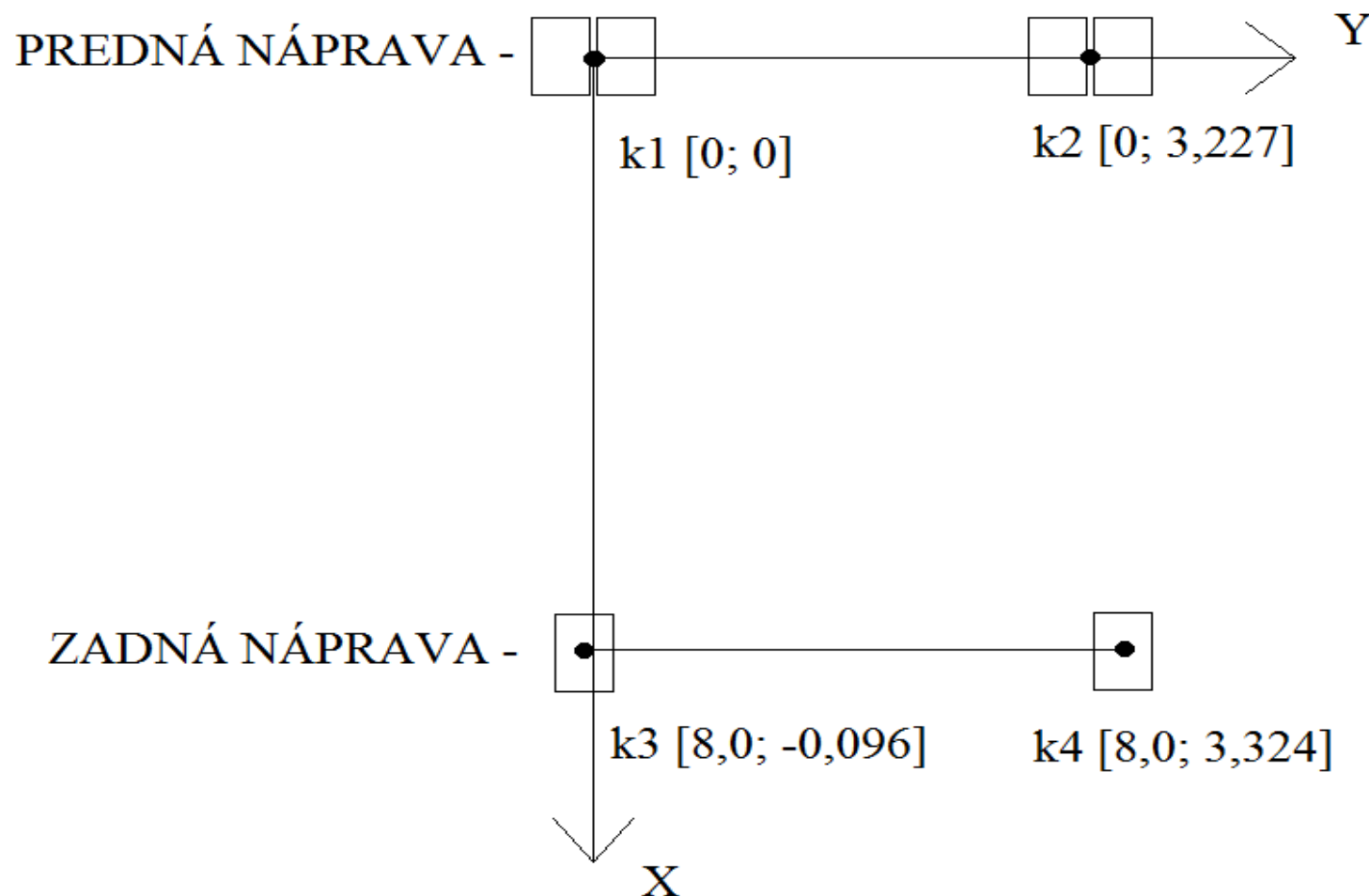
Rozloženie zaťaženia na nápravy vozidlo Reach Stacker počas transportu plne naloženého kontajnera:

Predná náprava (zdvojené koleso)	110 t	1100 kN
Zadná náprava (jednoduché koleso)	45 t	450 kN
Hustenie pneumatík	1,00 MPa	

# Zaťaženie vozovky

## Zaťaženie vozovky od vozidiel typu Reach Stacker

### Schéma usporiadania náprav [m]:





# Zaťaženie vozovky

## Zaťaženie vozovky od kontajnerov

Určenie zaťaženia:

Typ Kontajnera: štandardný intermodálny dopravný kontajner o dĺžke 12 m "*(standard) intermodal freight container*" 40-ft-long

Max. hmotnosť naloženého kontajnera: 30,48 t 304800 N

Rozmery stopy (úložnej plochy) kontajnera: **178 x 162** mm

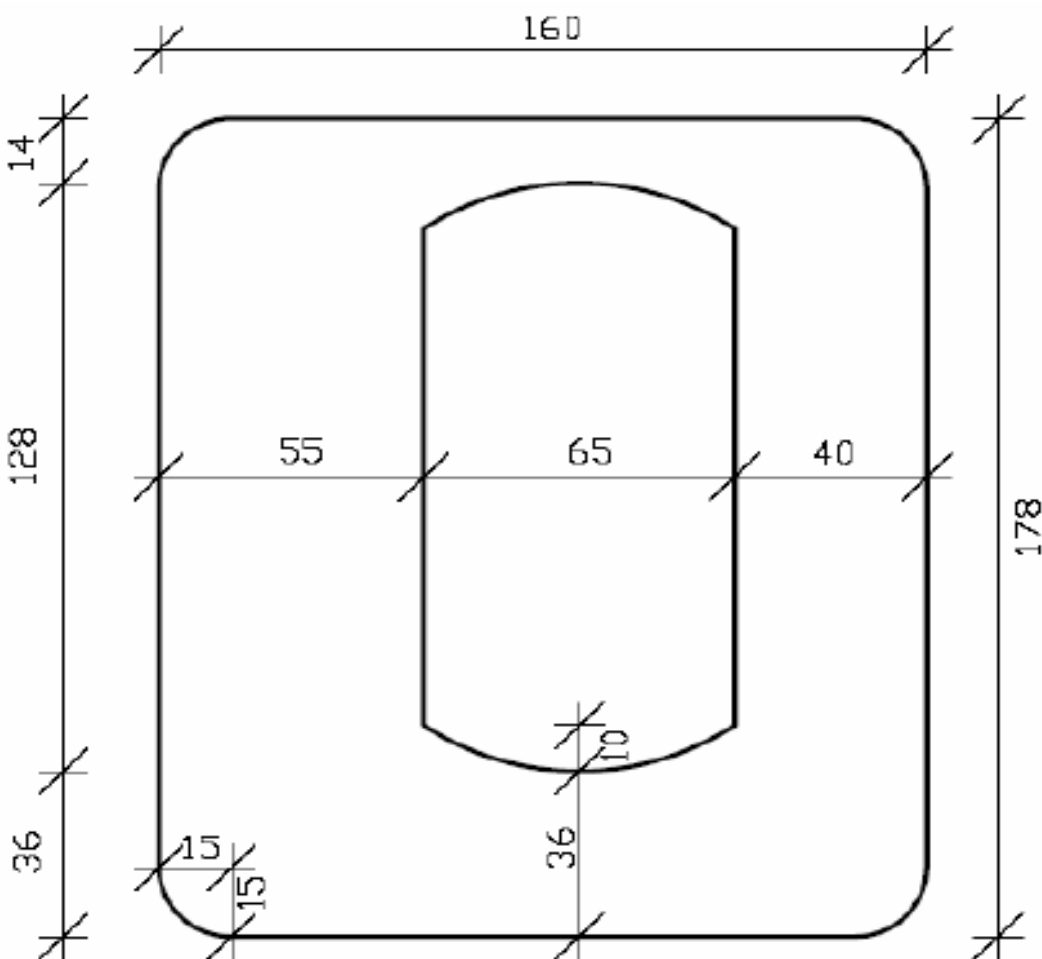
Kontaktná plocha úložnej stopy kontajnera: 20384 mm<sup>2</sup>

Kontaktná plocha úložnej stopy kontajnera v blokovom usporiadaní:  
81536 mm<sup>2</sup>

# Zaťaženie vozovky

## Zaťaženie vozovky od kontajnerov

Pôdorys stopy (úložnej plochy) kontajnera:



# Návrh podkladovej vrstvy

## Charakteristiky materiálov použitých vo výpočte reakcií konštrukcie vozovky na výpočtové zaťaženie

Charakteristiky materiálov použitých vo výpočte v manuály:

Layer	Elastic Modulus, E (N/mm <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio
Surfacing (CBP)	4,000	0.15
Base (C <sub>8/10</sub> )	40,000	0.15
Unbound sub-base	500	0.30
Unbound capping	250	0.35
Subgrade	10 x CBR	0.40

# Návrh podkladovej vrstvy

## Charakteristiky materiálov použitých vo výpočte reakcií konštrukcie vozovky na výpočtové zaťaženie

Charakteristiky materiálov použitých v našom výpočte:

Betónové dlažobné tvarovky	$E = 4000 \text{ MPa}$	$\mu = 0,15$
Podklad CBGM $C_{8/10}$	$E = 25000 \text{ MPa}$	$\mu = 0,15$
Podklad nestmelený ŠD	$E = 500 \text{ MPa}$	$\mu = 0,30$
Teleso násypu	$E = 300 \text{ MPa}$	$\mu = 0,35$
Podložie	$E = 200 \text{ MPa}$	$\mu = 0,30$

# Návrh podkladovej vrstvy

## URČENIE HRÚBKY PODKLADOVEJ VRSTVY

Určenie hrúbky podkladovej vrstvy CBGM  $C_{8/10}$  od zaťaženia vozidlom typu Reach Stacker

Určenie faktoru blízkosti kolies (Wheel proximity factor)

Určenie dynamických účinkov

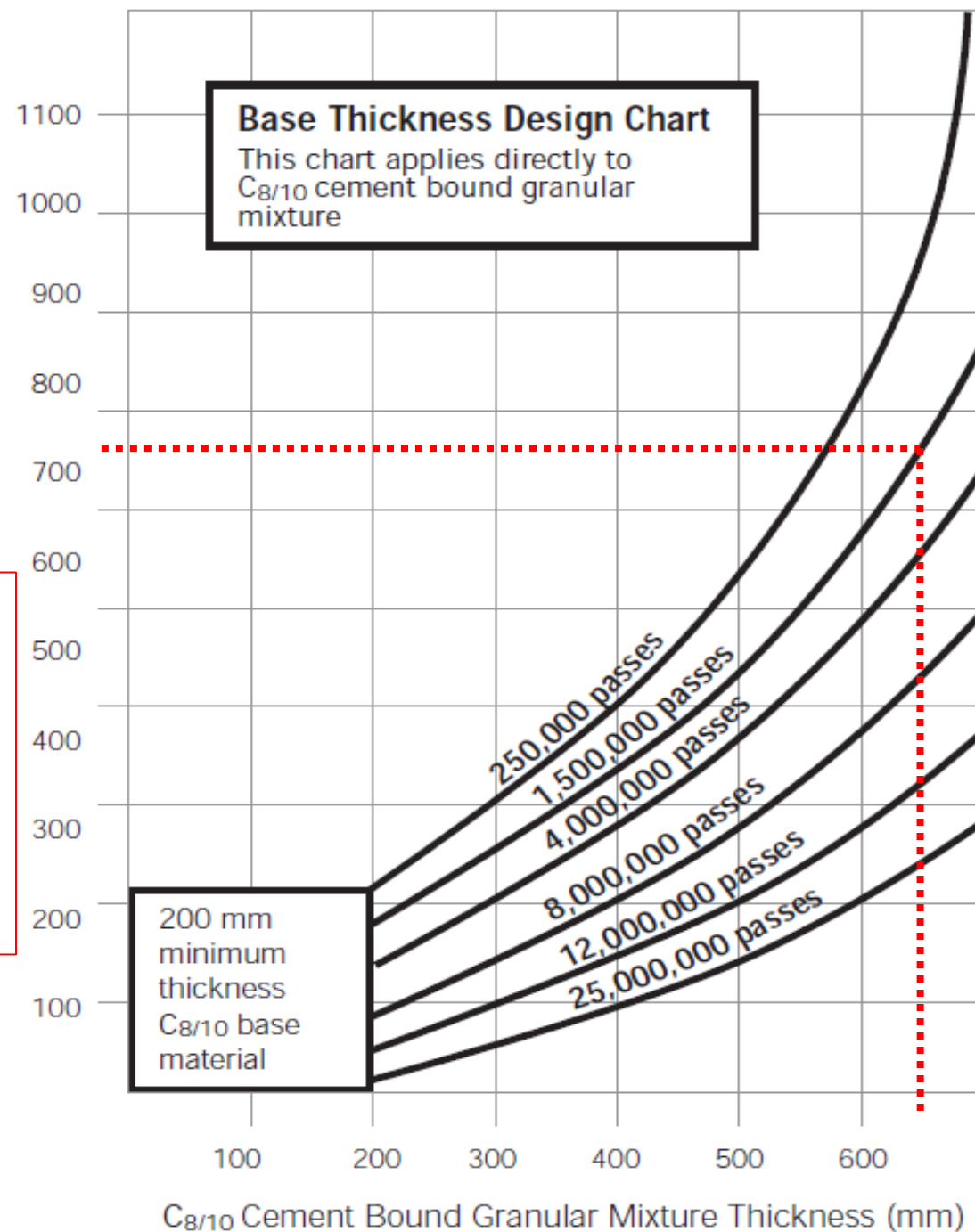
# Návrh podkladovej vrstvy

## URČENIE HRÚBKY PODKLA

Určenie hrúbky podkladovej vrstvy vozidlom typu Reach Stacker

Návrh hrúbky C8/10 od SEWL a p

Hrúbka hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy CBGM C<sub>8/10</sub> pre celkový počet prejazdov na návrhové obdobie celej životnosti vozovky (1 642 500 prejazdov) bude pre parameter únosnosti podložia CBR 20% = **650 mm**



# Návrh podkladovej vrstvy

## URČENIE HRÚBKY PODKLADOVEJ VRSTVY

Určenie hrúbky podkladovej vrstvy CBGM  $C_{8/10}$  od statického zaťaženia kontajnermi

Určenie tiaže od stojacích stohovaných kontajnerov

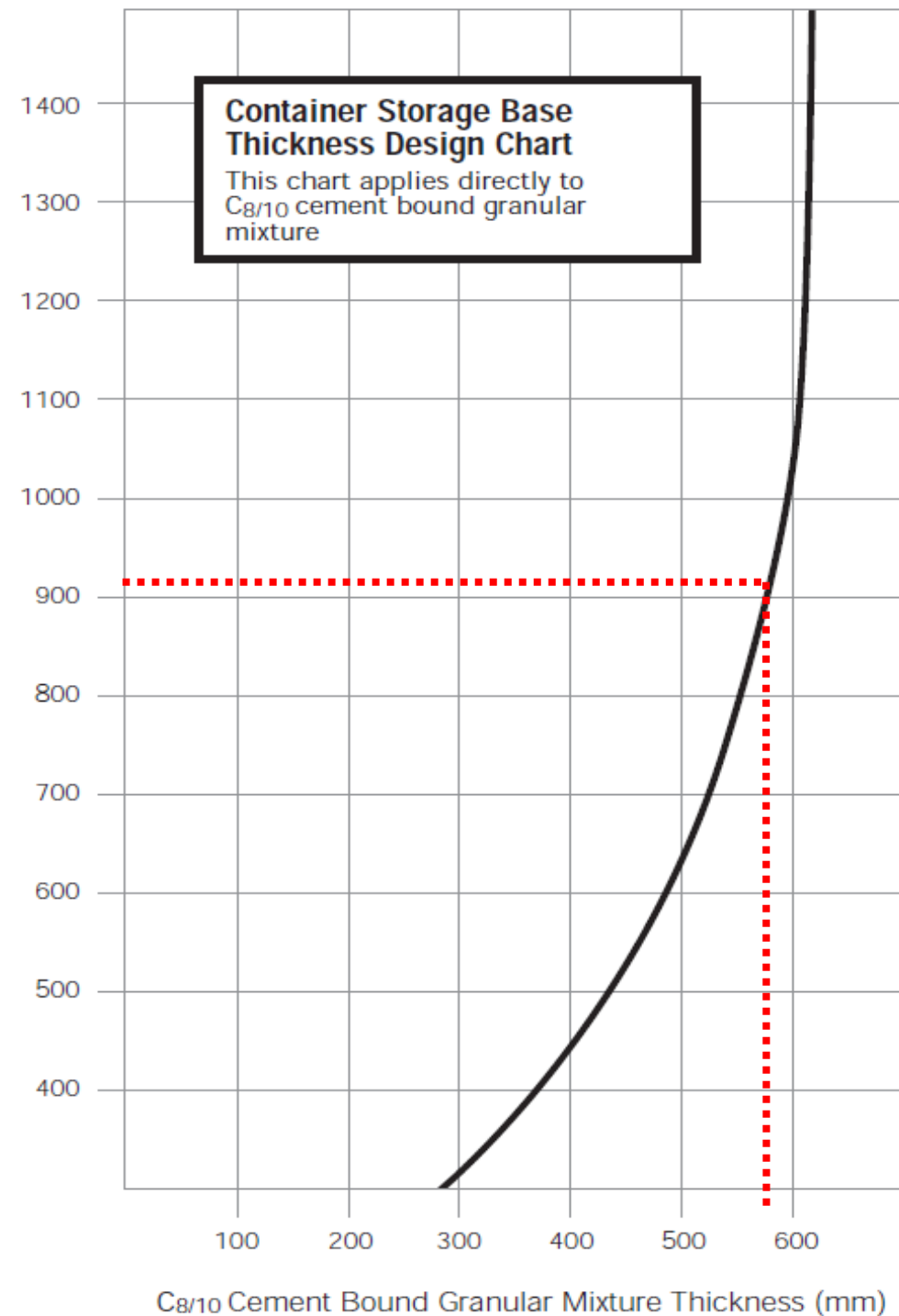
# Návrh podkladovej vrstvy

## URČENIE HRÚBKY PODKLADOV

Určenie hrúbky podkladovej vrstvy C od zaťaženia kontajnermi

Návrh hrúbky C8/10 od zaťaženia ko

Hrúbka hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy CBGM C<sub>8/10</sub> bude pre statické zaťaženie na vozovku od kontajnerov v mieste uloženia v blokovom usporiadaní (4 rohy 4. kontajnerov, max. výška stohovania: 5 kontajnerov na sebe) = **590 mm**





# Návrh podkladovej vrstvy

## URČENIE HRÚBKY PODKLADOVEJ VRSTVY

Na základe manuálu podľa návrhových grafov a stanoveného zaťaženia od vozidla typu Reach Stacker a od kombinácie kontajnerov boli stanovené hrúbky podkladovej vrstvy CBGM  $C_{8/10}$ , z čoho je zrejmé, že zaťaženie vozidlom typu Reach Stacker ( $h = 650$  mm) je nepriaznivejšie ako od kombinácie kontajnerov ( $h = 590$  mm).

Pre konštrukciu vozovky volíme hrúbku hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy CBGM  $C_{8/10}$   $h = 650$  mm.

# Konštrukcia vozovky

Betónové dlažobné tvarovky; systém „UNI-Coloc“	hr = 100 mm
Drvené kamenivo 0/4; STN EN 13242	hr = 30 mm
CBGM C <sub>8/10</sub> , STN 73 6124-1 (v štyroch vrstvách)	hr = 650 mm
<u>UM ŠD; 0/63; Gc STN 73 6126</u>	<u>hr = 150 mm</u>

Teleso násypu zo zeminy charakteru G3 G-F	hr = 1100 mm
Pláň násypu ( $E_{DEF,2} \geq 90$ MPa; $E_{DEF,2} / E_{DEF,1} \leq 2,5$ )	
Geodoska z UM ŠD 0/63 + 2 x geomreža	hr = 900 mm
<u>Piloty typu Augeo</u>	

***Celková hrúbka vozovky:*** ***hr = 930 mm***

# Posúdenie podkladovej vrstvy

Posúdenie vhodnosti konštrukcie vozovky dopravnej plochy podľa spočívajú vo výbere hrúbok vrstvy hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy CBGM C<sub>8/10</sub> na základe definovaného postupu výpočtu zaťaženia a určenia hrúbok tejto vrstvy podľa návrhových nomogramov (Design Charts), čo bolo urobené.

Ďalšie resp. iné posúdenie v manuály nie je uvedené.

# Posúdenie podkladovej vrstvy

Pre posúdenie únavovej životnosti sme použili postup uvedený v inej práci takisto od prof. Knaptona

Pre posúdenie dovoleného priehybu na povrchu konštrukcie sme urobili výpočet pomerných deformácií a napätí pomocou výpočtového programu BISAR® a urobili porovnanie s požadovanou limitnou hodnotou.

Pre posúdenie časti plochy zaťaženej stohovanými kontajnermi sme opäť použili výpočet pomerných deformácií a napätí pomocou výpočtového programu BISAR® a urobili porovnanie s pevnosťou hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy CBGM  $C_{8/10}$  v prostom tlaku.

# Posúdenie na únavovú životnosť

Posúdenie návrhu vozovky je urobené podľa postupu, ktorého autorom je prof. Knapton a kol.

Na základe výpočtov, kde boli uvažované nižšie hodnoty modulov pružností nestmelených vrstiev a podložia ako je v našom prípade, sme vybrali hrúbky cementom stmelených vrstiev z nomogramov získaných výpočtom MKP.

Preto sa posúdenie vzťahuje na stabilitu cementom stmelenej vrstvy

V práci prof. Knaptona sú uvedené jednak **limitné hodnoty napätí v spodnom vlákne** hydraulicky stmelenej vrstvy a jednak vzťah na posúdenie únavy tejto vrstvy od počtu **opakovaného namáhania**

# Posúdenie na únavovú životnosť

US Portland Cement Association (Americká asociácia portlandského cementu) odporúča nasledujúci vzťah na výpočet charakteristickej pevnosti **v ťahu za ohybu** (modul pevnosti v ohybe) v závislosti od pevnosti v tlaku pre hydraulicky stmelené materiály:

$$F = 0,74 \times \sqrt{C}$$

**F** – pevnosť v ťahu za ohybu [MPa]

**C** – pevnosť v tlaku [MPa]

Odtiaľ dostaneme charakteristickú pevnosť v ťahu za ohybu v prípade pevnosti v tlaku  $C = 10$  MPa, čo činí 2,34 MPa.

# Posúdenie na únavovú životnosť

Z pomeru pevnosti v ťahu za ohybu a napätím v ťahu za ohybu (vypočítaná hodnota zo softvéru BISAR®; úplná schéma usporiadania náprav vozidla typu Reach Stacker) môžeme vypočítať navrhovaný počet prejazdov počas životnosti vozovky, resp. na navrhovaný počet prejazdov môžeme určiť limitné napätie v ťahu za ohybu podľa vzťahu:

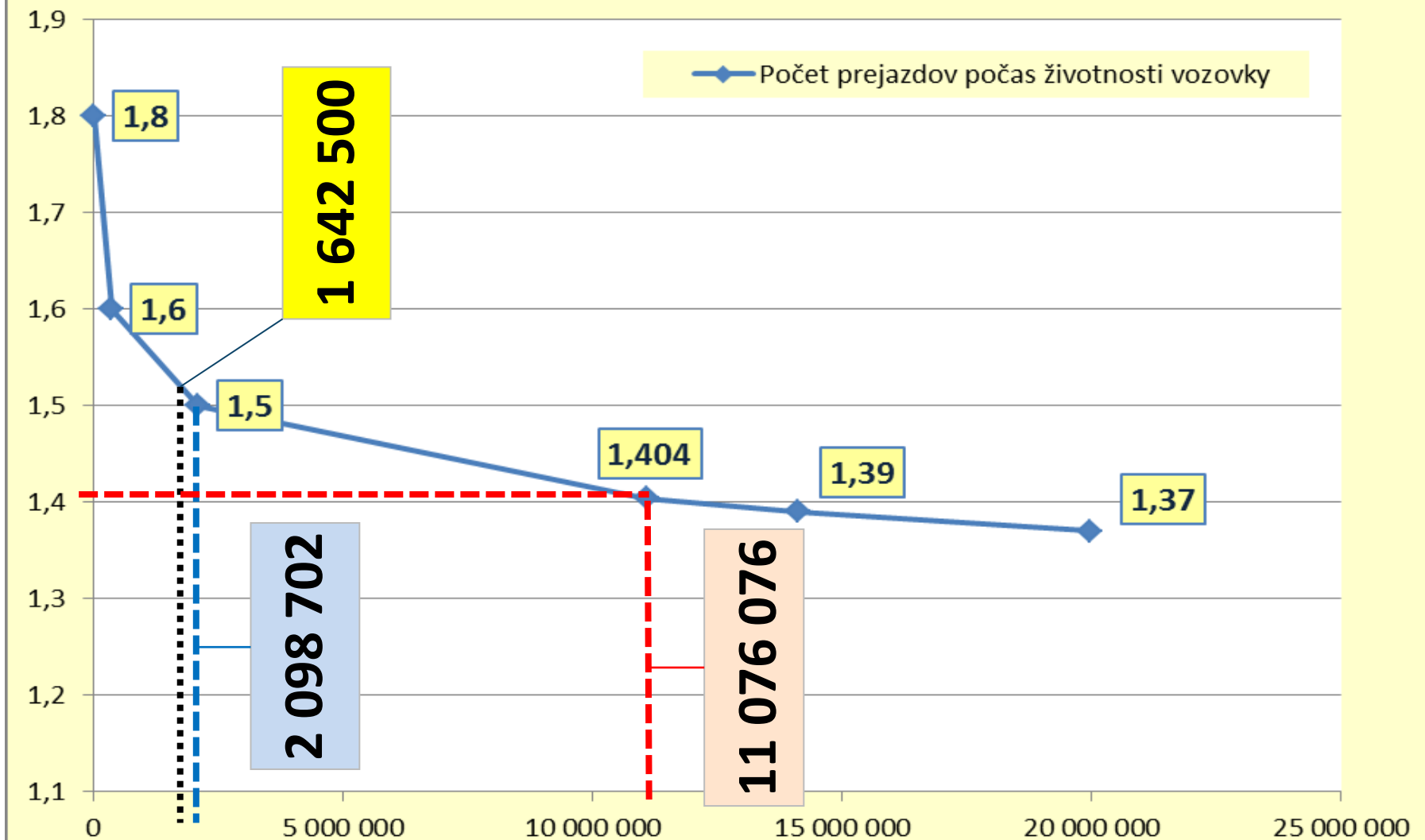
$$\text{Log } N = 17,61 - 17,61 \times R$$

**R** – pomer napätia a pevnosti v ťahu za ohybu

**N** – navrhovaný počet prejazdov počas životnosti vozovky

# Posúdenie na únavovú životnosť

## Počet prejazdov počas životnosti vozovky





# Posúdenie na únavovú životnosť

## Limitné napätie v ťahu za ohybu pri rôznom počte prejazdov

NO. OF REPETITIONS	RATIO OF FLEXURAL STRESS TO FLEXURAL STRENGTH	ALLOWABLE FLEXURAL STRESS (MPA)
100	0.89	2.05
15,000	0.76	1.75
150,000	0.71	1.63
1,500,000	0.65	1.50
4,000,000	0.63	1.45
8,000,000	0.61	1.40
12,000,000	0.60	1.38

# Posúdenie na únavovú životnosť

Pre konštrukciu vozovky je radiálne napätie vypočítané na spodnom vlákne hydraulicky stmelenej vrstvy 1,265 MPa. Charakteristická pevnosť v ťahu za ohybu pre triedu pevnosti v tlaku C = 10 MPa je 2,34 MPa. Pre počet opakovaného zaťaženia  $N = 5$  mil. je odporúčané limitné napätie v ťahu za ohybu je 1,5 MPa.

**1,265 MPa < 1,5 MPa < 2,34 MPa**  
**Návrh vyhovuje!**

# Posúdenie na dovolený priehyb

Posúdenie dovoleného priehybu na povrchu konštrukcie je urobený pomocou výpočtu pomerných deformácií a napätí pomocou výpočtového programu BISAR® a porovnaním dovoleného priehybu konštrukcie vozovky.

**Pre konštrukciu vozovky je zvislá deformácia vypočítané na povrchu zámkovej dlažby  $UZ = 1,06 \text{ mm}$ . Zmluvne definovaná limitná zvislá deformácia je  $12 \text{ mm}$ .**

**$1,06 \text{ mm} < 12 \text{ mm}$ ; Návrh vyhovuje!**

# Posúdenie na pevnosť v tlaku od zostavy kontajnerov

Posúdenie časti plochy zaťaženej stohovanými kontajnermi v blokovej zostave na sústredený tlak je urobený pomocou výpočtu pomerných deformácií a napätí pomocou výpočtového programu BISAR® a porovnaním pevnosti hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy CBGM C<sub>8/10</sub> v prostom tlaku.

**Pre konštrukciu vozovky je zvislé napätie vypočítané na povrchu hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy 7,814 MPa. Charakteristická pevnosť hydraulicky stmelenej podkladovej vrstvy CBGM C8/10 v prostom tlaku je 10 MPa**

**7,814 MPa < 10 MPa; Návrh vyhovuje!**

# Záver

**V prípade návrhu terminálov treba očakávať nadmerné dopravné aj statické zaťaženia od skladovaného materiálu.**

**Dané zaťaženie má vplyv do výrazne väčších hĺbok podložia v porovnaní s diaľničnými vozovkami. Je preto nevyhnutné urobiť geotechnické výpočty sadania podložia a tomu zodpovedajúc navrhnuť opatrenia.**

**Vozovka s obrusnou vrstvou zo zámkovej dlažby je v povedomí pomerne nezvyčajným riešením, ktoré však má svoje kľúčové miesta, ktoré keď sa zanedbajú, riešenie vedie k neúspechu. Detailným naštudovaním problematiky v teame TPA sa nám podarilo premietnuť do návrhu všetky tieto neuralgické body.**

# Záver

**O vhodnosti uvedeného riešenia nás presvedčili najmä pozitívne príklady z praxe.**

# Presvedčivé referencie



# Presvedčivé referencie





# Presvedčivé referencie



# Presvedčivé referencie



# Presvedčivé referencie



# Presvedčivé referencie





**KONIEC ?**

**TEAMS WORK.**



**TPA SPOLOČNOSŤ PRE ZABEZPEČENIE KVALITY  
A INOVÁCIE**

