

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE  
Stavebná fakulta  
Katedra cestného a environmentálneho inžinierstva

Autoreferát dizertačnej práce na získanie  
akademického titulu „philosophiae doctor“, v skratke „PhD.“

**INOVATÍVNE, KLIMATICKY ADAPTÍVNE  
KONŠTRUKCIE SPEVNENÝCH DOPRAVNÝCH  
PLÔCH**

**Ing. Katarína Hodášová**

Žilina máj 2024

Dizertačná práca bola vypracovaná v rámci denného doktorandského štúdia na Stavebnej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline.

Predkladateľ: Ing. Katarína Hodásová  
Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta  
Katedra cestného a environmentálneho inžinierstva  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Školiteľ: prof. Dr. Ing. Martin Decký  
Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta  
Katedra cestného a environmentálneho inžinierstva  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Oponenti: 1. prof. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební  
Ústav pozemních komunikací  
Veveří 331/95, 602 00 Brno

2. Ing. Peter Blažek, PhD.  
INSET, s.r.o. Žilina  
Bytčická 72, 010 01 Žilina

3. doc. Ing. Dušan Jandačka, PhD.  
Žilinská univerzita v Žiline, Stavebná fakulta  
Katedra cestného a environmentálneho inžinierstva  
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina

Autoreferát bol rozoslaný dňa .....

Obhajoba dizertačnej práce sa koná dňa ..... o ..... hod.  
v zasadačke dekanátu AE 307 na Stavebnej fakulte Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná  
8215/1, pred komisiou pre obhajobu dizertačnej práce schválenou spoločnou odborovou  
komisiou dňa .....

študijný odbor: Stavebníctvo

študijný program: Teória a konštrukcie inžinierskych stavieb

S dizertačnou prácou sa možno oboznámiť na referáte pre vedu a výskum dekanátu Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline, Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.

Predseda odborevej komisie  
prof. Ing. Marián Drusa, PhD.

Úvod.....	4
1 Ciele dizertačnej práce .....	4
1.1 Témy dizertačnej práce .....	4
1.2 Štruktúra dizertačnej práce.....	4
2 Prehľad súčasného stavu poznatkov v danej problematike.....	5
2.1 Vplyv klimatických faktorov na vozovky .....	5
2.2 Využívanie odpadového materiálu vo svete a na Slovensku.....	6
3 Teoretický základ pre experimentálne riešenie.....	7
3.1 Recyklovateľný materiál STERED .....	8
4 Závislosť indexov mrazu od narmorskej výšky.....	9
4.1 Čiastkové závery.....	11
5 Laboratórne merania.....	12
5.1 Nasiakavosť materiálu .....	12
5.2 Retenčné a evaporačné vlastnosti materiálu.....	13
5.3 Čiastkové závery.....	14
6 Izomorfné modely vozoviek.....	15
6.1 Izomorfný model Dubnica nad Váhom.....	15
6.1.1 Čiastkové závery .....	16
6.2 Izomorfný model SvF UNIZA .....	17
6.2.1 Meranie mechanickej účinnosti .....	18
6.2.2 Čiastkové závery .....	18
6.3 Izomorfný model areál INGEO.....	19
6.3.1 Čiastkové závery .....	22
7 Katalógové listy.....	23
7.1 Čiastkové závery.....	25
8 Záver .....	26
8.1 Závery pre rozvoj vednej disciplíny .....	26
8.2 Závery pre inžiniersku prax .....	27
9 Summary .....	27
9.1 Conclusions for the development of the scientific discipline .....	27
9.2 Conclusions for engineering practice .....	28
Zoznam použitej literatúry.....	29
Zoznam publikovaných prác autora.....	30

## ÚVOD

Klimatické zmeny, najmä nárast extrémnych zrážok a privalových dažďov predstavujú hrozbu nielen pre životné prostredie a obyvateľov, ale aj dopravnú infraštruktúru. Odvodňovacie zariadenia dopravných stavieb, ako rigoly, priekopy a drenáže, často nie sú schopné odvádzať vysoké množstvo zrážok z povrchu vozoviek, čím dochádza k ich zaplaveniu, čo predstavuje nebezpečenstvo pre účastníkov dopravy. Následne, takéto výkyvy počasia v lete striedajú extrémne horúčavy, kedy vplyvom slnečného žiarenia môže povrch asfaltovej vozovky dosahovať teplotu až 72 °C. Takto zohriate povrchy podnecujú vznik deformácií krytov vozoviek a zároveň predstavujú hrozbu najmä peších účastníkov dopravy, kedy teplo vyžarujúce z vozovky môže nepriaznivo pôsobiť na ich zdravotný stav. Je preto dôležité zamerať sa na možnosti adaptácie na zmeny klímy z pohľadu dopravných stavieb. Jedným z riešení je navrhovanie skladieb konštrukcií vozoviek, ktoré dokážu rýchlejšie a efektívnejšie odvádzať zrážkovú vodu, prípadne pohlcovať teplo alebo zmierňovať dopady slnečného žiarenia na povrch vozoviek. Taktiež je dôležité snažiť sa využívať kompozitné a recyklovateľné materiály v konštrukciách vozoviek a prispieť tak k ich udržateľnosti.

## 1 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

Cieľom dizertačnej práce bolo preukázať dostatočné vlastnosti odpadového recyklovaného materiálu STERED, najmä z pohľadu retenčných a evaporáčnych vlastností. Pri dosiahnutí priaznivých výsledkov výskumu bolo podstatné nájsť takémuto materiálu uplatnenie v dopravných stavbách. Hlavným cieľom bolo preto navrhnúť konštrukciu vozovky tak, aby vrstva z materiálu STERED zabezpečovala zachytenie zrážok z privalových dažďov, nielen ich prepustenie do podložia. Zároveň, by mala konštrukcia dokázať uvoľňovať zadržanú vodu prostredníctvom evaporácie, čím by v prípade teplých dní, dokázala čiastočne ochladzovať povrch vozovky a jej okolie.

### 1.1 Témy dizertačnej práce

Na základe uvedených cieľov boli stanovené nasledujúce tézy dizertačnej práce:

1. Stanovenie korelačných závislostí indexov mrazu a ich komparácia s aktuálnou rozhodujúcou normou STN 73 6114 z roku 2021.
2. Stanovenie nasiakavosti, retenčných a evaporáčnych vlastností materiálu STERED v laboratórnych podmienkach.
3. Stanovenie nasiakavosti, retenčných a evaporáčnych vlastností materiálov STERED zabudovaných v izomorfných modeloch polotuhých a netuhých konštrukcií vozoviek s rôznymi obrusnými vrstvami.
4. Spracovanie vybraných katalógových listov environmentálne aktívnych konštrukcií vozoviek pre cesty a spevnené plochy s nižším dopravným zaťažením.

### 1.2 Štruktúra dizertačnej práce

Spracovanie dizertačnej práce bolo rozdelené na štyri základné časti.

1. Teoretická časť:
  - prehľad súčasného stavu problematiky navrhovania vozoviek a vysvetlenie základných pojmov,

- stanovenie korelačnej závislosti indexov mrazu od nadmorskej výšky, ako jedného z údajov pre definovanie klimatických podmienok,
  - analýza inovatívnych riešení dopravných stavieb a využívania odpadových materiálov v stavebníctve vo svete a na Slovensku,
  - analýza vlastností materiálu STERED.
2. Laboratórne merania:
- stanovenie nasiakavosti a retenčných vlastností materiálu STERED ID 200/050,
  - stanovenie nasiakavosti a retenčných vlastností materiálu STERED ID 250/050,
  - kalibrácia vlhkomeru na materiál STERED.
3. Izomorfné modely:
- meranie mechanických účinností konštrukcií vozoviek v rámci budovania izomorfných modelov,
  - vybudovanie izomorfných modelov s rôznymi skladbami konštrukcií vozoviek,
  - meranie nasiakavosti, retenčných a evaporačných vlastností materiálu STERED zabudovaného v konštrukciách vozoviek,
  - posúdenie navrhnutých skladieb vozoviek na základe platných slovenských technických noriem a technických predpisov,
  - spracovanie vybraných katalógových listov na základe získaných poznatkov v rámci riešenia dizertačnej práce.
4. Závbery:
- analýza a zhodnotenie dosiahnutých výsledkov,
  - odporúčania pre rozvoj vednej disciplíny a odbornú prax.

## 2 PREHĽAD SÚČASNÉHO STAVU POZNATKOV V DANEJ PROBLEMATIKE

Ak sa chceme v procese navrhovania vozoviek posunúť ďalej, je potrebné poznať aktuálne trendy, nové technológie a materiály, ktoré sa využívajú v rámci dopravných stavieb vo svete. Zamerať sa najmä na tie, ktoré sa dokážu prispôbiť meniacim sa klimatickým podmienkam, prípadne sa snažia prispieť k udržateľnosti, a to používaním rôznych odpadových a recyklovateľných materiálov.

### 2.1 Vplyv klimatických faktorov na vozovky

Spolu s dopravným zaťažením sú klimatické podmienky jedným zo stálych vonkajších faktorov, ktoré nepriaznivo vplyvajú na fyzikálno-mechanické vlastnosti jednotlivých konštrukčných vrstiev vozovky. Zhoršuje sa tým nielen prevádzková spôsobilosť vozovky, ale aj životnosť konštrukcie vozovky. Okrem vysokých letných teplôt, ktoré majú nepriaznivý vplyv najmä na asfaltové vozovky, majú relevantný vplyv aj účinky mrazu. Mráz pôsobí na konštrukčný systém deštruktívne najmä v súčinnosti s vodou.

Pri navrhovaní vozoviek sa v podmienkach Slovenskej republiky používajú nasledujúce klimatické charakteristiky:

- priemerná ročná teplota vzduchu ( $T_a$ ) – návrh betónových vozoviek,
- index mrazu ( $I_m$ ) – návrh asfaltových a betónových vozoviek.

## Index mrazu

V cestnom staviteľstve je index mrazu najpoužívanejšia charakteristika zimného obdobia. Hodnota indexu mrazu je ovplyvnená viacerými faktormi, pričom najdôležitejšími sú nadmorská výška, geografická šírka, čistota a prúdenie vzduchu, topografia územia, orientácia k svetovým stranám, vegetácia a pod. Najpresnejším údajom sú preto vždy priame merania teplôt a z nich vyhodnotený index mrazu.

Návrhová hodnota indexu mrazu sa stanovuje pre rôznu periodicitu výskytu  $n$ , a to v závislosti od triedy dopravného zaťaženia – TDZ [1]. Na stanovenie návrhovej hodnoty indexu mrazu v ľubovoľnej oblasti Slovenska sa používa mapa návrhových indexov mrazu podľa STN 73 6114 alebo objektívne zistené výsledky výskumu.

## 2.2 Využívanie odpadového materiálu vo svete a na Slovensku

Vo svete sú odpadové materiály využívané v dopravnej infraštruktúre najmä pre:

- zníženie nákladov na výstavbu. Ťažba a výroba nových materiálov je vždy drahšia ako recyklácia tých, ktoré už máme. Výstavba dopravných stavieb z existujúcich materiálov je veľmi hospodárna, najmä keď je nových materiálov málo a sú drahé,
- menší vplyv na životné prostredie. Aj keď na recykláciu odpadových materiálov je potrebná určitá energia, je menšia, ako energia potrebná na výrobu nových materiálov. V druhom prípade je potrebná zdroje vytážiť, spracovať a vyrobiť. Použitie toho, čo už bolo vyrobené znižuje emisie skleníkových plynov,
- predĺženie životnosti. V mnohých prípadoch je výhodnejšie využiť recyklovaný materiál, ktorý môže mať mnoho výhod. Môže spevniť nové dopravné stavby, zlepšiť pružnosť a tým aj zabezpečiť dlhú životnosť [2].

### Estónsko/Holandsko

Spoločnosť Greenful, pôvodom z Estónska, vznikla s cieľom vyriešiť celosvetový problém nesprávneho nakladania s textilným odpadom. Víziou bolo navrhnuť produkt, ktorý by vo veľkom rozsahu využíval textilný, plastový a gumový odpad zo stavebníctva.

V súčasnosti spoločnosť ponúka veľmi reálne riešenie problému recyklácie miliónov ton svetového textilného odpady. Svoje úsilie vynaložili na návrh panelov, ktoré sú vyrobené z rozdrveného textilného odpadu, ktorý bol zlisovaný pomocou patentovaného výrobného procesu, a sú navrhnuté tak, aby nahradili rôzne druhy stavebných panelov na báze dreva. Podľa experimentov sa ukázalo, že majú dlhšiu životnosť, a sú plne odolné voči plesniam, vode a ohňu. Okrem toho, že sú recyklovateľné, sú ekologické a nepoužívajú sa v nich žiadne znečisťujúce ani toxické chemikálie [3].

### Česká republika

Od roku 1950 vyrába česká spoločnosť RETEX netkané textílie najmä pre automobilový priemysel a stavebníctvo. Okrem primárnych surovín svoje výrobky vyrábajú aj z recyklovaného materiálu. Venujú sa výrobe inovatívnych textílií pre zelené strechy, tepelných a izolačných materiálov nielen pre budovy, ale aj pre priemyselné zariadenia, automobilový priemysel a železničné vagóny [4].

Spoločnosť sa dostáva do povedomia vďaka zaujímavým projektom, do ktorých sa zapája. V roku 2020 sa podieľali na ozelenení električkových tratí v Ostrave, kde bola použitá

pestovateľská a hydroakumulačná doska vegetačne-retenčná doska ENVIRET SH [5]. Vyznačuje sa najmä zvýšenou retenciou vody, vďaka čomu sa produkt v roku 2021 dostal až do Izraela, kde mala spoločnosť dodať viac ako 1 000 m<sup>2</sup>. Použitý mal byť na vytvorenie zelených a modrých striech pre administratívne budovy, školy, výrobné haly, ale aj rodinné domy [6].

### **Slovensko**

V podmienkach Slovenska je najväčším spracovateľom textilných odpadov spoločnosť SK-*Tex*. Už od roku 1998 sa zaoberá recykláciou textilu, pričom v súčasnosti dokáže zrecyklovať približne 3 500 ton odpadu ročne. Výsledným produktom po recyklácii sú retenčné a izolačné dosky, vhodné pre budovy a dopravné prostriedky. Taktiež vyrábajú aj vlákna so špeciálnymi úpravami pre automobilový alebo nábytkársky priemysel [7].

Využívanie recyklovaných textilných materiálov v stavebníctve nie je úplnou novinkou či už u nás, alebo vo svete. Vo všeobecnosti sa ale tieto materiály využívajú najmä ako tepelné izolácie v priemyselných budovách alebo rodinných domoch. Vďaka dobrej zvukovej pohltivosti a akustickým vlastnostiam svoje uplatnenie našli aj pri aplikácii protihlukových opatrení.

Produkty z recyklovaných textílií sa vyznačujú aj dobrými retenčnými a evaporačnými vlastnosťami. Vďaka tomu sa v poslednom období venuje pozornosť na ich využitie v oblasti klimaticky a energeticky aktívnych striech (zelených striech) a fasád, ktorých výskum prebieha aj na Katedre pozemného staviteľstva a urbanizmu UNIZA.

V dopravnej infraštruktúre takéto produkty zatiaľ hľadajú uplatnenie. Slovenská spoločnosť STERED vyrába retenčnú dosku, ktorá by mohla nájsť využitie ako retenčná vrstva v konštrukciách odstavných plôch. Vytvárali by sa tak klimaticky a energeticky aktívne plochy. Avšak nepreskúmanú oblasť predstavuje vodozádržnosť a vodovýparnosť takýchto plôch, najmä pri používaní rôznych krytov vozoviek, čo bolo predmetom tejto dizertačnej práce.

## **3 TEORETICKÝ ZÁKLAD PRE EXPERIMENTÁLNE RIEŠENIE**

Pre správne vypracovanie experimentálnej časti dizertačnej práce bolo potrebné oboznámiť sa s fyzikálnym významom vlastností, ktoré budeme v rámci práce skúmať. Nakoľko práca je zameraná na materiál STERED, v nasledujúcich kapitolách je podrobne popísaný jeho vznik, vlastnosti a prínosy.

### **Nasiakavosť**

Stavebné materiály sa v praxi takmer nikdy nevyskytujú v suchom stave, preto je potrebné poznať ich vlhkosťné vlastnosti. Medzi tieto vlastnosti patrí aj nasiakavosť materiálu. Vyjadruje množstvo vody, ktoré je materiál schopný prijať za určitú časovú jednotku pri čiastočnom alebo úplnom ponorení do vody. Nasiakavosť textilného materiálu je schopnosť materiálu absorbovať vodu do svojej štruktúry.

Nasiakavosť materiálu sa vyjadruje v percentách, na základe vzorca (3.1):

$$N = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \cdot 100 \quad (3.1)$$

kde:  $m_0$  hmotnosť suchej vzorky [g],  
 $m_1$  hmotnosť vzorky po namočení [g].

### Retencia vody

Zadržiavanie vody v hydrológii a pedológii znamená prirodzené alebo umelé dočasné zadržiavanie vody v krajine. Táto voda môže byť dočasne zadržaná na povrchu lesných drevín, trávnatých porastov, krikov, na povrchu pôdy, v pôdnom kryte, vo vodnej nádrži, v povodí, v retenčnej priekoje a pod.

Retencia vody je dôležitým faktorom pre zachytávanie zrážok a transformáciu prietoku, inak aj povodňových vln. Väčším zadržiavaním vody možno dosiahnuť zníženie okamžitých povodňových prietokov.

Zadržiavanie vody v prírode znamená schopnosť ekosystému uskladniť vodu, živiny a sedimenty a to buď dočasne alebo trvalo. V prípade materiálov je pre retenciu vody podstatná skladba materiálu a jeho vlastnosti, ako napr. obsah pórov alebo nasiakavosť. Významnú úlohu predstavujú materiály, ktoré plnia úlohu zadržania vody a jej postupného uvoľňovania.

### Evaporácia vody

Výpar je fyzikálny proces, v rámci ktorého dochádza k prechodu vody z kvapalného alebo plynného skupenstva do plynného skupenstva. Tento komplexný proces zahŕňa dva dôležité aspekty: prenos vody a prenos tepla. Počas tohto procesu dochádza k vyparovaniu vody a súčasnej spotrebe energie (tepla). Jeho priebeh je ovplyvnený fyzikálnymi a chemickými vlastnosťami povrchov, na ktorých výpar prebieha, a taktiež vlastnosťami vzduchu, ktorý prijíma vodnú paru.

V meteorologickom a klimatologickom kontexte sa pojmom výpar, alebo evaporácia označuje množstvo vody, ktoré sa za určitý čas vyparí do ovzdušia z voľnej hladiny, povrchu pôdy alebo rastlínstva. Medzi hlavné faktory ovplyvňujúce výpar patria teplota vyparujúceho povrchu, tlak vzduchu, vlhkosť vzduchu, rýchlosť prúdenia vzduchu a obsah látok rozpustených vo vode [8].

### 3.1 Recyklovateľný materiál STERED

V priebehu výroby nových automobilov a ich textilných dielov, ako aj pri recyklácii vozidiel po skončení životnosti v časti vyseparovaných textilných častí, vzniká obrovské množstvo textilných materiálov s rôznymi osobitnými kvalitami. Textilie, ktoré sa používajú v automobilovom priemysle musia spĺňať veľké nároky z hľadiska zvukovej a tepelnej izolácie. Pozornosť sa venuje aj ich odolnosti voči plesniam a mechanickému poškodeniu. Materiál by mal znižovať vibrácie a zároveň byť hygienicky nezávadný. Priemerná hmotnosť takýchto textílií v jednom automobile je okolo 25 kg, pričom pri procese výrobe nových dielov sa vyprodukuje v priemere 2 – 3 kg technologického odpadu. Nakoľko tento materiál nenachádza opätovné využitie, končí buď na skládkach odpadu, alebo je energeticky zhodnocovaný v špeciálnych spaľovniach [9].



Jedným z riešení problému s textilným odpadom je komplexná technologická linka STERED<sup>®</sup>, ktorá premieňa tieto materiály na inovatívne kompozitné materiály, ktoré sú klimaticky adaptívne. V procese výroby sú textilné látky spájané iba polyuretánovými spojivami. Vďaka tejto technológii je možné vytvoriť unikátny a najmä opäť obnoviteľný produkt, ktorý vyniká schopnosťou opakovaného zadržiavania a odparovania vody. Je preto ideálny na vytváranie konštrukcií a plôch, ktoré sú klimaticky a energeticky aktívne. Vo forme dosiek ho môžeme použiť v konštrukciách účelových a spevnených plôch – parkoviská a chodníky. Svoje uplatnenie v súčasnosti nachádza najmä ako retenčná vrstva pri budovaní vegetačných striech [9].

### Vlastnosti materiálu STERED

Medzi jedinečné vlastnosti tohto materiálu patria predovšetkým:

- recyklovateľnosť a možnosť opätovného použitia,
- chemická a mechanická odolnosť, odolnosť voči vode,
- stabilita mechanických a fyzikálnych vlastností,
- znížená horľavosť,
- dĺžka životnosti po dobu viac ako 25 rokov,
- netoxickosť, odolnosť voči plesniam a hľadavcom,
- nezávadnosť vzhľadom na prírodu a ľudský organizmus [10].

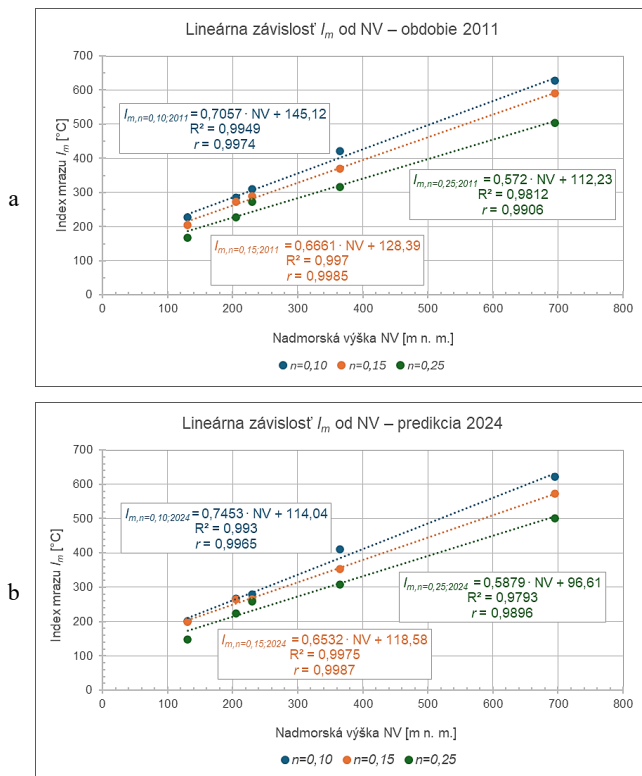
### Retenčná a evaporačná schopnosť

Okrem dažďovej vody je textilný materiál STERED schopný zadržiavať aj sivú vodu a opakovane prívalové zrážky. Plocha, ktorá je vybavená týmto materiálom, funguje ako otvorená retenčná nádrž na zadržiavanie vody, čím nahrádza funkciu nepriesakového podlažia. Doska s hrúbkou 50 mm je schopná zadržať 17,5 až 19,5 l/m<sup>2</sup> po piatich minútach prívalových dažďov. Pri dlhodobých zrážkach sa vodozadržnosť pohybuje od 25,5 až do 35 l/m<sup>2</sup>. Proces odparovania vody z textílie generuje energiu, ktorá ochladzuje okolitý vzduch, čo zároveň zabraňuje prehrievaniu vonkajšieho prostredia v obytných oblastiach [9], [11].

## 4 ZÁVISLOSŤ INDEXOV MRAZU OD NARMORSKEJ VÝŠKY

Index mrazu je jednou z klimatických charakteristík, ktoré sú nevyhnutné pri navrhovaní vozoviek. Stanoviť hodnotu indexu mrazu je možné na základe máp návrhových indexov mrazu  $I_m$  pre periodicity  $n$ , ktoré sú uvedené v aktuálnej norme STN 73 6114 z roku 2021 [1], alebo na základe objektívne zistených výsledkov výskumu.

Na Obr. 4.1a sú uvedené lineárne závislosti indexov mrazu  $I_m$  od nadmorskej výšky NV za časové obdobie 1971 až 2011 na základe údajov poskytnutých od Slovenského hydrometeorologického ústavu (SHMÚ). Vybraných bolo päť záujmových meteorologických staníc s rôznymi nadmorskými výškami, ktoré disponovali najväčším množstvom potrebných údajov. Keďže index mrazu je dôležitou charakteristikou v cestnom staviteľstve, v rámci dizertačnej práce sa pokračovalo v objektivizovaní lineárnej závislosti indexov mrazu od nadmorskej výšky. Nakoľko neboli k dispozícii údaje o indexoch mrazu pre rok 2024, ich hodnoty sme na základe dlhodobého časového vývoja indexov mrazu predikovali. Tieto hodnoty boli následne doplnené do súboru pôvodných hodnôt, čo nám umožnilo spracovanie lineárnej závislosti pre časové obdobie 1971 až 2024, ako je to uvedené na Obr. 4.1b.



Obr. 4.1 - Objektivizované lineárne závislosti návrhových hodnôt indexu mrazu  $I_{m,n}$  pre periodicity  $n$  od nadmorskej výšky: a – obdobie 1971 – 2011 [12], b – obdobie 1971 – 2024 a stanovené korelačné koeficienty

Porovnaním stanovených korelačných koeficientov na základe Pearsonovho korelačného koeficientu  $r$  môžeme povedať, že uvedené lineárne závislosti vykazujú veľmi silnú korelačnú závislosť ( $0,80 \leq r \leq 1,00$ ).

Uvedené lineárne závislosti sa následne využili pri komparácii návrhových hodnôt indexov mrazu s aktuálnou normou pre stanovenie indexov mrazu, STN 73 6114 z roku 2021. Za záujmovú oblasť, pre ktorú bola vykonaná komparácia, boli vybrané mestá Žilinského samosprávneho kraja (ŽSK).

V Tab. 4.1 sú uvedené mestá ŽSK s príslušnými nadmorskými výškami, získané z mapového portálu Mapy.cz, a rozdiely hodnôt návrhových indexov mrazu  $\Delta I_{m,n}$ . Hodnoty  $\Delta I_{m,n}$  predstavujú rozdiel hodnôt indexov mrazu odčítaných z máp z STN 73 6114 z roku 2021 a objektivizovaných hodnôt indexov mrazu na základe predikovaných lineárnych závislostí pre časové obdobie 1971 – 2024 (Obr. 4.1b).

Tab. 4.1 - Rozdiel návrhových hodnôt indexov mrazu  $\Delta I_{m,n}$  – rok 2024

<b>Rozdiel návrhových hodnôt indexu mrazu <math>\Delta I_{m,n}</math> – rok 2024</b>				
<b>Mesto</b>	<b>Nadmorská výška [m n. m.]</b>	<b><math>\Delta I_{m,n=0,10}</math></b>	<b><math>\Delta I_{m,n=0,15}</math></b>	<b><math>\Delta I_{m,n=0,25}</math></b>
Bytča	337	35	61	55
Čadca	420	73	7	6
Dolný Kubín	507	8	50	5
Krásno nad Kysucou	392	94	25	23
Kysucké Nové Mesto	362	16	45	41
Liptovský Hrádok	656	-3	-47	18
Liptovský Mikuláš	577	-44	5	64
Martin	402	86	19	17
Námestovo	620	24	-23	39
Rajec	448	52	-11	-10
Rajecké Teplice	411	80	13	12
Ružomberok	494	18	-41	13
Trstená	617	26	-21	41
Turany	401	87	20	18
Turčianske Teplice	518	0	-57	-51
Turzovka	522	-3	41	-3

V Tab. 4.1 je vidieť, že priemerný rozdiel návrhových hodnôt indexov mrazu pre všetky periodicity sa pohyboval do + 32°C. Je potrebné dodať, že vzniknuté rozdiely môžu byť z časti spôsobené aj nepresným stanovením návrhových hodnôt indexov mrazu na základe odčítania z mapy.

#### 4.1 Čiastkové závery

Napriek tomu, že lineárne závislosti indexov mrazu pre časové obdobie 1971 – 2024 boli stanovené iba na základe lineárnej predikcie, rozdiel voči lineárnym závislostiam pre časové obdobie 1971 – 2011 je zanedbateľný.

V oboch porovnaníach bol rozdiel návrhových hodnôt indexov mrazu v rozmedzí  $\pm 20$  až  $30$  °C. Ak sa vezme do úvahy, že mapy návrhových indexov mrazu uvádzané v STN 73 6114 majú rozmedzie stanovené po 50 až 100 °C, stanovenie indexov mrazu na základe korelačných závislostí sa javí ako presnejšie a zároveň rýchlejšie.

Zároveň je potrebné poznamenať, že mapy v uvádzanej norme STN 73 6114 z roku 2021 sú z grafického hľadiska nevhodne spracované. Zvolená je škála modrej farby je najmä pri už vyšších hodnotách indexov mrazu veľmi zle rozoznateľná. Najmä ak sa zoberie do úvahy, že pri nesprávnom odčítaní môže byť rozdiel hodnoty indexu mrazu až 200 °C. Pre porovnanie, mapa z STN 73 6114 z roku 1997, ktorú nahrádza, zobrazovala indexy mrazu ako izolínie, čo umožňovalo pomerne jednoduché stanovenie hodnoty.

Ďalším aspektom, ktorý značne ovplyvňuje nepresnosť odčítania hodnoty je mapový podklad. Na mape sú zobrazené len krajské mestá, čo znamená, že v prípade iných miest je potrebné

lokalitu určiť náhodne, alebo mapu preložiť ďalšou, podrobnejšou mapou s mestami, čo zvyšuje prácnosť a predlžuje čas. Opäť, pre porovnanie, mapy z roku 1997 boli podrobnejšie, zobrazovali nielen mestá, ale aj väčšie a významnejšie obce.

Na základe uvedených skutočností sa odporúča pri navrhovaní vozoviek používať pre stanovovanie indexov mrazu lineárne závislosti, ktoré vykazujú veľmi silnú korelačnú závislosť, a ktoré vychádzajú z dlhoročných výsledkov výskumu.

## 5 LABORATÓRNE MERANIA

Objektom skúmania pre laboratórne merania bol materiál STERED, pričom sa sledovali dva druhy vzoriek:

- vzorka retenčnej dosky STERED ID 200/050, čo predstavuje retenčnú dosku s objemovou hmotnosťou 200 kg/m<sup>3</sup> a hrúbkou 50 mm,
- vzorka retenčnej dosky STERED ID 250/050, čo predstavuje retenčnú dosku s objemovou hmotnosťou 250 kg/m<sup>3</sup> a hrúbkou 50 mm.

Nakoľko do konštrukcie vozovky je vhodnejší materiál s vyššou objemovou hmotnosťou, na materiáli STERED ID 200/050 boli uskutočnené len prvotné orientačné merania. Podrobnejšie merania sa uskutočňovali už iba so vzorkami STERED ID 250/050.

### 5.1 Nasiakavosť materiálu

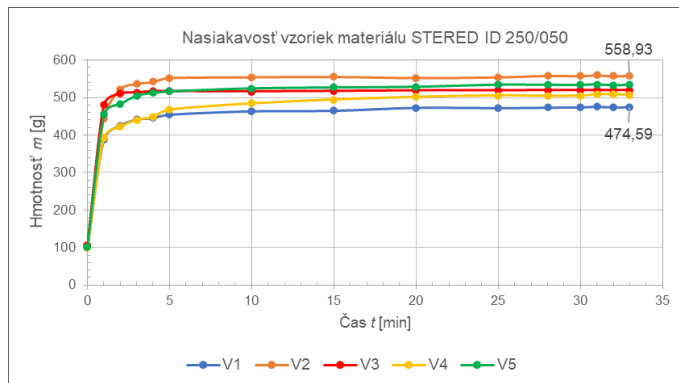
Pri stanovovaní nasiakavosti materiálu STERED sa simulovala situácia privalových dažďov, pričom sa predpokladalo, že dôjde k úplnému zaplaveniu konštrukcie. Po odvážení suchej vzorky, pri jej prirodzenej vlhkosti, sa preto vzorky materiálu ponorili celým svojím objemom do vody. Následne sa meraním hmotnosti v určitých časových intervaloch (prvých 5 min každú minútu, následne každých 5 min) meral nárast hmotnosti, až kým nedošlo k úplnej saturácii vzorky.

Pre meranie sa vybralo 5 vzoriek s rozmerom približne 100 x 100 x 50 mm. Všetky vzorky pochádzali z jednej izolačnej dosky STERED s objemovou hmotnosťou 250 kg/m<sup>3</sup>. Skúška prebiehala pri teplote ovzdušia 22 °C a vlhkosti 56 %. Priemerná hmotnosť vzorky v suchom stave bola 103,23 g. V Tab. 5.1 sú uvedené hmotnosti všetkých vzoriek v suchom stave, po 3 min nasiakavosti a hmotnosti plne saturovaných vzoriek. Pre približenie sú uvedené aj percentuálne nárasty hmotností vzoriek oproti suchému stavu.

Tab. 5.1 - Hmotnosti suchých a nasiaknutých vzoriek a ich percentuálny nárast

Vzorka	Suchý stav	3 min		33 min	
	[g]	[g]	[%]	[g]	[%]
V1	102,08	441,35	332	474,59	365
V2	106,54	536,70	404	558,93	425
V3	105,90	513,48	385	519,58	391
V4	99,40	440,69	343	507,01	410
V5	102,46	505,02	393	534,30	421
<b>Ø</b>	<b>103,28</b>	<b>487,45</b>	<b>371</b>	<b>518,88</b>	<b>402</b>

Meranie nasiakavosti vzoriek bolo ukončené až po dosiahnutí 100 % nasýtenia vzorky (Obr. 5.1), čo pri všetkých vzorkách nastalo po 30 minútach.



Obr. 5.1 - Nasiakavosť vzoriek materiálu STERED ID 250/050

Na Obr. 5.1 je zobrazené grafické znázornenie prírastkov hmotnosti vody. U všetkých vzoriek došlo k najväčšiemu prírastku v prvých dvoch minútach merania. Hmotnosť vzorky vzrástla priemerne o 369,14 g, čo predstavuje nárast hmotnosti o 357 % oproti hmotnosti suchej vzorky materiálu. Počas meraní boli pri každej vzorke pozorované mierne presaturovanie, najmä medzi 25. a 30. min. Následne sa po 30 min hmotnosti vzoriek ustálili. Merania boli ukončené po 33 min, kedy bol zaznamenaný priemerný nárast hmotnosti o 402 %, čo v priemere predstavuje nárast o 415,6 g.

Zaujímavosťou je, že napriek tomu, že všetky vzorky pochádzali z rovnakej izolačnej dosky, v Tab. 5.2 je vidieť rozdiel v ich vlastnostiach. Napriek tomu, že vzorka V4 bola o celé 3 g ľahšia, ako vzorka V1, dokázala nasiaknuť o 45 % viac vody. Táto skutočnosť poukazuje na to, že materiál STERED je nehomogénny a vlastnosti dosiek sa môžu líšiť v závislosti od obsahu materiálu, ktorý v nich prevláda.

Tab. 5.2 - Porovnanie nasiakavosti dvoch vzoriek STERED ID 250/050

Vzorka	Suchý stav	3 min		33 min	
	[g]	[g]	[%]	[g]	[%]
V1	102,08	441,35	332	474,59	365
V4	99,40	440,69	343	507,01	410
<b>Rozdiel</b>	<b>2,68</b>	<b>0,66</b>	<b>-11</b>	<b>-32,42</b>	<b>-45</b>

## 5.2 Retenčné a evaporačné vlastnosti materiálu

Retenčné a evaporačné vlastnosti sa zisťovali umiestnením saturovanej vzorky na hladkú plochu a následným meraním úbytku hmotnosti vzorky. Merania sa vykonávali 2-krát denne, pokiaľ sa nedosiahla hmotnosť suchej vzorky. Pri oboch vzorkách bola umožnená prirodzená evaporácia vody zo vzorky, avšak pri inej vlhkosti okolitého prostredia.

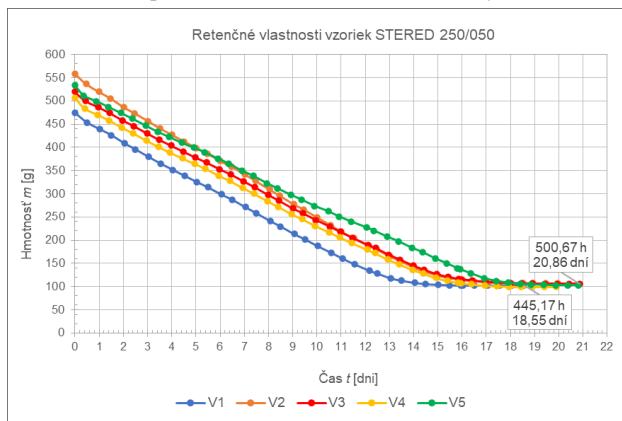
Pre zistenie retenčných a najmä evaporačných vlastností bolo 5 vzoriek umiestnených na hladkú plochu – bez naklonenia vzorky, čím sa zamedzilo prirodzenému odtekaniu vody. Uvoľňovanie vody zo vzoriek bolo možné len prostredníctvom evaporácie. Meranie hmotnosti vzoriek sa uskutočňovalo po dobu, kým sa nedosiahli hmotnosti vzoriek v suchom

stave. Aby sa čo najviac priblížili podmienky, ktorým bude materiál vystavený v konštrukcii vozovky, merania sa robili pri zvýšenej vlhkosti okolia. Pri priemernej teplote ovzdušia 22 °C a vlhkosti prostredia 58 % bola priemerná doba prirodzeného sušenia vzoriek 20 dní. Podrobné údaje pre všetky vzorky sú uvedené v Tab. 5.3.

Tab. 5.3 - Doba sušenia vzoriek a dosiahnuté hmotnosti

Vzorka	Saturovaná vzorka	Doba prirodzeného sušenia		Suchý stav	Dosiahnutá hmotnosť
	[g]	[h]	[dni]	[g]	[g]
V1	474,59	445,17	18,55	102,08	102,09
V2	558,93	479,08	19,96	106,54	106,62
V3	519,58	500,67	20,86	105,90	106,01
V4	507,01	477,42	19,89	99,40	99,43
V5	534,3	499,08	20,80	102,46	102,58
<b>Ø</b>	<b>518,88</b>	<b>480,28</b>	<b>20,01</b>	<b>103,28</b>	<b>103,35</b>

Na Obr. 5.2 je zobrazený priebeh uvoľňovania vody zo 100 % saturovaných vzoriek. Sušenie vzoriek predstavovalo lineárny priebeh až po dobu 18. dňa, kedy úbytok hmotnosti začal stagnovať. Spôsobené to bolo zvýšenou vlhkosťou prostredia, v dôsledku ktorej ani nedošlo k 100 % dosiahnutiu hmotnosti suchých vzoriek. Vzorky si zachovávali určitú vlhkosť, v niektorých prípadoch dokonca vlhkosť z prostredia prijali, čím sa im hmotnosť mierne zvýšila. Z tohto dôvodu boli po 20 dni sušenia merania na všetkých vzorkách ukončené.



Obr. 5.2 - Retenčné vlastnosti vzoriek STERED ID 250/050

### 5.3 Čiastkové závery

Počas merania nasiakavosti, retencie a evaporácie sa preukázali výborné vlastnosti materiálu STERED. V nasledujúcej kapitole sú zhrnuté najdôležitejšie údaje, ktoré sa meraniami zistili.

Vzorka STERED ID 250/050 dokázala počas simulácie privalových dažďov:

- po 1 min zväčšiť hmotnosť o 318 %, čo predstavuje absorpciu 32,87 l/m<sup>2</sup>,

- po 2 min zväčšiť hmotnosť o 357 %, čo predstavuje absorpciu 36,91 l/m<sup>2</sup>,
- po 10 min zväčšiť hmotnosť o 393 %, čo predstavuje absorpciu 40,54 l/m<sup>2</sup>,
- po 33 min zväčšiť hmotnosť o 402 %, čo predstavuje absorpciu 45,56 l/m<sup>2</sup>.

V rámci retenčných a evaporáčnych vlastností bola rozhodujúcim faktorom možnosť uvoľňovania vody z materiálu iba prostredníctvom evaporácie, nakoľko sa vzorky nachádzali na rovnom povrchu a voda nemohla prirodzene odtekať. Aby sa čo najviac priblížil reálny stav, vlhkosť prostredia sa pohybovala na úrovni 58 %. Vzhľadom na uvedené podmienky je možné konštatovať, že materiál STERED ID 250/050 dokáže:

- počas jedného dňa uvoľniť 2,59 l/m<sup>2</sup> vody,
- počas jedného týždňa uvoľniť 14,33 l/m<sup>2</sup> vody,
- počas dvoch týždňov uvoľniť 27,07 l/m<sup>2</sup> vody,
- po 20 dňoch uvoľniť všetku vodu a dosiahnuť suchý stav.

Na základe uvedených meraní sa dá povedať, že materiál STERED je výborný na zachytenie veľkého množstva vody za krátky čas. Zároveň, v závislosti na teplote a vlhkosti prostredia dokáže vodu dostatočne dlho zadržať a postupne uvoľňovať. Vodu dokáže uvoľňovať vďaka priamemu odtekaniu, spôsobenému uložením materiálu pod sklonom (tak, ako sa to očakáva pri budovaní konštrukčných vrstiev vozovky), ale najmä prostredníctvom evaporácie. Preto je v prípade použitia materiálu vo vozovke podstatné zvoliť na vrstvu STERED-u také konštrukčné vrstvy, ktoré v čo najväčšej miere umožnia vzliavosť a evaporáciu vody.

Na druhej strane, najväčšou nevýhodou je nehomogénnosť materiálu, takže vlastnosti STERED-u sa líšia nielen medzi jednotlivými doskami, ale aj v rámci jednej dosky, a to v závislosti od materiálového zloženia konkrétnej dosky. Pri nasiakavosti a retenčných vlastnostiach to nepredstavuje veľký problém. Vo všeobecnosti je rozdiel týchto vlastností medzi doskami nepodstatný. Avšak, problém nastáva pri zaťažení dosiek, kedy môže jedna časť dosky vykazovať väčšiu pružnosť, ako druhá. Práve v dôsledku vysokej pružnosti materiálu je dôležité, aby sa tento materiál umiestnil dostatočne hlboko do konštrukcie vozovky. Zamedzí sa tak nežiadúcim priehybom spôsobeným pohybom vozidiel a pružnosť dosky by nemala spôsobovať vznik deformácií na povrchu vozovky.

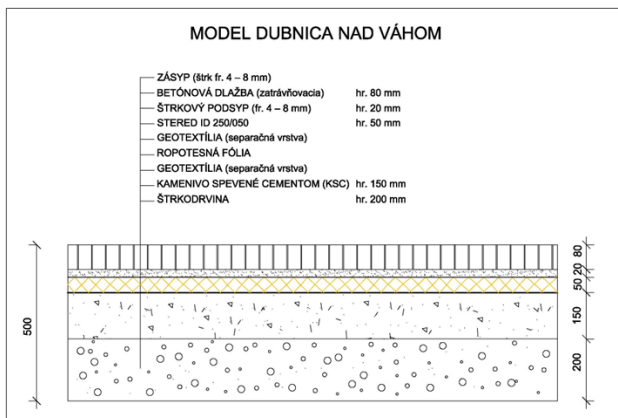
## 6 IZOMORFNÉ MODEL Y VOZOVIEK

Hlavným cieľom experimentálnej časti dizertačnej práce bolo vybudovanie izomorfných modelov vozoviek. Celkovo sa, najmä vďaka spolupráci s praxou, pracovalo s tromi modelmi, pričom sa navzájom líšili skladbami konštrukcií. Pilotným projektom bol izomorfný model v Dubnici nad Váhom, na základe ktorého sa odvíjalo budovanie vlastného modelu na skúšobnom poli Vedeckovýskumného pracoviska SvF UNIZA. Posledným, so stále prebiehajúcim výskumom, je model v areáli spoločnosti INGEO, kde boli aplikované všetky poznatky z predchádzajúcich modelov, optimalizovaný návrh samotnej konštrukcie vozovky a navrhnutý čo najvhodnejší postup merania vlhkosti STERED materiálu.

### 6.1 Izomorfný model Dubnica nad Váhom

V rámci spolupráce bol spoločnosťou PROMA s.r.o. vybudovaný pilotný projekt parkovacích miest v priemyselnom parku v Dubnici nad Váhom. Navrhnutá skladba konštrukcie vozovky

je zobrazená na Obr. 6.1 Je potrebné dodať, že uvedená konštrukcia bola navrhnutá iba pre parkovanie vozidiel do 3,5 t.



Obr. 6.1 - Skladba konštrukcie vozovky pre izomorfný model v Dubnici nad Váhom

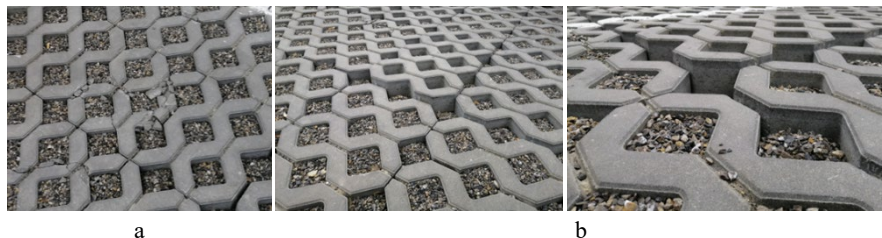
V konštrukcii bola navrhnutá ako spodná podkladová vrstva kamenivo spevnené cementom. Pre oddelenie jednotlivých konštrukčných vrstiev bola použitá separačná geotextília, na ktorej sa nachádzala ropotesná fólia, pre zamedzenie prieniku pohonných hmôt a prevádzkových kvapalín z vozidiel do podložia. Na nej bola opäť položená separačná geotextília, ktorá slúžila aj ako podklad pre vrstvu STERED-u. Dôležité je uviesť, že dosky STERED-u neboli medzi sebou ničím lepené, spájané ani ukotvené. Taktiež nebol povrch STERED-u ničím prekrytý, takže vrstva podsypu sa umiestnila priamo na dosky STERED-u. Samotný kryt vozovky bol tvorený zatrávňovacou betónovou dlažbou, ktorá bola vyplnená štrkodrvinou jemnej frakcie.

### 6.1.1 Čiastkové závery

Po uvedení parkovacích miest do prevádzky boli s odstupom času spozorované nasledujúce poruchy. Ojedinelým prípadom bolo popraskanie a rozdrvenie časti krytu vozovky – betónovej zatrávňovacej dlažby (Obr. 6.2a), čo bolo spôsobené nedostatočným zabránením vjazdu vozidiel nad 3,5 t. Oprava bola uskutočnená výmenou poškodených častí dlažby.

Druhým prípadom, ktorý sa vyskytoval častejšie, bolo zdvihnutie jednotlivých dielov dlažby (Obr. 6.2b). Ako už bolo spomenuté pri určovaní nasiakavosti materiálu, STERED je nehomogénny a zároveň veľmi pružný materiál. V dôsledku jeho nesprávneho umiestnenia do konštrukcie došlo pri zaťažení vozidlom k zatlačaniu štrkového podsypu do dosiek STERED-u, nakoľko medzi vrstvami nebola navrhnutá žiadna geotextília, ktorá by tomu zabránila. Taktiež, v prípade kedy nebola zaťažená celá tvárnica, ale iba časť, došlo k jej nadvihnutiu. V tomto prípade došlo k zosunutiu kameniva pod tvárnicu, čím sa zamedzil jej návrat do pôvodnej polohy po odťažení vozovky. Oprava bola vykonaná opravou časti vozovky do pôvodnej podoby.





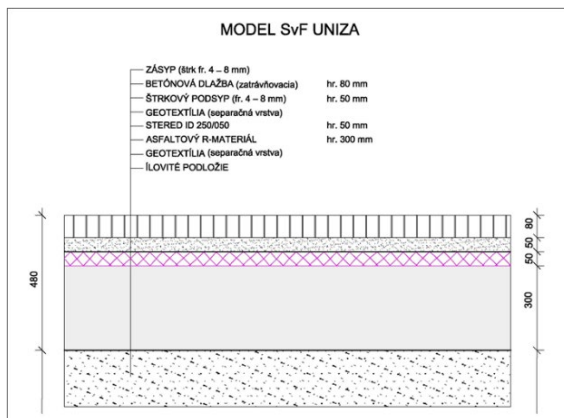
Obr. 6.2 - Poruchy spôsobené: a – vjazdom vozidiel nad 3,5 t, b – nesprávnym umiestnením vrstvy materiálu STERED

Nakoľko sa zistilo, že konštrukcia vozovky nebola správne navrhnutá a nebolo by možné ju v praxi uplatňovať, nepokračovalo sa v ďalšom výskume.

## 6.2 Izomorfný model SvF UNIZA

V rámci riešenia dizertačnej práce prebiehala výstavba vlastného izomorfného modelu vozovky na skúšobnom poli Vedeckovýskumného pracoviska Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline (VVP SvF UNIZA). Rozmer skúšobného poľa bol 3,1 x 3,8 m, čo predstavuje plochu 11,78 m<sup>2</sup>.

Konštrukcia vozovky bola navrhnutá tak, aby v čo najväčšej miere využívala recyklované materiály. Cieľom bolo navrhnuť a vytvoriť tzv. „zelenú“, ekologickú konštrukciu. Skladba navrhutej konštrukcie vozovky je zobrazená na Obr. 6.3.



Obr. 6.3 - Skladba konštrukcie vozovky pre izomorfný model SvF UNIZA

V procese výstavby uvedenej konštrukcie vozovky sa vykonávali merania mechanickej účinnosti jednotlivých vrstiev, najmä podložia a spodnej podkladovej vrstvy. Keďže statická zaťažovacia skúška je pomerne časovo a priestorovo náročná, zvolili sa dva alternatívne spôsoby merania.

### 6.2.1 Meranie mechanickej účinnosti

V rámci hodnotenia mechanickej účinnosti konštrukčných vrstiev vozovky boli použité nasledujúce zariadenia:

- ľahká dynamická doska LDD 100 – zariadenie automaticky vyhodnocuje dynamický modul deformácie  $M_{vd}$ , pričom ako vstupný údaj sa zadáva hodnota Poissonovho čísla pre meraný materiál,
- Clegg-ovo kladivo CIST (Clegg Impact Soil Tester) – výstupným údajom je hodnota CIV (Clegg Impact Value), ktorá sa odčítava po štvrtom páde rázového kladiva.

Pre zabezpečenie čo najpresnejších údajov sa merania LDD 100 vykonávali na dotyk plochy kruhovej zaťažovacej dosky, čo predstavovalo meranie v 11 radoch, vždy po 9 meraní. Celkovo tak bolo počas jedného merania vykonaných 99 čiastkových meraní podložia. Rovnaký počet čiastkových meraní bol uskutočnený aj zariadením CIST, pričom plocha dopadu padacieho kladiva bola umiestňovaná do stredu otlaku plochy po zariadení LDD 100. Počas každého merania boli odobraté tri vzorky zeminu, pre stanovenie vlhkosti. Zemina sa po každom odobratí sušila v sušičke pri teplote 100 °C.

Na podloží, ktoré bolo tvorené súdržnou ílovitou zeminou boli vykonané tri merania, počas ktorých sa zistili nasledujúce vlhkosti  $w$  – 19,08 %; 18,63 % a 17,54 %. Priemerná hodnota modulu pružnosti podložia pre posledné merania predstavovala hodnotu  $M_{vd} = 17,9$  MPa. Následne, na základe štatistického spracovania nameraných údajov boli spracované regresné analýzy rázového modulu deformácie  $M_{vd}$  od hodnoty CIV pre rôzne vlhkosti podložia. Zistené boli pritom nasledujúce lineárne regresné funkcie:

- $M_{vd,w=19,08} = 1,7472 \cdot CIV + 0,6367,$
- $M_{vd,w=18,63} = 1,9661 \cdot CIV - 0,3176,$
- $M_{vd,w=17,54} = 2,1497 \cdot CIV - 0,9708.$

Uvedené lineárne závislosti boli z hľadiska korelačnej analýzy hodnotené na základe Pearsonovho a Spearmanovho korelačného koeficientu [13], pričom vykázali veľmi silnú korelačnú závislosť, čo znamená, že namerané údaje medzi sebou veľmi silne lineárne závisia.

Na spodnej podkladovej vrstve, ktorá bola tvorená vrstvou z asfaltového R-materiálu, presnejšie vrstvou SMA 11, boli taktiež vykonané tri merania. Zistené vlhkosti  $w$  boli na úrovni – 3,78 %; 4,17 % a 2,42 %. Spomedzi všetkých meraní bola najvyššie stanovená priemerná hodnota modulu pružnosti  $M_{vd} = 18,5$  MPa. Pri všetkých meraniach sa ale preukázalo, že vrstva z asfaltového R-materiálu je z hľadiska hodnotených parametrov mechanickej účinnosti nevyhovujúca. V porovnaní s priemerným modulom pružnosti nameraným na podloží predstavovali hodnoty namerané na vrstve z R-materiálu iba 19% nárast mechanickej účinnosti.

### 6.2.2 Čiastkové závery

Cieľom vytvorenia izomorfneho modelu „zelenej“ ekologickej vozovky bolo v čo najväčšej miere využiť recyklované materiály. Okrem vrstvy STERED-u tak bola v konštrukcii navrhnutá vrstva z asfaltového R-materiálu.

Pred začiatkom budovania konštrukcie vozovky bolo potrebné podrobne objektivizovať mechanické charakteristiky podložia, v tomto prípade tvoreného ílovitou zeminou. Namiesto

štandardnej statickej zaťažovacej skúšky boli zvolené dve alternatívy, ktorými sa zisťovali mechanickú účinnosť podložia. Rozhodujúcim faktorom pri uskutočnených meraniach podložia bola aktuálna vlhkosť zeminy. Pre rôzne vlhkosti ílovitého podložia  $w$  boli preto objektivizované lineárne závislosti dynamického modulu deformácie  $M_{vd}$  od hodnoty CIV. Všetky lineárne závislosti vykázali na základe korelačnej analýzy veľmi silnú koreláciu.

V druhom kroku bola položená vrstva z asfaltového R-materiálu, na ktorej sa vykonali rovnaké merania, ako to bolo v prípade podložia. Na základe nameraných výsledkov je možné konštatovať, že použitie asfaltového R-materiálu v podkladových vrstvách vozovky sa v prípade polozenia za studena, s následným zhutnením vibračnou doskou, neodporúča. A to ani v prípade, ak sa uvažuje so stmelením vrstvy prostredníctvom prirodzeného slnečného žiarenia. V prípade použitia asfaltového R-materiálu, je nutné robiť jeho pokládku za vysokých teplôt, či už nahriatím materiálu, alebo v lete, pri vysokom slnečnom žiarení, a najmä zabezpečiť dostatočné zhutnenie vrstvy, napr. valcami.

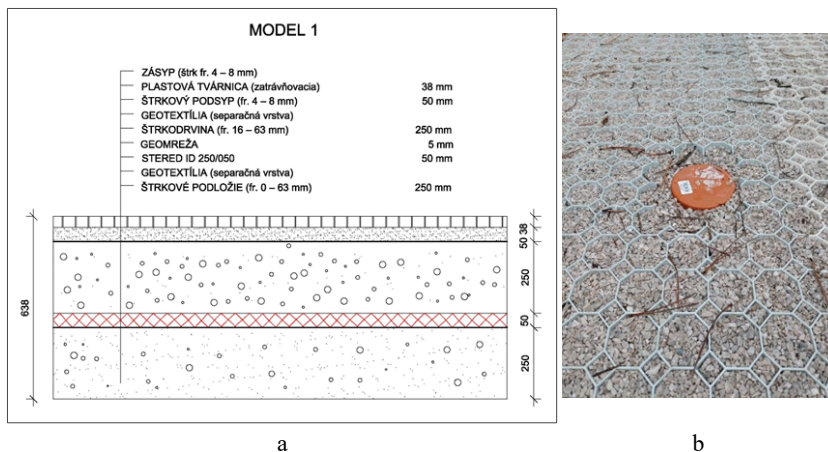
Na základe dosiahnutých výsledkov sa nepokračovalo v ďalšom budovaní „zelenej“ konštrukcie vozovky, nakoľko už samotná podkladová vrstva navrhutej skladby nespĺňala potrebné požiadavky.

### 6.3 Izomorfný model areál INGEO

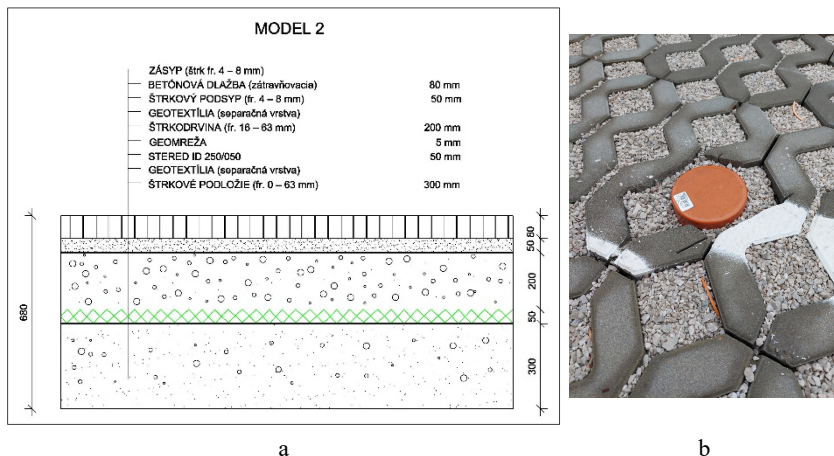
V spolupráci so spoločnosťou PROMA s.r.o. bolo v areáli spoločnosti INGEO a.s. ŽILINA vybudovaných sedem parkovacích miest, pričom boli vybudované tri typy konštrukcií s použitím STERED materiálu:

- Model 1 s krytom tvoreným z plastovej zatrávňovacej tvárnice,
- Model 2 s krytom tvoreným z betónovej zatrávňovacej dlažby,
- Model 3 s krytom tvoreným z betónovej drenážnej dlažby.

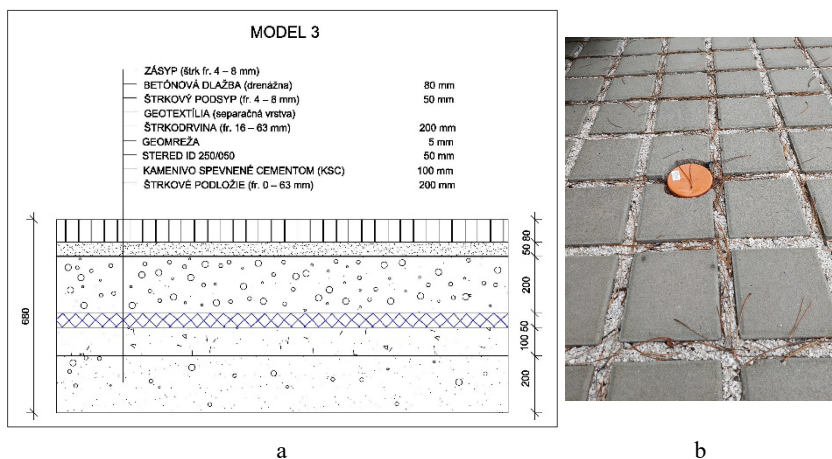
Skladby konštrukcií jednotlivých modelov parkovacích miest aj s ukázkou vyhotovenia sú zobrazené na Obr. 6.4, Obr. 6.5 a Obr. 6.6.



Obr. 6.4 - Model 1: a – skladba konštrukcie, b – ukážka vyhotovenia



Obr. 6.5 - Model 2: a – skladba konštrukcie, b – ukážka vyhotovenia



Obr. 6.6 - Model 2: a – skladba konštrukcie, b – ukážka vyhotovenia

Ako vidieť na Obr. 6.4b, Obr. 6.5b a Obr. 6.6b, pre umožnenie merania vlhkosti materiálu STERED zabudovaného priamo v konštrukcii vozovky, bola do každej skladby vozovky zabudovaná PVC rúra s priemerom 100 mm. Hĺbka umiestnenia rúry sa líši v závislosti na skladbe konštrukcie, pričom vždy ide o umiestnenie na povrch vrstvy STERED-u. Takýmto spôsobom bolo možné priame meranie vlhkosti tohto materiálu, a to prostredníctvom zapichovacieho vlhkomeru Delta-T, typ ML3.

Meraniami IN SITU sa sledovala schopnosť evaporácie vody z dosky STERED, ak sa nad touto vrstvou nachádzajú ďalšie konštrukčné vrstvy s rôznymi povrchmi krytu. Prvé meranie sa uskutočnilo 04.04.2024, pričom išlo o prvý deň, kedy skončilo obdobie daždivých dní.

Nasledoval slnečný týždeň, kedy sa najvyššia denná teplota pohybovala v rozmedzí 20 – 26 °C, preto sa ďalšie meranie vykonalo až 12.04.2024, pričom priemerná teplota za toto obdobie bola 22 °C. V priebehu týždňa sa konštrukcie využívajú pre parkovanie vozidiel, čo v určitej miere zamedzuje a spomaľuje prirodzené odparovanie vody. Z tohto dôvodu sa meranie zopakovali aj počas víkendu, teda o dva dni neskôr (14.04.2024), keď vozovky neboli ničím zaťažené a nič nebránilo prirodzenej evaporácii. Počas víkendu sa priemerná teplota vzduchu pohybovala okolo hodnoty 24 °C. Zatiaľ posledné meranie bolo uskutočnené 17.04.2024, po dvoch dňoch daždivého počasia. Meraním sa preukázala schopnosť materiálu opätovne zadržať prepustenú zrážkovú vodu v konštrukcii.

V každej skladbe vozovky sa zaznamenali tri namerané vlhkosti, pričom po každom odčítaní sa skúsil vlhkomer o niečo viac zatlačiť. Následne sa stanovila priemerná hodnota vlhkosti materiálu STERED v jednotlivých konštrukciách vozovky, ako je to uvedené v Tab. 6.1, Tab. 6.2 a Tab. 6.3.

Tab. 6.1 - Priemerné vlhkosti materiálu STERED v konštrukcii vozovky – Model 1

<b>Model 1 – plastová zatravnovacia tvárnica</b>				
Dátum	04.04.2024	12.04.2024	14.04.2024	17.04.2024
Nameraná vlhkosť [%]	62,4	57,1	40,8	66,9
	63,3	58,2	41,2	67,4
	62,4	58,8	41,0	66,6
<b>Priemerná vlhkosť [%]</b>	<b>62,7</b>	<b>58,0</b>	<b>41,0</b>	<b>67,0</b>

Medzi týždenným meraním došlo pri vozovke s krytom z plastovej zatravnovacej tvárnice k poklesu vlhkosti o 4,7 %. Pri ďalšom meraní, ktoré bolo vykonané o dva dni neskôr bol zaznamenaný pokles vlhkosti o 17 %, čo mohlo byť spôsobené tým, že plocha nebola zaťažená vozidlami. Pri poslednom meraní môžeme vidieť, že po dvoch daždivých dňoch dokázal materiál opätovne nasiaknuť vodu, pričom zvýšil svoju vlhkosť o 26 %.

Tab. 6.2 - Priemerné vlhkosti materiálu STERED v konštrukcii vozovky – Model 2

<b>Model 2 – betónová zatravnovacia dlažba</b>				
Dátum	04.04.2024	12.04.2024	14.04.2024	17.04.2024
Nameraná vlhkosť [%]	75,8	61,4	44,3	68,2
	76,0	61,2	47,0	69,6
	75,2	60,8	49,1	71,4
<b>Priemerná vlhkosť [%]</b>	<b>75,7</b>	<b>61,1</b>	<b>46,8</b>	<b>69,7</b>

Pri vozovke s krytom tvoreným betónovou zatravnovacou dlažbou došlo po týždni odparovania vody z konštrukcie k poklesu vlhkosti o 14,6 %. Následne, meraním cez víkend, došlo k poklesu vlhkosti o ďalších 14,3 %. Posledné meranie ukazuje, že vplyvom dažďa a chladnejšieho počasia sa vlhkosť materiálu v konštrukcii opäť zvýšila, a to o takmer 23 %.

Tab. 6.3 - Priemerné vlhkosti materiálu STERED v konštrukcii vozovky – Model 3

<b>Model 3 – betónová drenážna dlažba</b>			
Dátum	04.04.2024	12.04.2024	14.04.2024
Nameraná vlhkosť [%]	56,2	51,3	44,6
	54,7	51,4	43,9
	54,4	51,7	44,7
<b>Priemerná vlhkosť [%]</b>	<b>55,1</b>	<b>51,5</b>	<b>44,4</b>

Meraniami vlhkosti materiálu STERED vo vozovke s betónovou drenážnou dlažbou sa zistil týždenný pokles vlhkosti v úrovni 3,6 %. Merania sa zopakovali o dva dni neskôr, kedy bol nameraný pokles vlhkosti o 7,1%. Pri tejto konštrukcii vozovky sa nám nepodarilo namerať reprezentatívne hodnoty z merania zo 17.04.2024, ktoré by odpovedali reálnej vlhkosti STERED materiálu. Bolo to spôsobené čiastočným poškodením materiálu STERED, ku ktorému došlo pri skúšaní nového spôsobu merania vlhkosti.

### 6.3.1 Čiastkové závery

Prvé merania vlhkosti sa na odstavných plochách uskutočnili štyri mesiace po ich vybudovaní. Na základe vizuálneho hodnotenia je možné konštatovať, že do tejto doby nedošlo k žiadnym trvalým deformáciám, ako to bolo v prípade parkovacích miest v priemyselnom areáli v Dubnici nad Váhom. Odstavné plochy sú pritom denne využívané na parkovanie. Z tohto hľadiska sa teda zdá, že uloženie materiálu STERED je v dostatočnej hĺbke a skladby vozoviek sú navrhnuté správne.

Hrúbka materiálu STERED je problém, ktorý ovplyvňoval nielen meranie vlhkosti materiálu v laboratórnych podmienkach, ale aj priamo v konštrukcii vozoviek. Ako už bolo spomenuté, materiál STERED sa vyrába v hrúbke 50 mm, avšak dĺžka zapichovacích hrotov vlhkomeru je 60 mm. Ďalším negatívnym vplyvom bol fakt, že materiál je pružný a niektoré vlákna, ktoré sa v ňom nachádzajú sú veľmi odolné, čo často bránilo úplnému zapichnutiu vlhkomeru do dosky. Z tohto dôvodu nastávali opäť ďalšie odchýlky, ktoré znehodnocovali správnosť nameraných výsledkov.

V prípade nasiakavosti môžeme povedať, že materiál svoju úlohu splnil. Ani po výdatných dažďoch nedošlo k zaplaveniu vozovky, voda sa neudržiavala na povrchu vozovky, ale dostala sa do spodných vrstiev, prípadne otekala. Posledným meraním zo 17.04.2024 sa preukázalo, že materiál je schopný aj opätovného zadržiavania vody, a to v rovnej miere ako pri prvom nasiaknutí.

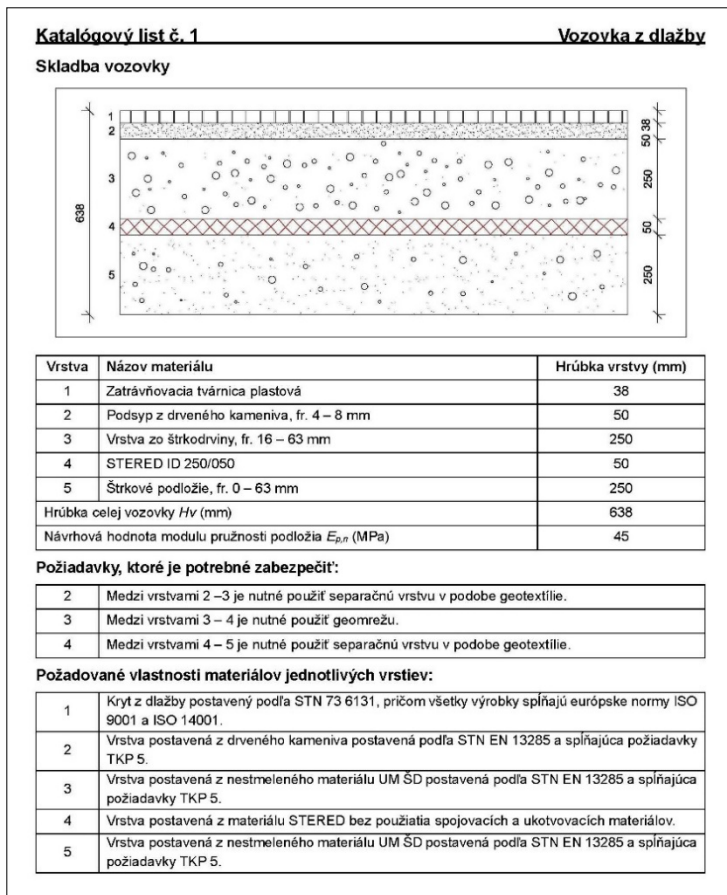
V súčasnosti nie je možné jednoznačne povedať, ktorá skladba konštrukcie vozovky je z pohľadu evaporácie najefektívnejšia. Na základe nameraných údajov je možné, aj v prípade vstupujúcich negatívnych faktorov a odchýlok, potvrdiť, že voda sa z materiálu dokáže odparovať. Aby sa však mohla kvantifikovať veľkosť evaporačného účinku, je nutné vykonať ďalšie merania a pokračovať vo výskume, pričom bude potrebné zmeniť spôsob merania vlhkosti. Je potrebné opäť prebrať možnosti merania vlhkosti a zvážiť možnosť trvalého zabudovania meracieho zariadenia napriek tomu, že by to mohlo výrazne ovplyvniť cenu experimentu.

## 7 KATALÓGOVÉ LISTY

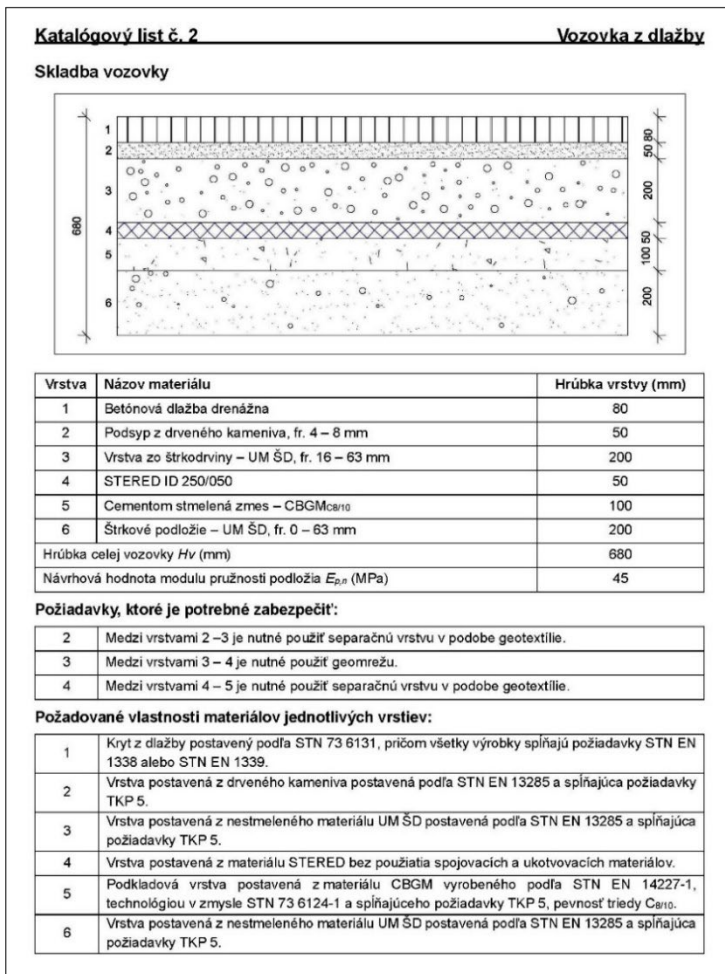
Je dôležité poznamenať, že katalógové listy vozoviek uvedené na Obr. 7.1, Obr. 7.2 a Obr. 7.3 sú vytvorené výhradne pre odstavné plochy s vylúčeným pohybom vozidiel nad 3,5 t, pričom vyhovujú pre TDZ V a TDZ VI.

Všetky katalógové listy obsahujú:

- schému skladby vozovky s odporúčanými hrúbkami jednotlivých konštrukčných vrstiev a celkovú hrúbku vozovky,
- návrhovú hodnotu modulu pružnosti podložia, ktorá spĺňa požiadavky aj pre TDZ V,
- požiadavky, ktoré je v procese budovania vozovky potrebné zabezpečiť,
- požadované vlastnosti materiálov jednotlivých konštrukčných vrstiev.

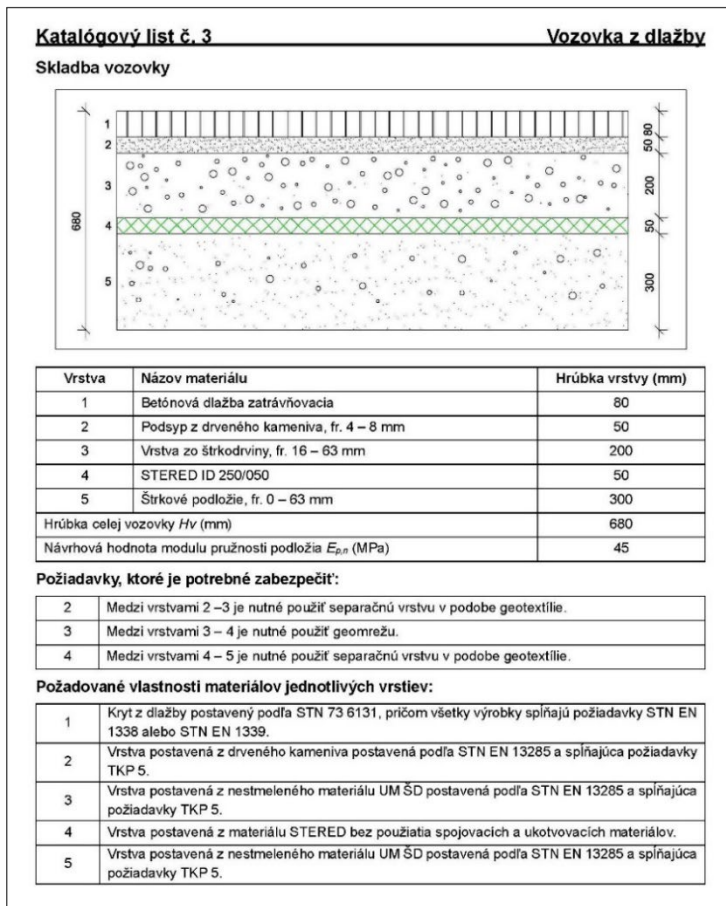


Obr. 7.1 - Katalógový list vozovky s krytom z plastovej zatrávňovacej tvárnice



Obr. 7.2 - Katalógový list vozovky s krytom z betónovej drenážnej dlažby





Obr. 7.3 - Katalógový list vozovky s krytom z betónovej zatrávňovacej dlažby

## 7.1 Čiastkové závery

Záverečným výstupom všetkým aktivit, ktoré boli vykonané v procese riešenia dizertačnej práce bolo spracovanie vybraných katalógových listov environmentálne aktívnych konštrukcií vozoviek pre odstavné plochy s nižším dopravným zaťažením. Skladby konštrukcií vozoviek uvedené v kap. 6.3 (str. 19) sa aktuálne javia ako vhodne navrhnuté, pričom na nich bola preukázaná aj schopnosť opätovnej nasiakavosti a evaporácie vody z konštrukcie. Z tohto dôvodu, sa tieto konštrukcie použili aj pri vytváraní katalógových listov.

Podľa vzoru TP 002 [14] boli spracované tri katalógové listy vozoviek z dlažby, pričom v dvoch prípadoch ide o konštrukciu s krytom z betónovej dlažby, v treťom prípade ide o kryt tvorený plastovými tvárniciami. Každý katalógový list obsahuje schému skladby navrhovanej

konštrukcie, s uvedenými hrúbkami jednotlivých konštrukčných vrstiev. Zároveň obsahuje požiadavky, ktoré je potrebné v procese výstavby zabezpečiť, ako aj požadované vlastnosti materiálov jednotlivých vrstiev.

V prípade, ak ani pri dlhodobom využívaní konštrukcií vozoviek v areáli INGEO nedôjde k vzniku výrazných trvalých deformácií, a bude možné opätovne preukázať požadovaných vlastností materiálu STERED – nasiakavosť a evaporáciu, môžu uvedené katalógové listy v budúcnosti slúžiť ako cenný prínos pre inžiniersku prax, a to v procese navrhovania odstavných a spevnených plôch.

## 8 ZÁVER

Dizertačná práca bola zameraná na možnosti využitia odpadového textilného materiálu STERED v konštrukciách spevnených dopravných plôch. Cieľom práce bolo navrhnúť a vybudovať konštrukciu vozovky s konštrukčnou vrstvou zo STEREDU tak, aby v prípade prívalových dažďov fungovala ako vodozádržné zariadenie. Na druhej strane, zachytená voda by sa z tejto konštrukčnej vrstvy vozovky postupne odparovala, čo by mohlo viesť k ochladzovaniu prostredia. Pre dosiahnutie takejto vozovky bolo potrebné správne zakomponovať do konštrukcie vozovky vrstvu zo STERED dosiek. Výsledky práce naznačujú, že materiál STERED má významný potenciál pre využitie v dopravných stavbách, predovšetkým vďaka jeho schopnosti absorbovať a postupne uvoľňovať vodu, čo môže prispieť k zlepšeniu mikroklimy. V rámci dizertačnej práce boli tiež spracované katalógové listy pre nové spevnené, parkovacie a odstavné plochy, ktoré môžu slúžiť ako vzor pri navrhovaní ekologicky šetrných a funkčných vozoviek.

### 8.1 Závery pre rozvoj vednej disciplíny

- vzhľadom na zistené rozdiely pri porovnaní stanovenia návrhových hodnôt indexov mrazu na základe lineárnych závislostí a na základe máp návrhových hodnôt indexov mrazu uvádzaných v STN 73 6114, je vhodné pokračovať v objektivizovaní týchto závislostí na základe dostupnosti údajov, aby sa zabezpečilo čo najpresnejšie stanovenie návrhových hodnôt indexov mrazu pre jednotlivé oblasti Slovenska,
- laboratórnymi meraniami sa zistili konkrétne parametre nasiakavosti a retenčných a evaporáčnych vlastností materiálu STERED. Nepreskúmanú oblasť predstavuje vplyv nízkych teplôt a mrazu na jeho materiálové charakteristiky. Preto je dôležité pokračovať v ďalších laboratórnych meraniach,
- v prípade rozšírenia meraní dynamického modulu deformácie pri rôznych vlhkosťach zeminy môže zariadenie CIST predstavovať plnohodnotnú náhradu za rázovú zaťažovaciu skúšku LDD 100, s následným prepočtom na hodnotu dynamického modulu deformácie  $M_{vd}$ ,
- aby sa preukázalo, že skladby konštrukcií odstavných plôch v areáli INGEO sú vhodne navrhnuté, že zabudovanie materiálu STERED nespôsobuje negatívne zmeny, trvalé deformácie, ani poruchy krytu, je potrebné pokračovať v monitorovaní uvedených konštrukcií,
- pri meraní vlhkosti materiálu STERED zapichovacím vlhkomerom vstupovali do meraní odchýlky, preto sa odporúča vykonať merania aj inými zariadeniami na meranie vlhkosti,

- pre stanovenie a porovnanie vplyvu krytu vozovky na možnosť evaporácie vody z konštrukcie vozovky, ako aj presnej percentuálnej/číselnej kvantifikácie efektu evaporácie je potrebné pokračovať v ďalších praktických meraniach a výskumných aktivitách.

## 8.2 Závěry pre inžiniersku prax

- porovnaním dvoch metód stanovenia návrhových hodnôt indexov mrazu sa ako efektívnejšia metóda ukázalo ich stanovenie na základe objektívne zistených lineárnych závislostí, čo predstavuje pomoc pri efektívnom navrhovaní konštrukcií vozoviek, kedy je nevyhnutné stanoviť klimatické podmienky,
- potvrdila sa výborná nasiakavosť a retencia materiál STERED, čo ponúka možnosť jeho uplatnenia v rôznych odvetviach, kde je požiadavka na rýchlu absorpciu väčšieho množstva zrážok,
- z hľadiska hodnotenia únosnosti a zhutnenia zemín môže byť navrhnutý „Systémový prístup kontroly zhutnenia podložia vozoviek prostredníctvom zariadenia CIST“ vhodnou pomôckou pri rozhodovaní sa, aký postup, prípadne aké zariadenie je vhodné použiť pri rozhodujúcich podmienkach, ktorými sú v tomto prípade čas a priestor,
- preukázala sa schopnosť materiálu STERED plniť jeho retenčné a evaporačné vlastnosti aj v prípade jeho zabudovania do konštrukcií odstavňových plôch,
- zrealizované konštrukcie vozoviek v areáli spoločnosti INGEO sa preukázali ako vhodná alternatíva pre spevnené a odstavňové plochy s využitím odpadových materiálov,
- spracované katalógové listy predstavujú jednu z možností adaptácie spevnených a odstavňových plôch na zmenu mikroklimy v podmienkach Slovenska, najmä na privalové dažde.

## 9 SUMMARY

The dissertation thesis was focused on the possibilities of using waste textile material STERED in the construction of paved transport surfaces. The work aimed to design and construct a pavement structure with a structural layer of STERED to act as a water retention device in case of torrential rains. On the other hand, the captured water would gradually evaporate from this structural pavement layer, which could lead to a cooling of the environment. To accomplish such a pavement, it was necessary to properly incorporate a layer of STERED slabs into the pavement structure. The results indicate that the STERED material has significant potential for use in transport structures, primarily due to its ability to absorb and gradually release water, which may contribute to the improvement of the microclimate. Additionally, catalogue sheets for new paved, parking, and lay-by areas were developed within the dissertation, which may serve as a model for designing environmentally friendly and functional pavements.

### 9.1 Conclusions for the development of the scientific discipline

- considering the differences found when comparing the determination of frost index design values based on correlation dependencies and the maps of frost index design values presented in STN 73 6114, it is appropriate to continue to objectify these dependencies

based on the availability of data to ensure that the frost index design values for different regions of Slovakia are determined as accurately as possible,

- laboratory measurements were performed to determine the specific parameters of water absorption, retention, and evaporation properties of the STERED material. An unexplored area is the effect of low temperatures and freezing on its material characteristics. It is therefore important to continue with further laboratory measurements,
- in the case of extending the dynamic modulus of deformation measurements at different soil moisture contents, the CIST device can be a full-fledged alternative to the LDD 100 impact load test, with subsequent conversion to the dynamic modulus of deformation value  $M_{vd}$ ,
- to demonstrate that the structures of the INGEO parking areas are appropriately designed and that the incorporation of STERED material does not cause negative changes, permanent deformations, or cover failures, it is necessary to continue monitoring of the constructions,
- when measuring the moisture content of the STERED material with a plug-in moisture meter, deviations were included in the measurements, therefore it is recommended to make measurements with other moisture measuring devices,
- further practical measurements and research activities are needed to determine and compare the effect of the pavement cover on the possibility of water evaporation from the pavement structure, as well as to quantify the evaporation effect accurately in percentage/numerical terms.

## 9.2 Conclusions for engineering practice

- by comparing the two methods of determining the design values of frost indexes, determining them based on objectively established correlation dependencies proved to be the more efficient method. This is an aid to the efficient design of pavement structures when it is necessary to determine the climatic conditions,
- STERED's excellent water absorption and retention has been confirmed, offering the possibility of its application in various industries where there is a requirement for rapid absorption of large amounts of precipitation,
- from the point of assessment of the bearing capacity and compaction of soils, the proposed "A systematic approach for the compaction control of pavement subgrades by using CIST" may be a suitable aid in deciding which procedure or equipment is appropriate to use under the critical conditions, which in this case are time and space,
- the ability of STERED to perform its retention and evaporation properties has been demonstrated, even when embedded in the construction of parking areas,
- the constructed pavement structures on the INGEO premises have proven to be a suitable alternative for paved and parking areas utilizing waste materials,
- processed catalogue sheets represent one of the possibilities of adaptation of paved and parking areas to the change of microclimate in the conditions of Slovakia, especially to torrential rains.

## Zoznam použitej literatúry

- [1] STN 73 6114 *Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie*. Bratislava, Slovensko: Úrad pre normalizáciu, metrológiu a skúšobníctvo SR, 2021.
- [2] M. Abukhattala, "Use of recycled materials in road construction," in *International Conference on Civil, Structural and Transportation Engineering*, Ottawa, Canada, May 2016, pp. 1–8. doi: 10.14311/bit.2021.01.06.
- [3] European Circular Economy Stakeholder Platform., "Greenful Panels: construction materials made from recycled waste. [cit. 2024-02-07]. Dostupné online: <https://circulareconomy.europa.eu/platform/en/good-practices/greenful-panels-construction-materials-made-recycled-waste>."
- [4] RETEX., "NAŠE MISE A VIZE. [cit. 2024-02-11]. Dostupné na: <https://www.retex.cz/o-nas/kdo-jsme/nase-vize/>."
- [5] RETEX., "Další zelená tramvajová trať v Ostravě. [cit. 2024-02-07]. Dostupné na: <https://retex-old.yotlix.cz/2021/07/20/zelena-tramvajova-trat/>."
- [6] ekolist.cz., "Jihomoravský Retex dodá letos Izraeli textilie na zelené střechy. [cit. 2024-02-07]. Dostupné online: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/jihomoravsky-retex-doda-letos-izraeli-textilie-na-zelene-strechy>."
- [7] SK-Tex., "Sme najväčší spracovateľ textilných odpadov na Slovensku. [cit. 2024-02-11]. <https://sk-tex.com/#o-nas>."
- [8] BioClio., "Fyzikálny a fyziologický VÝPAR. [cit. 2022-09-15]. Dostupné online: <https://bioclio.com/vypar/>."
- [9] J. Plesník, "Stered - unikátna technológia zo Slovenska. [cit. 2022-09-15]. Dostupné online: <http://www.stered.sk/wp-content/uploads/2014/02/smallSlovPrezentaciaStered24.1.pdf>."
- [10] J. Plesník, "STERED® – nový konštrukčný zvukovo a tepelnoizolačný materiál. [cit. 2022-09-15]. Dostupné online: <http://www.stered.sk/wp-content/uploads/2014/07/TOP-2012-predn%C3%A1%C5%A1ka-STERED-nov%C3%BD-kon%C5%A1ruk%C4%8Dn%C3%BD-materi%C3%A1l.pdf>."
- [11] M. Decky, K. Hodasova, P. Schudish, and J. Plesnik, "Kontextový dizajn vozoviek parkovacích stojísk z aspektu klimatických zmien," *Inžinierske stavby*, pp. 50–54, 2022.
- [12] M. Decky, K. Hodasova, Z. Papanova, and E. Remisova, "Sustainable Adaptive Cycle Pavements Using Composite Foam Concrete at High Altitudes in Central Europe," *Sustainability*, vol. 14, no. 15, p. 9034, Jul. 2022, doi: 10.3390/su14159034.
- [13] K. Hodasova, J. Musuta, M. Decky, and M. Kudelcikova, "Innovative Quality Assessment of Pavement Subgrades Using the Glegg Impact Soil Tester," *Applied Sciences*, vol. 14, no. 2, 2024, doi: 10.3390/app14020876.
- [14] *TP 002 Katalóg konštrukcií vozoviek pre nápravové zaťaženie 115 kN*. Bratislava, Slovensko: Ministerstvo dopravy, výstavby a regionálneho rozvoja SR, Sekcia cestnej dopravy a pozemných komunikácií, Slovenská správa ciest, 2017.

## Zoznam publikovaných prác autora

- DECKY, M. – HODASOVA, K. – PAPANOVA, Z. – REMISOVA, E. 2022. *Sustainable adaptive cycle pavements using composite foam concrete at high altitudes in Central Europe*. In: Sustainability. 2022. roč. 14(15), č. 9034, s. 21. DOI: doi.org/10.3390/su14159034.
- DECKÝ, M. – HODÁSOVÁ, K. – SCHUDISH, P. – PLESNÍK, J. 2022. *Kontextový dizajn vozoviek parkovacích stojísk z aspektu klimatických zmien*. In: Inžinierske stavby / Inženýrské stavby 3/2022: Vedecko-odborný recenzovaný časopis. Bratislava: JAGA GROUP, s. r. o., 2022. s. 50–53. ISSN: 1335-0846.
- DECKÝ, M. a kol. 2023. *Trvaloudržateľné materiály a technológie výstavby vozoviek a spevnené dopravných plôch*. 2. vyd. Žilina: EDIS-vydavateľstvo UNIZA, 2023. 282 s. ISBN: 978-80-554-2029-5.
- HODÁSOVÁ, K. – DECKÝ, M. – SCHUDISH, P. 2022. *Klimaticky aktívne spevnenia dopravných plôch v podmienkach Strednej Európy*. In: Cestné staviteľstvo v meniacich sa podmienkach: XXVII. Seminár Ivana POLIAČKA. Bratislava: Kongres STUDIO, spol. s. r. o., 2022. s. 32–40. ISBN: 978-80-89565-58-0.
- HODASOVA, K. – KULAS, A. 2023. *Recycled materials as part of climate adaptive paved surfaces*. In: Transportation Research Procedia: TRANSCOM 2023: 15th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport. 2023. roč. 74, s. 1087–1093. DOI: doi.org/10.1016/j.trpro.2023.11.247.
- HODÁSOVÁ, K. – MUŠUTA, J. – DECKÝ, M. 2023. *Systémový prístup hodnotenia zhutnenia nestmelených konštrukčných vrstiev vozoviek s využitím Clegg Impact Soil Tester*. In: Inžinierske stavby / Inženýrské stavby 3/2023: Vedecko-odborný recenzovaný časopis. Bratislava: JAGA GROUP, s. r. o., 2023. s. 34–37. ISSN: 1335-0846.
- HODASOVA, K. – MUSUTA, J. – DECKY, M. – KUDELICKOVA, M. 2024. *Innovative Quality Assessment of Pavement Subgrades Using the Glegg Impact Soil Tester*. In: Applied Sciences. 2024, roč. 14(2), č. 876, s. 18. DOI: doi.org/10.3390/app14020876.