

Závěrečná výzkumná zpráva projektu

Název projektu: **Diagramy pro návrh tloušťky podkladní konstrukční vrstvy stabilizačních systémů štěrkových a travních povrchů**

Program: Inovační vouchery – Výzva IV

Trvání projektu: 1.4.2020 – 28.2.2021

Řešitel: Ústav geotechniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně

1. Identifikační údaje

Objednatel:	Čegan s.r.o. Husova 1693/35 66451, Šlapanice IČ: 26274744/ DIČ: CZ0026274744
Odpovědný řešitel:	Ing. et Ing. Jan Štefaňák, Ph.D.
Spolupracovali:	doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D. Bc. Adam Vašina
Pracoviště:	Ústav geotechniky Fakulta stavební Vysoké učení technické v Brně Veveří 331/95 602 00 Brno IČ: 00216305 / DIČ: CZ 00216305
Zpracováno dne:	Brno, 20.2. 2021

Ing. et Ing. Jan Štefaňák, Ph.D.
odpovědný řešitel

doc. Ing. Lumír Miča, Ph.D.
vedoucí Ústavu geotechniky

Obsah

Závěrečná výzkumná zpráva projektu	1
1. Identifikační údaje	2
Obsah.....	3
2. Použité podklady, literární zdroje	4
3. Předmět zprávy	6
4. Metodika návrhu tloušťky k-ční vrstvy	6
5. Návrhové diagramy pro návrh tloušťky konstrukční vrstvy stabilizačního systému	9
5.1. Stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOSTEN.....	10
5.2. Stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOBI.....	11
5.3. Stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOSTEN	12
5.4. Stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOBI.....	13
5.5. Stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě ECO-oh!	14
5.6. Rozšířené návrhové diagramy pro podloží s deformačním modulem do 80 MPa	15
6. Závěr	16
7. Přílohy.....	17
7.1. Doporučené mezní křivky zrnitosti materiálu konstrukční vrstvy	18
7.2. Charakteristické vlastnosti zemin v podloží pro návrh tloušťky konstrukční vrstvy	19
7.3. Pomůcka pro stanovení deformačního modulu podloží pomocí zkoušky DCP	20
7.4. Schéma lehké dynamické penetrační sondy DCP.....	21

2. Použité podklady, literární zdroje

- [1] ŠTEFAŇÁK, Jan, Lumír MIČA a Adam VAŠINA. *Dílčí výzkumná zpráva projektu: Diagramy pro návrh tloušťky podkladní konstrukční vrstvy stabilizačních systémů šterkových a travních povrchů*. Brno: Ústav geotechniky, Fakulta stavební, Vysoké učení technické v Brně, 2020.
- [2] DODATEK TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací - Technické podmínky, Dodatek*. Praha: MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY, 2010.
- [3] ČSN 72 1006. *Kontrola zhutnění zemin a sypanin*. Červen 2015. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [4] ASTM D6951/D6951M - 09. *Standard Test Method for Use of the Dynamic Cone Penetrometer in Shallow Pavement Applications*. West Conshohocken, PA 19428-2959. United States: ASTM International, 2015.
- [5] ČSN EN ISO 22476-2 ZMĚNA A1. *Geotechnický průzkum a zkoušení - Terénní zkoušky: Část 2: Dynamická penetrační zkouška*. Praha: ÚNMZ Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
- [6] ČSN 72 1016 (721016). *Laboratorní stanovení poměru únosnosti zemin (CBR)*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [7] TP-76. *Geotechnický průzkum pro pozemní komunikace: Část A - Zásady geotechnického průzkumu*. Ministerstvo dopravy - Odbor silniční infrastruktury, 2009.
- [8] TP 170. *Navrhování vozovek pozemních komunikací*. Upravený dotisk. MINISTERSTVO DOPRAVY ČESKÉ REPUBLIKY, 2004.
- [9] ČSN EN 1991-1-1 (730035). *Eurokód 1: Zatížení konstrukcí - Část 1-1: Obecná zatížení - Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb*. Březen 2004. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2004.
- [10] ČSN EN 13242 +A1 (721504). *Kamenivo pro nestmelené směsi a směsi stmelené hydraulickými pojivy pro inženýrské stavby a pozemní komunikace*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2008.
- [11] TP 153. *Zpevněná travnatá parkoviště: technické podmínky*. Brno: Ministerstvo dopravy a spojů - Odbor pozemních komunikací, 2001.
- [12] SPRÁVA ŽELEZNIC, . *SŽ S4 - Železniční spodek*. Praha: Správa Železnic, státní organizace - Odbor traťového hospodářství, 2021.



EVROPSKÁ UNIE
Evropský fond pro regionální rozvoj
Operační program Podnikání
a inovace pro konkurenceschopnost



- [13] NAZZAL, Munir D. *FIELD EVALUATION OF IN-SITU TEST TECHNOLOGY FOR QC/QA DURING CONSTRUCTION OF PAVEMENT LAYERS AND EMBANKMENTS*. Birzeit, West Bank, 2003. Master's Theses. Birzeit University. Vedoucí práce Dr. Murad Abu-Farsakh.

3. Předmět zprávy

Předmětem této zprávy je prezentace návrhových diagramů tloušťky podkladních vrstev stabilizačních systémů šterkových a travních povrchů pro podloží tvořené jemnozrnnými zeminami. Diagramy byly vypracovány na základě výsledků numerických simulací, jejichž postupy a teoretické předpoklady jsou popsány v dílčí zprávě o řešení projektu [1]. Při sestavování návrhových diagramů bylo přihlédnuto k požadavkům na skladbu vozovek uvedenou v dodatku k TP 170 [2], ve smyslu splnění hodnot modulu deformace měřeného na konstrukční vrstvě. Tloušťka konstrukční vrstvy pro zatížení nákladním automobilem a osobním automobilem byla stanovena s přihlédnutím ke skladbě vozovky D2-N-5. Tloušťka konstrukční vrstvy pro variantu „chodník“ byla stanovena s přihlédnutím ke skladbě vozovky D2-N-8. Návrh byl proveden tak, aby při splnění požadavku na velikost modulu deformace na konstrukční vrstvě (80 MPa pro vozovku D2-N-5, resp. 70 MPa pro vozovku D2-N-8) byla zároveň velikost modulu deformace měřené na povrchu stabilizační vrstvy byla minimálně o 20 MPa vyšší. Celková maximální vypočtená svislá deformace od zatížení kolovým tlakem je při použití metodiky rovna 1,3 mm u chodníků, 5,0 mm pro zatížení osobním automobilem a 21,7 mm u zatížení automobilem nákladním.

4. Metodika návrhu tloušťky k-ční vrstvy

Aplikace diagramů pro návrh tloušťky podkladní konstrukční vrstvy komunikace pod stabilizačním systémem šterkových a travních porostů uvedených v kapitole 5. této zprávy sestává z těchto kroků:

1) Stanovení vlastností podloží

Vlastnosti podloží lze ohodnotit pro potřeby návrhu stanovením deformačního modulu $E_{def,2}$ statickou zatěžovací zkouškou. Princip zkoušky spočívá v zatěžování podloží přes tuhouní ocelovou desku průměru 30 cm stupňovitě se zvětšujícím svislým zatížením, během kterého je zaznamenávána svislá deformace. Detailní postup provádění a vyhodnocení statické zatěžovací zkoušky upravuje norma ČSN 721006 [3]. Druhou možností je použití lehké dynamické penetrační sondy DCP (schéma sondy DCP je uvedeno na obrázku v příloze 7.4.) Princip měření spočívá v zaznamenání počtu úderů beranu nutných pro vnik hrotu do podloží do hloubky 10 cm (počet úderů DCP). Měření se provádí do hloubky jednoho metru. Provádění dynamické penetrační zkoušky DCP upravuje předpis ASTM D6951 [4], resp. ČSN EN ISO 22476-2 [5]. Poslední možností je provedení laboratorní či polní zkoušky ke stanovení kalifornského poměru únosnosti CBR. Hodnota CBR představuje poměr odporu [%] proti vnikání trnu do zkoumané zeminy ku odporu penetračního trnu do normového materiálu. Detailní postup provádění a vyhodnocení zkoušky CBR upravuje norma ČSN 721016 [6]. V případě provádění penetrační zkoušky DCP a zkoušky CBR se pro ohodnocení podloží doporučuje v souladu s TP 76 [7] provést minimálně 6 až 8 zkoušek pro každou hodnocenou lokalitu. Očekávané hodnoty poměru únosnosti CBR a deformačního modulu $E_{def,2}$ pro různé typy zemin v podloží jsou uvedeny v tabulce v příloze 7.2.

2) Volba požadované třídy provozu na navrhované komunikaci

Návrhové diagramy jsou sestaveny pro tři varianty provozu:

A. Zatížení nákladním automobilem

Komunikace vyhovující na dopravní zatížení kategorie VI. Podle TP170 [8] (Průměrná denní intenzita těžkých nákladních vozidel v návrhovém období 24 hodin TNV_k < 15).

B. Zatížení osobním automobilem

Dopravní a parkovací plochy pro lehká vozidla podle normy ČSN EN 1991-1-1 [9] o celkové hmotnosti do 1,5 tuny.

C. Chodníky.

Chodníky s uvažováním přejezdu drobné např. zahradní mechanizace s kolovým tlakem do 150 kPa

3) Volba stabilizačního prvku a odečtení potřebné tloušťky konstrukční vrstvy pro zvolenou třídu provozu z příslušného diagramu (viz kapitola 5)

Návrh tloušťky konstrukční vrstvy pro podloží z jemnozrnných zemin se provede na základě hodnoty $E_{def,2}$, CBR či počtu úderů DCP s pomocí návrhových diagramů uvedených v odstavcích 5.1 až 5.6. Naměřené hodnoty počtu úderů DCP lze také použít pro odvození deformačního modulu $E_{def,2}$ s využitím grafu v příloze 7.3. Pomocí odvozené hodnoty $E_{def,2}$ lze pak s pomocí návrhových diagramů uvedených v odstavci 5.6. provést návrh tloušťky konstrukční vrstvy pro podloží s deformačním modulem až do velikosti $E_{def,2} = 80$ MPa

Poznámka 1:

Parametry podloží mají být stanoveny v nejnepříznivějším klimatickém období, odpovídající většinou období jarnímu, kdy je podloží nasyceno vodou.

Poznámka 2:

Konstrukční vrstva má být vytvořena ze štěrkodrti (ŠD) frakce 0-32 podle [10] s obsahem hlinité frakce podle Technických podmínek Ministerstva dopravy pro zpevněná travnatá parkoviště TP 137 [11] do 25 až 30 % hmotnosti. Štěrkodrt' je směs přírodního drobného a hrubého drceného kameniva vyrobená přímo v technologické lince nebo zhotovená smícháním dílčích frakcí. Pro dodržení požadovaných kvalitativně-technických vlastností je nutné, aby štěrkodrtě splňovaly kritéria propustnosti a nenamrzavosti. Svým granulometrickým složením musí zajistit dostatečnou zhutnitelnost a únosnost konstrukční vrstvy. Zrnitostní složení štěrkodrtě musí vytvářet plynulou křivku zrnitosti ležící mezi mezními křivkami zrnitosti uvedenými v příloze (viz odstavec 7.1 této zprávy).

Poznámka 3:

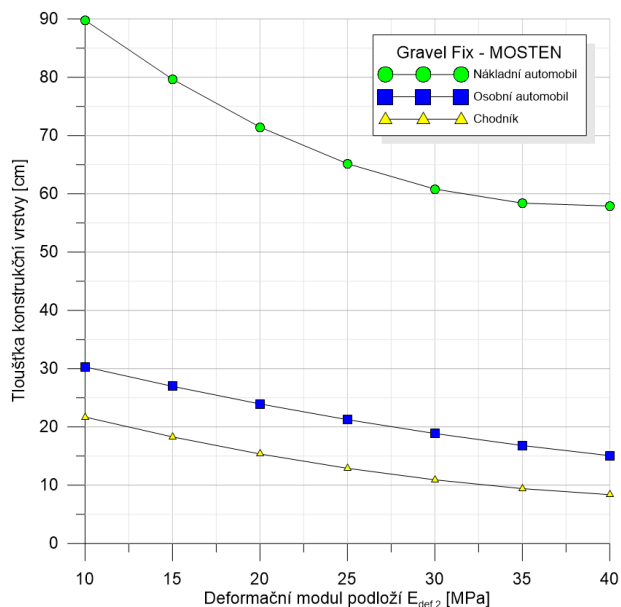
Konstrukční vrstva ze štěrkodrti musí být hutněna stejnoměrně. Maximální tloušťka hutněné konstrukční vrstvy závisí na použitém hutnicím prostředku. Při hutnění konstrukční vrstvy ze štěrkodrti se doporučuje dodržovat optimální vlhkost. Za optimální vlhkost se považuje 3 až 6 %. Při vlhkostech mimo uvedený rozsah se zhutnitelnost snižuje.

Poznámka 4:

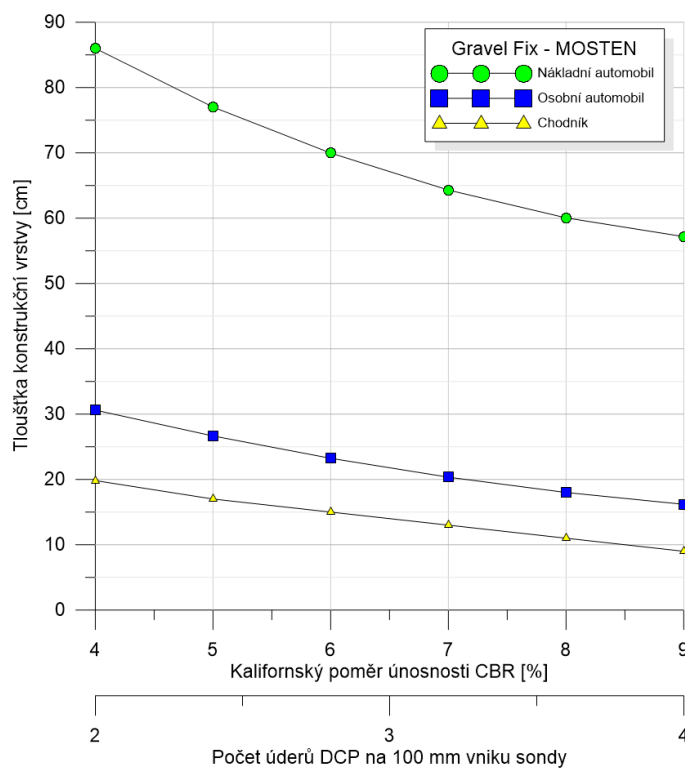
Konstrukční vrstvy ze štěrku nesmí být rozprostírány na rozbředlou nebo promrzlou zemní pláň. Štěrku použítá do konstrukční vrstvy nesmí při rozprostírání a hutnění obsahovat sníh, ledové čocky apod. Konstrukční vrstva ze štěrku nesmí být prováděna při silném nebo mrznoucím dešti, při dlouhotrvajícím dešti, při sněžení a při teplotách menších než 0 °C.

5. Návrhové diagramy pro návrh tloušťky konstrukční vrstvy stabilizačního systému

5.1. Stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOSTEN

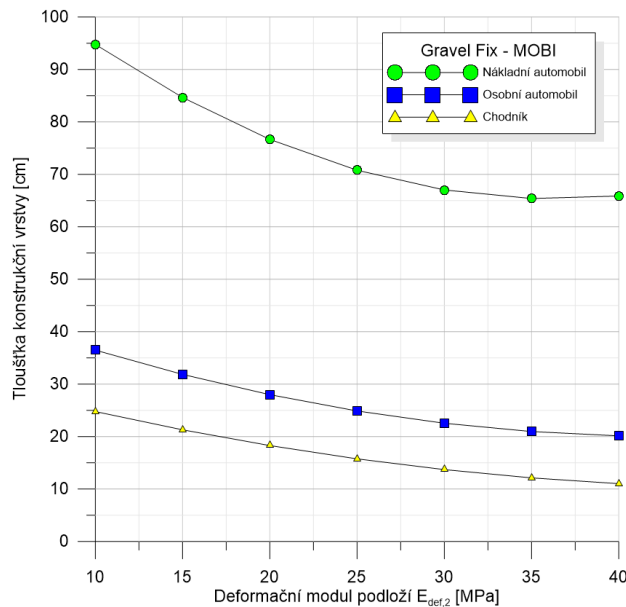


Obrázek 1 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOSTEN v závislosti na deformačním modulu podloží

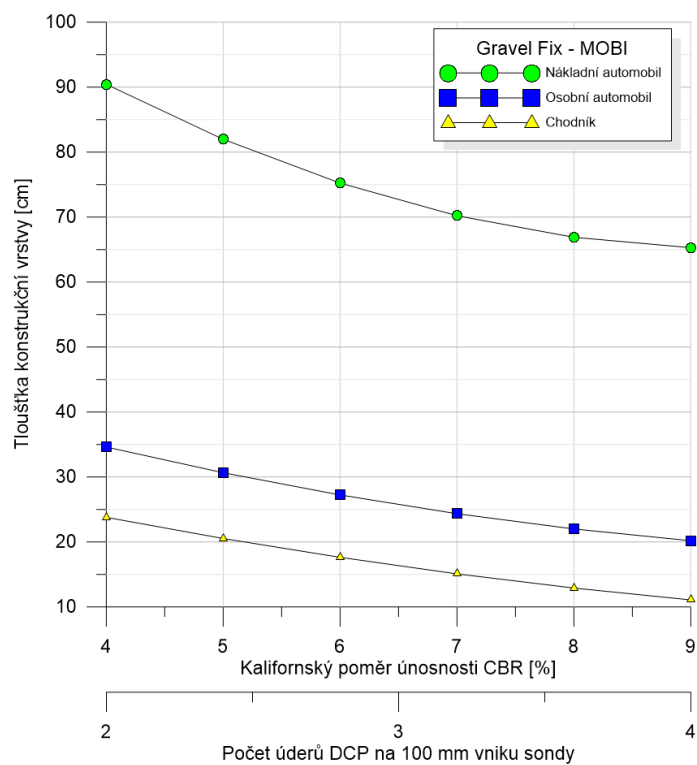


Obrázek 2 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOSTEN v závislosti na výsledku penetrační zkoušky DCP nebo CBR

5.2. Stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOBI

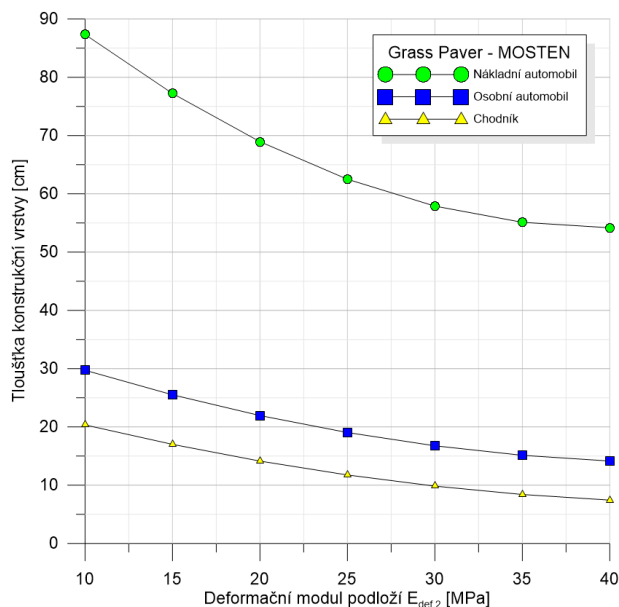


Obrázek 3 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOBI v závislosti na deformačním modulu podloží

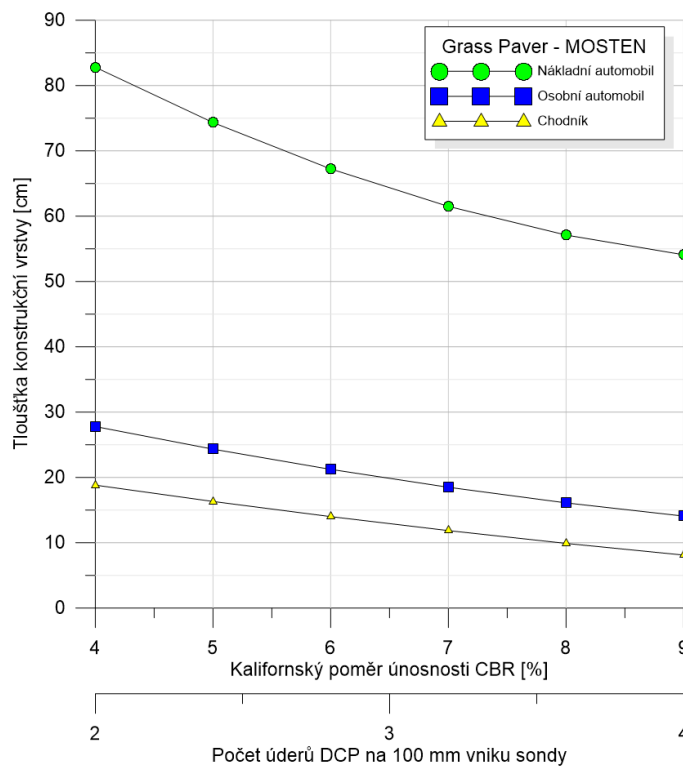


Obrázek 4 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Gravel Fix v materiálové variantě MOBI v závislosti na výsledku penetrační zkoušky DCP nebo CBR

5.3. Stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOSTEN

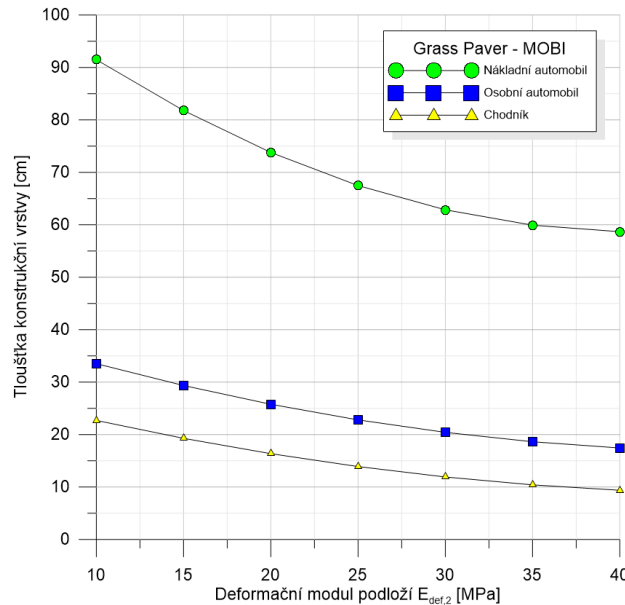


Obrázek 5 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOSTEN v závislosti na deformačním modulu podloží

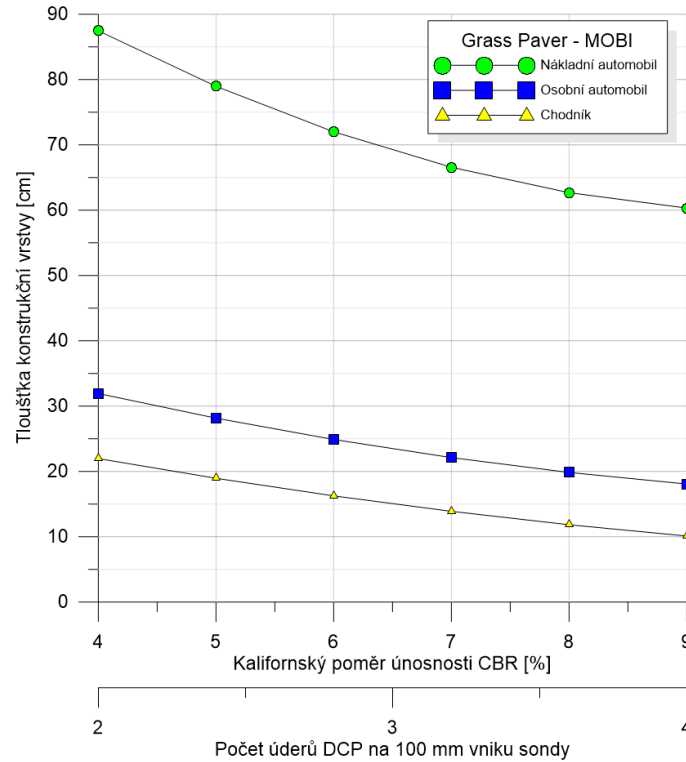


Obrázek 6 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOSTEN v závislosti na výsledku penetrační zkoušky DCP nebo CBR

5.4. Stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOBI

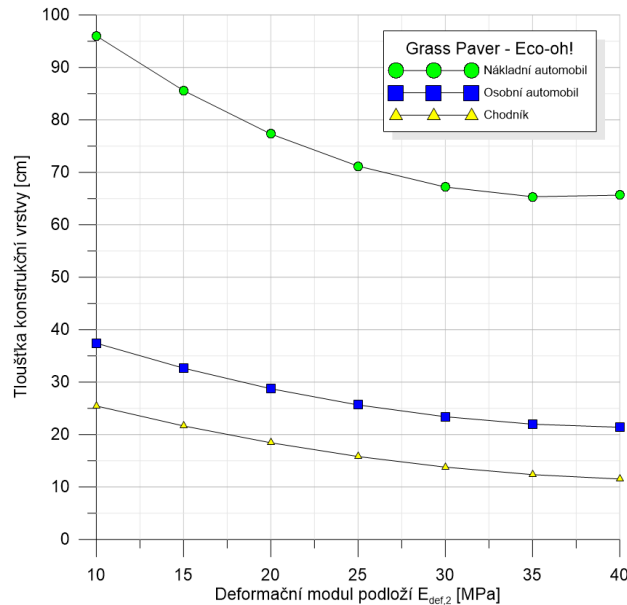


Obrázek 7 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOBI v závislosti na deformačním modulu podloží

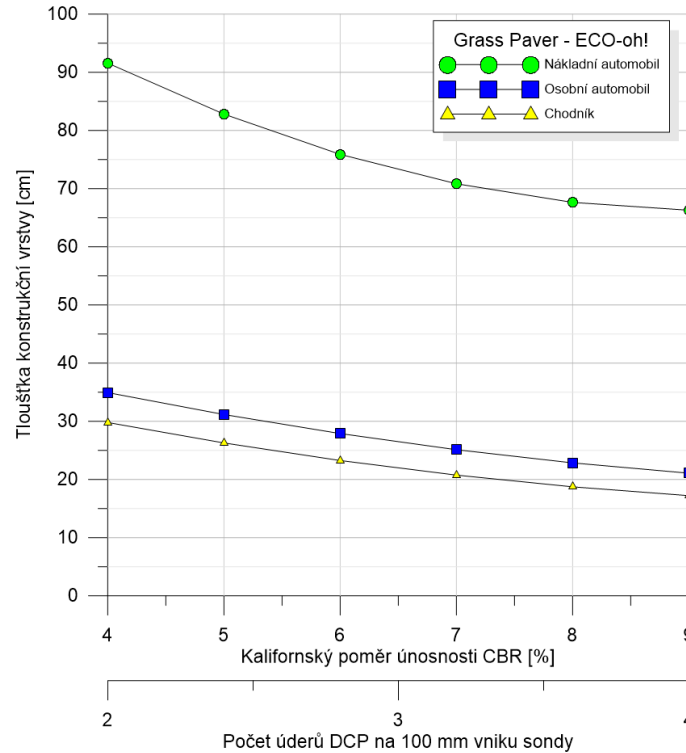


Obrázek 8 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě MOSTEN v závislosti na výsledku penetrační zkoušky DCP nebo CBR

5.5. Stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě ECO-oh!

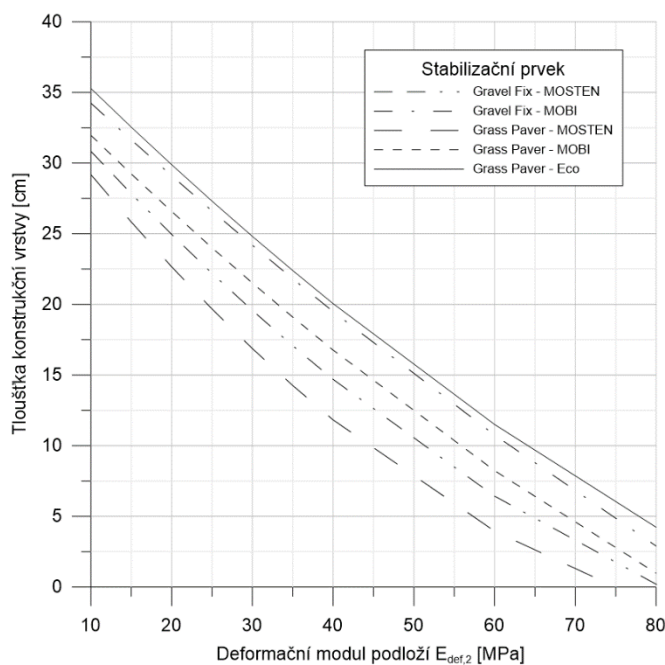


Obrázek 9 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě ECO-oh! v závislosti na deformačním modulu podloží

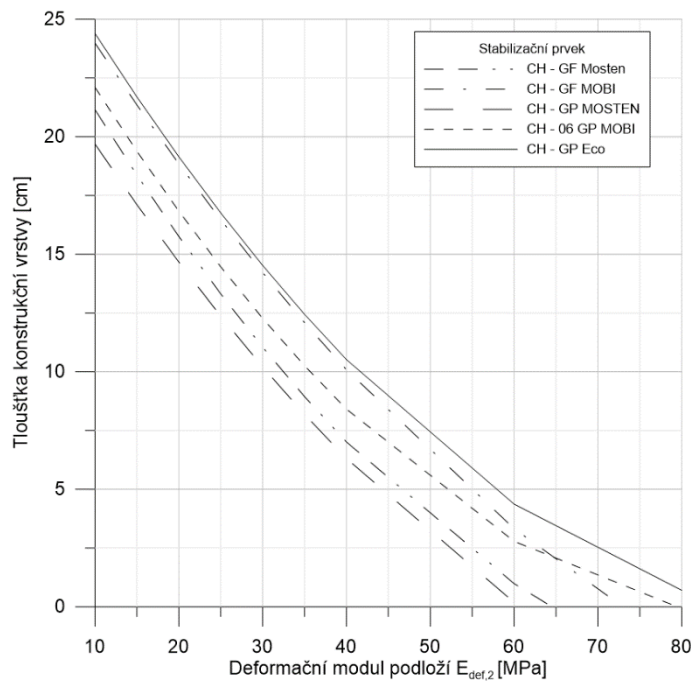


Obrázek 10 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro stabilizační prvek Grass Paver v materiálové variantě ECO-oh! v závislosti na výsledku penetrační zkoušky DCP nebo CBR

5.6. Rozšířené návrhové diagramy pro podloží s deformačním modulem do 80 MPa



Obrázek 11 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy pro komunikace s provozem osobních automobilů pro deformační modul podloží do 80 MPa



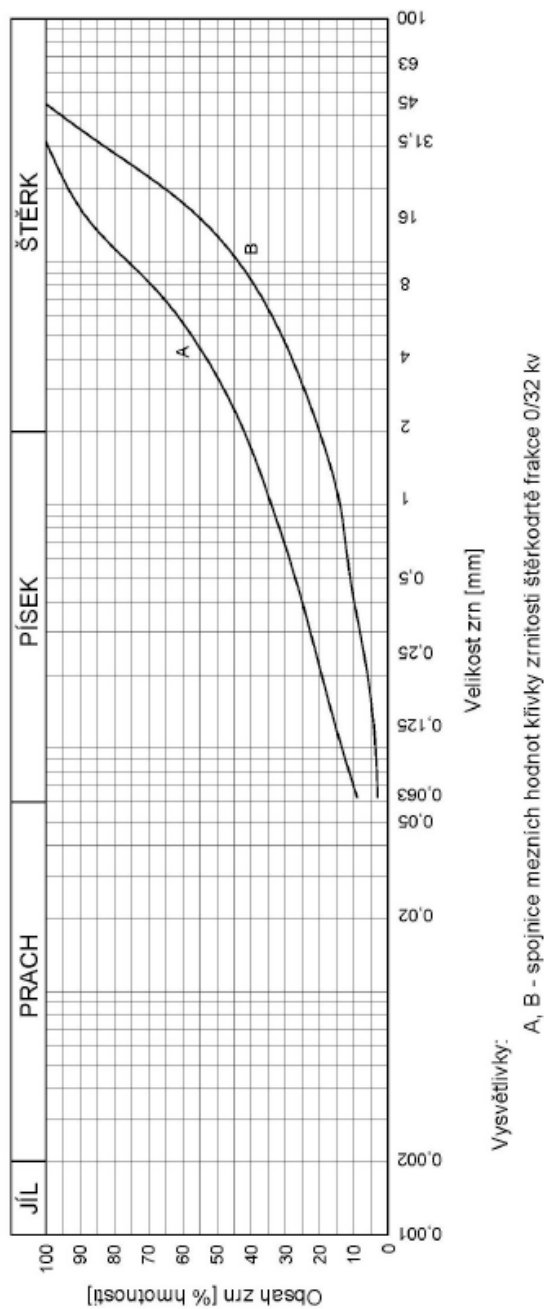
Obrázek 12 Návrhový diagram tloušťky konstrukční vrstvy chodníky pro deformační modul podloží do 80 MPa

6. Závěr

Ve zprávě jsou prezentovány návrhové diagramy pro návrh tloušťky konstrukční podkladní vrstvy vybraných stabilizačních systémů BERA, zpracované na základě výsledků numerických simulací. Teoretické předpoklady řešení a výsledky simulací jsou uvedeny v dílčí výzkumné zprávě o řešení projektu [1]. Součástí textu jsou také metodika pro použití návrhových diagramů a doporučení týkající se materiálu a provádění konstrukční vrstvy. Předpokládá se, že při využití prezentovaných doporučení pro návrh tloušťky k-čnní vrstvy odstavných a parkovacích ploch budou dodrženy také všechny ostatní požadavky na projektování a návrh pozemních komunikací (např. zohlednění klimatických faktorů, vodního a teplotního režimu podloží, kvalita hutnění apod.) které nejsou v této zprávě dále rozváděny. Stejně tak se předpokládá dodržení platných technických a legislativních předpisů a doporučení pro instalaci stabilizačních prvků udávaných jejich výrobcem.

7. Přílohy

7.1. Doporučené mezní křivky zrnitosti materiálu konstrukční vrstvy



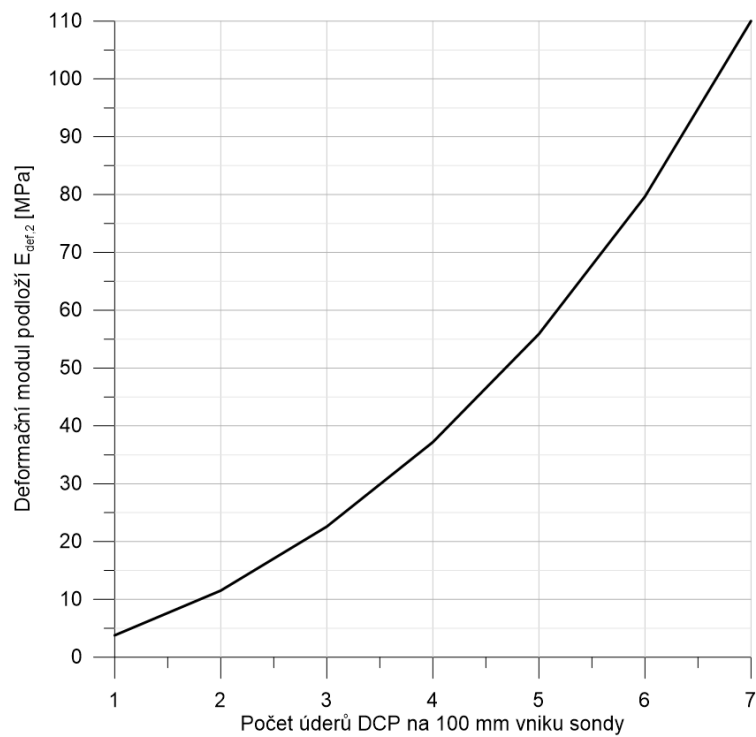
Obrázek 13 Doporučené mezní křivky zrnitosti štěrkodrti ŠD 0/32 do konstrukční vrstvy. (Převzato z [12]).

7.2. Charakteristické vlastnosti zemín v podloží pro návrh tloušťky konstrukční vrstvy

Poř. číslo	Název zeminy	Symbol	Obsah jemných částic f [%]	Poměr únosnosti CBR [%]		Modul přetvárnosti $E_{def,2}^{1)}$ [MPa]	Skupina zemín
				při optimální vlhkosti	po uložení ve vodě		
1	šterkovitá hlína	F1 MG	35 – 65	8 – 18	5 – 10	≤ 50	V – VII
2	šterkovitý jíl	F2 CG	35 – 65	5 – 10	3 – 7	≤ 30	V – VII
3	písčítá hlína I	F3 MS ₁	35 – 50	5 – 25	4 – 15	≤ 60	III – V
4	písčítá hlína II	F3 MS ₂	50 – 65	3 – 15	2 – 5	≤ 45	VII – IX
5	písčítý jíl I	F4 CS ₁	35 – 50	5 – 30	5 – 20	≤ 60	IV – V
6	písčítý jíl II	F4 CS ₂	50 – 65	2 – 20	0 – 4	≤ 50	VII – IX
7	hlína s nízkou plasticitou	F5 ML	nad 65	2 – 20	2 – 7	≤ 50	VII – IX
8	hlína se střední plasticitou	F5 MI	nad 65	2 – 15	1 – 6	≤ 45	VII – IX
9	jíl s nízkou plasticitou	F6 CL	nad 65	3 – 20	1 – 8	≤ 50	VIII – X
10	jíl se střední plasticitou	F6 CI	nad 65	2 – 20	0 – 6	≤ 50	VIII – X
11	hlína s vysokou plasticitou	F7 MH	nad 65	3 – 7	0 – 4	≤ 25	VII – IX
12	hlína s velmi vysokou plasticitou	F7 MV	nad 65	2 – 6	0 – 3	≤ 20	VIII – X
13	hlína s extrémně vysokou plasticitou	F7 ME	nad 65	2 – 5	0 – 2	≤ 20	IX – X
14	jíl s vysokou plasticitou	F8 CH	nad 65	2 – 7	0 – 3	≤ 25	VIII – X
15	jíl s velmi vysokou plasticitou	F8 CV	nad 65	1 – 7	0 – 3	≤ 25	VIII – X
16	jíl s extrémně vysokou plasticitou	F8 CE	nad 65	1 – 6	0 – 3	≤ 20	IX – X
17	písek dobře zrněný	S1 SW	do 5	20 - 40 ²⁾	20 - 40 ²⁾	70 – 120	I – II
18	písek špatně zrněný	S2 SP	do 5	10 - 40 ²⁾	10 - 40 ²⁾	40 – 70	II – III
19	písek s příměsí jemnozrnné zeminy	S3 S-F	5 – 15	8 – 70	6 – 25	20 – 70	III – V
20	písek hlinitý	S4 SM	15 – 35	6 – 50	4 – 15	15 – 60	III – V
21	písek jílovitý	S5 SC	15 – 35	4 – 30	2 – 12	10 - 60	III – V
22	šterk dobře zrněný	G1 GW	do 5	40 - 80 ²⁾	40 - 80 ²⁾	100 - 120	I – II
23	šterk špatně zrněný	G2 GP	do 5	30 - 60 ²⁾	30 - 60 ²⁾	70 - 120	I – III
24	šterk s příměsí jemnozrnné zeminy	G3 G-F	5 – 15	20 – 90	6 – 60	45 - 90	I – III
25	šterk hlinitý	G4 GM	15 – 35	10 – 60	4 – 40	30 - 70	I – III
26	šterk jílovitý	G5 GC	15 – 35	5 – 30	3 – 20	15 - 60	II – IV

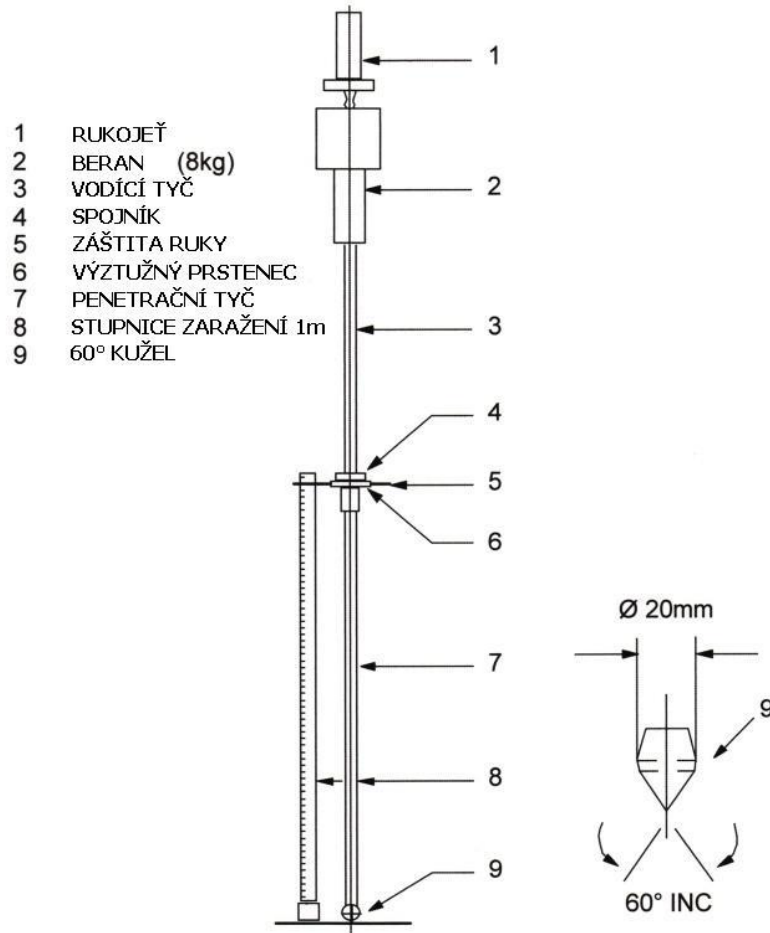
Obrázek 14 Zatřídění zeminy podle ČSN 72 1002, očekávaná hodnota poměru únosnosti CBR při optimální vlhkosti a očekávaný deformační modul při kontrole podloží vozovky podle ČSN 72 1006 (Převzato z [8]).

7.3. Pomůcka pro stanovení deformačního modulu podloží pomocí zkoušky DCP



Obrázek 15 Závislost mezi velikostí deformačního modulu podloží a počtem úderů DCP na 100 mm vniku sondy (Zpracováno podle [13]).

7.4. Schéma lehké dynamické penetrační sondy DCP



Obrázek 16 Schéma lehké dynamické penetrační sondy DCP (Upraveno podle [4])