

ŽILINSKÁ UNIVERZITA V ŽILINE  
Stavebná fakulta  
Katedra cestného a environmentálneho  
inžinierstva

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

**ENVIRONMENTÁLNA OPTIMALIZÁCIA ZHODNOCOVANIA  
ASFALTOVÝCH MATERIÁLOV V KONŠTRUKCIÁCH VOZOVIEK**

**Ing. Michal Juhás**

Žilina marec 2023

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

Predkladateľ: Ing. Michal Juhás

Školiteľ: prof. Dr. Ing. Martin Decký

Oponenti:

1. doc. Ing. Andrea Zuzulová, PhD., Katedra dopravných stavieb, SvF STU Bratislava
2. Ing. Gabriela Tisoňová, PhD., riaditeľka Odboru dopravy žilinského samosprávneho kraja
3. doc. Ing. Eva Remišová, PhD., Katedra cestného a environmentálneho inžinierstva, SvF UNIZA

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.

prof. Ing. Marián Drusa, PhD.  
Predseda spoločnej odborovej komisie

## ÚVOD

V súčasnosti je výrazná šanca na zvýšenie *environmentálnych priorít v navrhovaní, výstavbe a prevádzke pozemných komunikácií* z dôvodu, že Európsky Plán obnovy prinesie SR finančné investície za takmer 6 miliárd eur do zelenej ekonomiky, zdravotníctva, vzdelávania, vedy a výskumu, ako aj verejnej správy a digitalizácie. **SR z Plánu obnovy získa na zlepšenie životného prostredia a zdravia ľudí jednu miliardu eur.** Prioritami MŽP SR sú [1]:

- zelená obnova rodinných domov,
- **adaptácia na zmenu klímy** a,
- **dekarbonizácia priemyslu.**

O týchto skutočnostiach informoval minister životného prostredia Ján Budaj v marci 2021, a práve uvedeným skutočnostiam (zvýraznený text) sa venuje predkladaná dizertačná práca (DP). V rámci riešenia dizertačnej práce bolo vychádzané z vedeckej školy prof. Čoreja, ktorú školiteľ abstrahoval do svojich výskumných, edukačných, odborných a publikačných (obr.1) aktivít nasledujúcou premisou. Súčasťou integrovanej dopravnej infraštruktúry (IDI) Slovenska, vrátane ich vozoviek, majú byť navrhnuté, postavené, spravované, udržiavané, likvidované za primeranú cenu, v primeranej kvalite, rešpektujúc relevantné požiadavky užívateľov, obyvateľov ich okolia a zásady trvalo udržateľného rozvoja počas celého životného cyklu. Komplexná IDI Slovenska musí zabezpečiť multimodálnu, interoperabilnú, bezpečnú dopravu s čo najnižšou uhlíkovou stopou zameranou na rozvoj a súdržnosť regiónov, cestovného ruchu, s maximálnou ekonomicky prijateľnou minimalizáciou environmentálneho hluku, znečistenia ovzdušia, vibrácií indukovaných dopravou a v konečnom dôsledku prispievať k spokojnosti občanov [2-4]. Uvedená premisa v sebe implicitne obsahuje všetky kredibilitné priority **trvaloudržateľnej prípravy, výstavby a správy (TUPVS)** vozoviek pozemných komunikácií (PK). Z prezentovanej problematiky zlepšenia životného prostredia prostredníctvom minimalizácie negatívnych dopadov v životnom cykle PK sa DP zameriava najmä na:

- možnosti šetrenia neobnoviteľných prírodných zdrojov prostredníctvom systémového prístupu k zhodnocovaniu existujúcich stavebných konštrukcií s akcentom na cirkulárnu ekonomiku – tejto problematike sa dlhodobo venujeme od r. 2010 [5], [6-9].
- klimatickú adaptabilitu súčastí PK a to najmä konštrukčných vrstiev vozoviek – prioritná kooperačná výskumná problematika so školiteľom [10], [11-12], [13].

Školiteľ z problematiky implementácie environmentálneho designu vozoviek, cirkulárnej ekonomiky, klimatickej adaptability do cestného inžinierstva prezentoval za posledných 10 rokov najmä publikácie [6-46].

## 1 CIELE DIZERTAČNEJ PRÁCE

**Cestné inžinierstvo (CI)** – predstavuje súbor činností súvisiacich s optimalizáciou procesov pri plánovaní, modelovaní dynamických systémov a ich aplikáciami pri výstavbe a správe v celom životnom cykle prvkov dopravnej infraštruktúry a to predovšetkým pozemných komunikácií (PK – diaľnic, ciest a miestnych komunikácií). Cestné inžinierstvo v sebe obsahuje najmä tieto substanciálne integračné subsystémy [45]:

- plánovanie dopravnej infraštruktúry,
- **materiálové inžinierstvo v dopravných stavbách,**
- **environmentálne inžinierstvo v dopravných stavbách,**
- integrované dopravné systémy,
- informačné systémy hospodárenia s PK vrátane ich súčastí a objektov,
- inteligentné dopravné systémy,
- subsystém zohľadnenia požiadaviek užívateľov a obyvateľov okolia PK...

CI začiatku 21. storočia musí implikovať medziodborové celosvetovo etablované holistické prístupy k príprave, výstavbe, správe, recyklácii, rehabilitácii, likvidácii súčastí PK. Všetky činnosti CI je potrebné realizovať za primeranú cenu, v primeranej kvalite, s cieľom zabezpečiť multimodálnu, interoperabilnú, bezpečnú dopravu s čo najnižšou uhlíkovou stopou zameranou na rozvoj regiónov a v konečnom dôsledku prispievať k spokojnosti občanov a kvalite ich života.

Pri výstavbe inžinierskych stavieb, najmä líniových, sa spotrebuje enormné množstvo prírodných zdrojov. V dnešnej dobe ale dokážeme tieto prírodné zdroje nahradiť alternatívnymi zdrojmi medzi ktoré patria aj odpady. Ako uvádza autor v [47], je celkom iste nezvratným faktom, že planéta Zem disponuje určitou fyzicky obmedzenou zásobou nerastných surovín, ktorá by v prípade nemenných spotrebných a výrobných vzorcov mohla byť vyčerpaná.

Na základe uvedených skutočností v rámci riešenia dizertačnej práce bude prioritnou témou holistický koncept implementácie cirkulárnej (obehovej) ekonomiky do celého životného cyklu vozoviek PK zohľadňujúci klimatické zmeny Strednej Európy. Snahou bude využiť naj novšie domáce aj zahraničné výsledky výskumu v predmetnej oblasti [48-59].

V rámci obhajoby projektu dizertačnej práce komisia pod vedením prof. Ing. Libora Ižvolta, CSc. spresnila tézy dizertačnej práce nasledujúcim spôsobom:

- *objektívizácia vývoja priemerných ročných a maximálnych denných teplôt vzduchu od nadmorskej výšky obývaných sídelných útvarov Slovenska za obdobie 1971 až 2020,*
- *uskutočnenie laboratórnych skúšok CBR podľa STN 72 1016 a IBI podľa STN EN 13286-47 frézovaných asfaltových zmesí zo starých vozoviek nepoužiteľných pre opätovné použitie v nových asfaltových zmesiach pri rôznych teplotách,*
- *spracovanie korelačných závislostí hodnotenia kvality zhutnenia nestmelených konštrukčných vrstiev vozoviek normovými a inovatívnymi metodikami*
- *spracovanie odporúčaní pre optimalizáciu navrhovania a výstavby nestmelených konštrukčných vrstiev vozoviek zo starých asfaltov stmelených materiálov,*
- *vypracovanie systémového prístupu zhodnocovania asfaltom stmelených materiálov v nestmelených konštrukciách vozoviek zohľadňujúce klimatické zmeny a zásady cirkulárnej ekonomiky.*

Z veľmi širokej problematiky TUVPS (pozri Úvod) vozoviek PK, sa predkladaná dizertačná práca venuje holistickému prístupu k zhodnocovaniu zmesných R-materiálov vzniknutých búracím resp. frézovacím postupom odstraňovania starých krytov asfaltových vozoviek.

## **2 HOLISTICKÝ KONCEPT TUPVS VOZOVIEK DOPRAVNÝCH STAVIEB**

Vychádzajúc z vedeckej školy prof. Čoreja a prof. Deckého pri riešení DP vychádzame so školiteľom z nasledujúcej premisy. Komplexná IDI Slovenska musí zabezpečiť multimodálnu, interoperabilnú, bezpečnú dopravu s čo najnižšou uhlíkovou stopou zameranou na rozvoj a súdržnosť regiónov, cestovného ruchu, s maximálnou ekonomicky prijateľnou minimalizáciou environmentálneho hluku, znečistenia ovzdušia, vibrácií indukovaných dopravou a v konečnom dôsledku prispievať k spokojnosti občanov [14]. Podľa autorov [14]. uvedená vedecko-edukačná premisa v sebe implicitne obsahuje všetky kredibilné priority TUV (trvaloudržateľnej výstavby) vozoviek pozemných komunikácií.

Autori sa pokúšajú podnieť širšiu diskusiu k holistickému prístupu k trvaloudržateľnej príprave, výstavbe a správe (TUPVS) a to najmä ich vozoviek. Autori v rámci svojich aktivít doposiaľ publikovali najmä parciálne prístupy k:

- trvaloudržateľnej príprave (TUP) vozoviek,
- trvaloudržateľnej výstavbe (TUV) vozoviek,
- trvaloudržateľnej správe (TUS) vozoviek.

## **3 SYSTÉMY HODNOTENIA UDRŽATEĽNOSTI STAVIEB**

V kapitole som sa zameril na globálne systémy hodnotenia udržateľnosti stavieb. V minulosti boli stavby prioritne navrhované konvenčným lineárnym spôsobom. V súčasnosti sa projektanti aj investori snažia využívať navrhovať stavby cyklickým spôsobom. V podkapitole 3.1 je pozornosť venovaná najmä globálnym systémom hodnotenia stavieb všeobecne a budovám. V podkapitole 3.2 som sa zameril na spoločné znaky systémov hodnotenia udržateľnosti stavieb a dopravné stavby.

### **3.1 Globálne systémy hodnotenia udržateľnosti stavieb**

### **3.2 Spoločné znaky systémov hodnotenia udržateľnosti stavieb**

## **4 ANALÝZA AKTUÁLNEHO STAVU RIEŠENIA PROBLEMATIKY V SLOVENSKEJ REPUBLIKE A V KRAJINÁCH EÚ**

### **4.1 Definovanie a kategorizácia odpadov**

Prvým a veľmi dôležitým krokom v danej problematike je definovanie druhu odpadu a jeho zaradenie podľa katalógu odpadov, k čomu nám slúžia prvky z legislatívy Slovenskej Republiky napr. zákon č. 79/2015 Z. z. Zákon o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov [71], vyhláška č. 365/2015 Z. z. Vyhláška Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov [72], z európskej legislatívy to je najmä smernica 2008/98/ES [73]. Dôležitým faktorom

sú nároky na kvalitatívne požiadavky na materiály počas životnosti konštrukcie. Druhotné materiály musia spĺňať podmienky podľa viacerých STN.

Práca sa bude zameriavať prioritne na zhodnocovanie stavebných odpadov pri navrhovaní konštrukcií vozoviek pozemných komunikácií, aby týmto procesom bol výsledok čo najefektívnejšej environmentálnej optimalizácie. Tieto odpady patria podľa katalógu odpadov do skupiny číslo 17 a kategórie „O“ - odpady, ktoré nie sú nebezpečné (ďalej len „ostatné odpady“). Sekundárne sa v práci spomenie aj využitie odpadov pochádzajúcich z geologického prieskumu, ťažby, úpravy a ďalšieho spracovania nerastov a kameňa. Tieto odpady patria podľa katalógu odpadov do skupiny číslo 01 a kategórie „O“ - odpady, ktoré nie sú nebezpečné (ďalej len „ostatné odpady“).



Obr. 6 Recyklát splňajúci všetky kvalitatívne požiadavky

Podľa [72], druhy odpadov sú označené šesťmiestnym číselným kódom odpadu, v ktorom prvé dvojčíslenie označuje skupinu odpadov, druhé dvojčíslenie podskupinu odpadov v príslušnej skupine odpadov a tretie dvojčíslenie druh odpadu v príslušnej skupine odpadov a podskupine odpadov.

Poddruhy odpadov sú označené osemmiestnym číselným kódom odpadu, v ktorom prvé dvojčíslenie označuje skupinu odpadov, druhé dvojčíslenie podskupinu odpadov v príslušnej skupine odpadov, tretie dvojčíslenie druh odpadu v príslušnej skupine odpadov a podskupine odpadov a štvrté dvojčíslenie poddruh odpadu v príslušnej skupine odpadov, podskupine odpadov a v príslušnom druhu odpadu.

#### 4.2 Výklad pojmov z legislatívy

Výklad základných pojmov definuje Zákon č. 79/2015 Z. z. [71] - Zákon o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov.

*Odpad* je hnuiteľná vec alebo látka, ktorej sa jej držiteľ zbavuje, chce sa jej zbaviť alebo je v súlade s týmto zákonom alebo osobitnými predpismi povinný sa jej zbaviť.

*Odpadom nie je*

- látka alebo hnuiteľná vec, ktorá je vedľajším produktom,
- špecifický odpad, ktorý dosiahol stav konca odpadu,
- odpad, ktorý prešiel procesom prípravy na opätovné použitie a spĺňa požiadavky na výrobok uvádzaný na trh ustanovené osobitným predpisom,
- odpad odovzdaný na použitie do domácnosti.

*Stav konca odpadu* je stav, ktorý dosiahne odpad, ak prejde niektorou z činností zhodnocovania odpadu alebo recyklácie a spĺňa tieto podmienky:

- látka alebo vec sa má použiť na špecifické účely,
- pre látku alebo vec existuje trh alebo je po nej dopyt,
- látka alebo vec spĺňa technické požiadavky na špecifické účely a spĺňa požiadavky ustanovené osobitným predpisom a spĺňa technické normy alebo je v súlade s inou obdobnou technickou špecifikáciou s porovnateľnými požiadavkami alebo s prísnejšími požiadavkami, ktoré sa uplatňujú na výrobky,
- použitie látky alebo veci nezapríčiňuje celkové nepriaznivé vplyvy na životné prostredie alebo na zdravie ľudí.

#### 4.3 Zatriedenie stavebných odpadov a odpadov z demolácií vrátane výkopovej zeminy z kontaminovaných miest

#### 4.4 Vývoj množstva stavebných a demolačných odpadov

##### 4.4.1 Zdroje vstupných údajov

##### 4.4.2 Porovnanie vstupných údajov a ich vyhodnotenie

##### 4.4.3 Bilancia vzniku odpadov v Slovenskej republike

##### 4.4.4 Porovnanie vstupných údajov a ich vyhodnotenie

##### 4.4.5 Zhodnotenie súčasného stavu zhodnocovania odpadov

#### 4.5 Využitie stavebno demolačných odpadov v praxi

##### 4.5.1 Pokusné pracovisko VYNEKOVO

Pokusné pole (pracovisko) pre výskum nestmelených konštrukcií vozoviek (VYNEKOVO) bolo vytvárané v rokoch 2015 až 2017 (obr.12 a 13). Pôvodná plocha tvoriaca súčasť miestnej komunikácie MK2 (obr.12) bola rozšírená hlinitými zeminami a pokládkou R-materiálu (frézovaných asfaltových zmesí s obsahom hlinitých a kamenitých častí) a v súčasnosti slúži pre odstavenie osobných automobilov a uskladnenie veľkokapacitného kontajnera (obr.14).



Obr. 12 Pohľady na rekonštruovanú MK2 v Pekline dňa 3. 10. 2015



Obr. 13 Pohľady na rekonštruovanú MK2 v Pekline dňa 12. 10. 2015



Obr. 14 Pohľad na PP VYNEKOVO z 4.4.2016 a z 19.0.2017

Výsledky výskumných aktivít na predmetnom pracovisku boli využité v rámci spracovávania diplomových prác, habilitačnej práce ako knižných publikácií a vedeckých príspevkov [3], [12], [39].

#### 4.5.3 Výstavba zemného telesa cesty I/51 Trnava- Severný obchvat, 3. etapa

#### 4.5.4 Príprava vrtných pracovísk pre podzemné zásobárne plynu

#### 4.6. Problematika na území Európskej únie

### 5 MATERIÁLOVÁ ZÁKLADŇA PRE HODNOTENIE STAVEBNÝCH ODPADOV

#### 5.1 Kvalitatívne požiadavky na nestmelené koňštrukčné vrstvy z R-materiálu

Recyklované SDO musia v zmysle požiadaviek zákona č.90/1998 Z.z. [85] spĺňať požiadavky:

- mechanickej pevnosti a stability,
- protipožiarnej bezpečnosti,
- bezpečnosti pri užívaní,
- hygienických a zdravotných predpisov,
- zabezpečenia úspor energie a ochrany životného prostredia.

Recyklované SDO sa v minulosti využívali najmä ako obsypové či zásypové materiály. V súčasnosti poznáme ich širšie využitie a to aj v zemných koňštrukciách.

Fyzikálnomechanické vlastnosti recyklátu sa musia kontrolovať rovnakým postupom ako v prípade prírodného kameniva [86], navyiac sa musia podrobnejšie overovať jeho chemické vlastnosti, ktoré vyplývajú zo spôsobu prvotného použitia, prípadne odstraňovania. Norma STN EN 1744 – „Skúšky na stanovenie chemických vlastností kameniva—, uvádza rozsah skúšok, ktorými sa môže posudzovať vhodnosť recyklátu na rôzne účely použitia alebo na podmienky skladovania. Viaceré skúšobné postupy slúžia na preukázanie a vyjadrenie rozsahu pôsobenia organických nečistôt. Posledná časť tejto normy, špeciálne zameraná na recyklované kamenivo (RK), určuje postup na stanovenie vplyvu zložiek z recyklovaného kameniva rozpustných vodou na začiatok tuhnutia cementu. Norma STN EN 933-11 (november 2009) „Skúška na zatriedenie zložiek hrubého RK" určuje skúšobný postup pre recyklované hrubé kamenivo, s cieľom identifikovať a odhadnúť podiely jednotlivých zložiek. Skúška pozostáva z ručného roztriedenia zrn skúšobnej vzorky hrubého RK a ich zaznamenania do záznamu. Podiel každej zložky v skúšobnej vzorke sa stanoví a vyjadří ako podiel hmotnosti v percentách s výnimkou podielu plávajúcich zrn, ktorý sa vyjadří ako podiel objemu. Ak sa pri tomto postupe nájdu škodlivé látky, mali by sa spracovať v súlade s predpismi platnými na mieste použitia. Pri tejto skúške sa neplávajúce zložky v skúšobnej vzorke hrubého RK ručne roztriedia do 6 tried. Pri vyberaní rozhodujúcich vlastností recyklátu treba potom vychádzať z účelu konečného použitia na základe kategórií uvádzaných normách pre výroby z kameniva, ktoré uvádzajú požiadavky na prírodný, umelý alebo recyklovaný materiál a zmesi týchto materiálov.

## 5.2 Požiadavky na recyklované materiály pre vhodnosť do zemného telesa

Podľa STN 73 6133 [87] recyklované materiály z pozemných, priemyselných a dopravných stavieb určených na stavbu zemného telesa nesmú obsahovať nežiaduce látky organického pôvodu a látky, ktoré pri styku s vodou a klimatických vplyvov menia nadmerne svoj objem, pevnosť a tvar alebo dochádza k chemickým zmenám (drevo, sadra, omietky, oceľový odpad a pod.). Z toho vyplýva, že R – materiály môžu byť použité v zemnom telese, ak spĺňajú určité kvalitatívne požiadavky. Všetky recyklované materiály na stavbu zemného telesa musia spĺňať kritéria podľa STN EN 132 42 [88].

## 5.3 Zatriedenie zložiek recyklovaného hrubého kameniva podľa STN EN 132 42

# 6 METÓDY KONTROLY KVALITY ZHUTNENIA NESTMELENÝCH VRSTIEV VOZOVIEK

Na základe etablovanosti skúšok kontroly zhutnenia, disponibility prístrojového vybavenia a v nadväznosti na výskumné aktivity školiteľa boli pre kontrolu kvality zabudovaného zmesného asfaltového R-materiálu (ZRM) zvolené nasledujúce:

- in situ skúšky:
  - dynamická zaťažovacia skúška realizovaná zariadením LDD 100 (obr.23),
  - statická zaťažovacia skúška vykonávaná podľa STN 73 6190 [130] STN 73 6133 [87],
  - rázová skúška prístrojom na meranie zhutnenia zemín podľa Clegga (obr.33),
- laboratórne skúšky v zmysle požiadaviek
  - STN 72 1016 Laboratórne stanovenie pomeru únosnosti zemín (CBR), 1992 [99],
  - STN EN 13286-47 (73 6181) Nestmelené a hydraulicky stmelené zmesi. Časť 47: Skúšobná metóda na stanovenie Kalifornského pomeru únosnosti, indexu okamžitej únosnosti a lineárneho napučievania [126].

Statické a dynamické zaťažovacie skúšky budú vykonané na miestach, kde bol v zemných konštrukciách použitý stavebný odpad a v laboratóriu boli pomocou skúšok CBR testované rôzne druhy zemín v kombinácii s rôznymi druhmi a frakciami stavebného a demolačného odpadu, ktoré budú prvotne zapísané do určitého formátu. Po zaznamenaní všetkých hodnôt vykonaných skúšok sa hodnoty na základe určitej hierarchie zaevidovali do tabuliek.

### 6.1 Dynamická zaťažovacia skúška

### 6.2 Metodika laboratórneho určovania CBR71

### 6.3 Dynamická zaťažovacia skúška pomocou prístroja LDD 100

### 6.4 Postup a vyhodnotenie skúšky CBR a prevod hodnôt na návrhové deformačné charakteristiky

### 6.5 Opis použitého prístrojového zariadenia LDD 100

### 6.6 Skúšobné prístroje a pomôcky laboratórneho určovania CBR

### 6.7 Prístroj na meranie zhutnenia zemín podľa Clegga

# 7 VÝVOJ TEPLÔT VZDUCHU V ZÁVISLOSTI OD NADMORSKEJ VÝŠKY

## 7.1 Základné klimatické faktory determinujúce kvalitu vozoviek

Klimatické podmienky sú popri dopravnom zaťažení jedným zo stálych vonkajších faktorov, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú fyzikálno-mechanické vlastnosti jednotlivých vrstiev vozovky a tým zhoršujú prevádzkovú spôsobilosť a skracujú životnosť konštrukcie vozovky. Nepriaznivý vplyv na vozovky, a to najmä asfaltové, majú vysoké letné teploty. Zvyšovaním teploty asfaltových vrstiev sa znižujú mechanické charakteristiky konštrukčných vrstiev vozovky, čo vedie k nepriaznivému dôsledku na ich pevnostné a deformačné vlastnosti, prejavujúce sa v podobe trvalých deformácií a priečnych nerovností

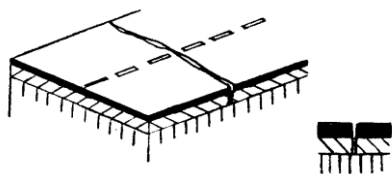


vozoviek. Vysoké teploty nepriaznivo pôsobia aj na CB kryty tunelových vozoviek a v konečnom dôsledku v kombinácii s nekvalitným podkladom spôsobujú, resp. ovplyvňujú ich poruchy krytu obr.34.



Obr. 34 Pohľady na trhliny CB vozovky tunela [115]

Medzi relevantné klimatické vplyvy, ktoré majú nepriaznivý vplyv na jednotlivé vrstvy vozovky a jej podložie je potrebné tiež uviesť *účinky mrazu*. Mraz pôsobí deštruktívne na konštrukčný systém najmä v súčinnosti s vodou. Dlhodobé pôsobenie mrazu spôsobuje premrznutie podložia vozovky s následnými škodami na vozovke. Veľmi nízke teploty spôsobujú mrazové trhliny asfaltových vrstiev, opakované zmrazovanie a rozmrazovanie zhoršuje deformačné a pevnostné charakteristiky stmelených vrstiev a pod. obr.35.



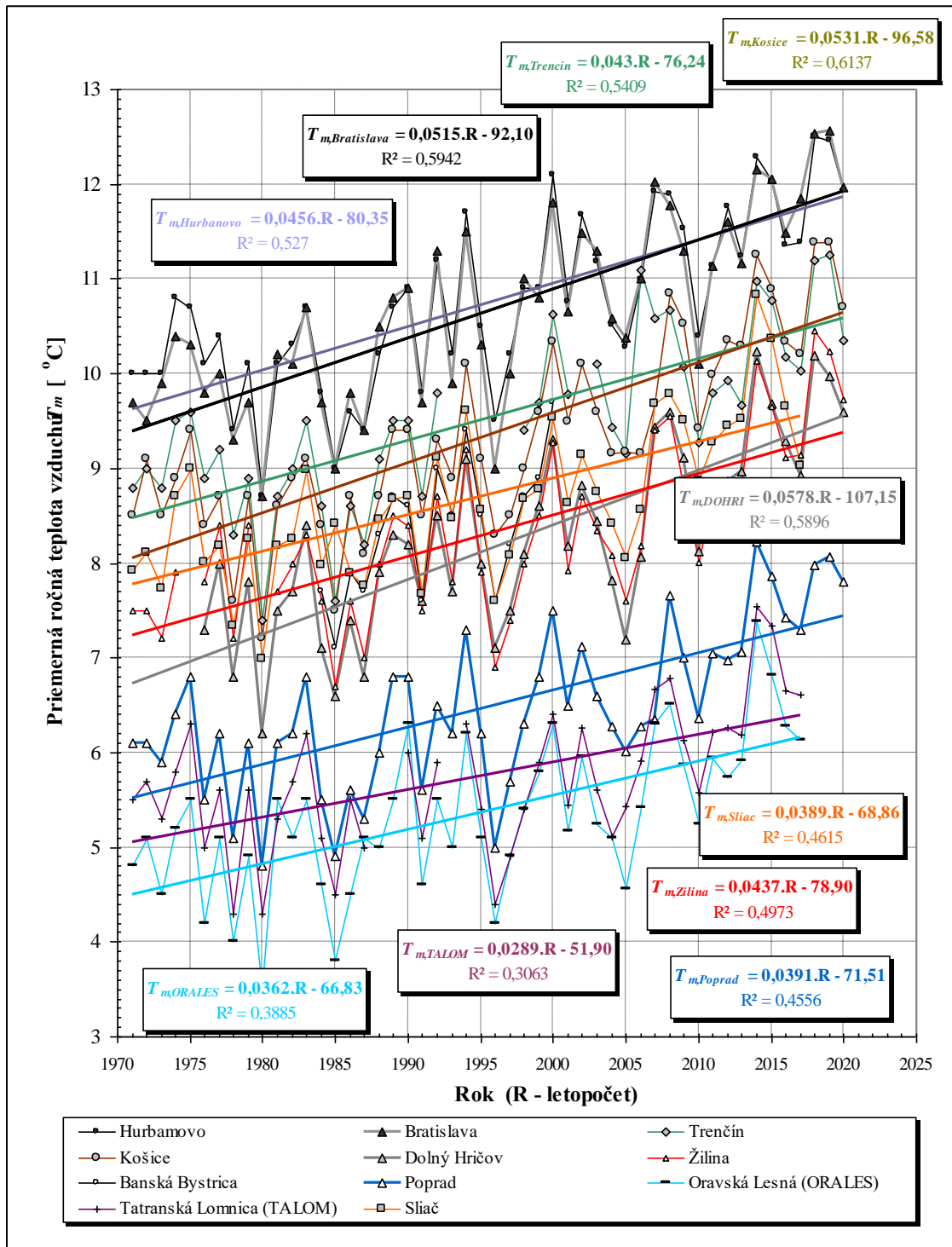
**Popis poruchy:** Trhlina v priečnom smere charakteristická tým, že prechádza vždy cez celú šírku vozovky a má ostré hrany. Prechádza od povrchu do krytu vozovky.



Obr. 35 Pohľad na mrazovú trhlinu a jej opis podľa TP 083 [116]

## 7.2 Vývoj priemerných ročných teplôt vzduchu Slovenska v rokoch 1971 až 2020

Pre účely dizertačnej práce boli získané zo Slovenského hydrometeorologického ústavu nové údaje za obdobie 2010 až 2020. Údaje umožnili získanie *kredibilitných korelačných závislostí* vývoja teplôt vzduchu 10 klimatických staníc s nadmorskou výškou 115 až 858 m n.m. a to od Hurbanova (115 m n.m.) (131 m n.m.), cez Žilinu (365 m) až po Oravskú Lesnú (858 m n.m.) za 50 rokov (obr. 41).



Obr. 41 Vývoj priemerných ročných teplôt vzduchu Slovenska od 1971 do 2020 [13], [121]

Z obrázku 41 je zrejmé, že veľké spevnené plochy (letiská) spôsobujú rýchlejší nárast teplôt ako je to v prípade nespevnených plôch (zeleň, orná pôda,..). Túto skutočnosť názorne vidieť z trendov vývoja teplôt meraných na letiskách Bratislava (čierka farba), Dolný Hričov (sivá farba), Košice (hnedá farba).

### 7.3 Závislosť teplôt vzduchu od nadmorskej výšky

Pre uvedené obdobia rokov 1971 až 2020 (2017) boli spracované korelačné závislosti vývoja  $T_m$  od príslušného roku pre 10 meteorologických staníc. Na základe lineárnych korelačných závislostí nárastu priemernej ročnej teploty  $T_m$  boli pre záujmové obdobie 1971 až 2020 objektivizované hodnoty podľa obr. 41 a tab. 31.

Tab. 31 Priemerné teploty 10 meteorologických staníc Slovenska za obdobie 1971 až 2020, minimálne a maximálne denné teploty za obdobie 1971 až 2020

Názo v meteorologic kej stanice	Nadmor ská výška (NV) [m n.m.]	Prieme rná teplota [°C]	Minimálne priemerné denné teploty $T_{s,min}$		Nárast $T_{m,1971-2020}$ [°C] podľa obr.45			
			Dát um	[° C]	obdo bie	Nár ast	R	
Hurbanovo	115	10,74	12. 1. 1987	20,3 <sup>1)</sup>	-	1971-2020	2,23	0,7259
Bratislava – letisko	131	10,66	8. 1. 1985	19,6 <sup>2)</sup>	-	1971-2020	3) 2,32	0,7708
Trenčín Biskupice	205	9,53	12. 1. 1987	22,8 <sup>1)</sup>	-	bez 93-97	2,11	0,7355
Košice letisko	230	9,35	13. 1. 1987	18,4 <sup>1)</sup>	-	1971-2020	3) 2,37	0,7834
Dolný Hričov	309	7,86	12. 1.1987	23,0 <sup>1)</sup>	-	1976-2020	3) 2,83	0,7679
Sliac	314	8,28	8. 1. 1985	24,1 <sup>2)</sup>	-	1971-2017	1,91	0,6793
Žilina	365	8,34	12. 1. 1987	23,0 <sup>1)</sup>	-	1971-2020	2,14	0,7052
Poprad	695	6,48	13. 1. 1987	24,7 <sup>1)</sup>	-	1971-2020	1,92	0,6750
Tatranská Lomnica	830	5,44	13. 1. 1987	22,7 <sup>1)</sup>	-	1971-2017	1,42	0,5534
Oravská Lesná	858	5,32	-	-	-	1971-2017	1,77	0,6233
Poznámka: <sup>1)</sup> 12. a 13.1.1987, <sup>2)</sup> 8.1.1985, <sup>3)</sup> meteorologická stanica na letisku, <sup>4)</sup> údaje len s 1984-2017								

Na základe korelačnej analýzy je možné posúdiť stupeň súvislosti pomocou určitej charakteristiky, ktorá popisuje, do akej miery hodnoty premennej  $X$  vysvetľujú variabilitu hodnôt premennej  $Y$ . Korelačný koeficient  $R(X, Y)$  vyjadruje mieru lineárnej závislosti dvoch náhodných premenných  $X$  a  $Y$ , vypočítame ho:  $R(X, Y) = \frac{cov(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y}$ , kde  $cov(X, Y)$  je kovariancia náhodných premenných,  $\sigma_X$  a  $\sigma_Y$  sú smerodajné odchýlky. Po dosadení dostaneme vzťah pre výpočet *Pearsonovho korelačného koeficientu*  $R$ :

$$R(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n X_i Y_i - n \bar{X} \bar{Y}}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n X_i^2 - n \bar{X}^2)(\sum_{i=1}^n Y_i^2 - n \bar{Y}^2)}} \quad (7.3)$$

Korelačný koeficient môže nadobúdať hodnoty z intervalu  $[-1, 1]$ . Ak sú premenné lineárne nezávislé, korelačný koeficient je rovný, resp. veľmi blízky nule. Toto neplatí obrátene, ak  $R(X, Y) = 0$ , hovoríme, že  $X, Y$  sú nekorelované. Hodnoty blízke 1 sa interpretujú ako vysoká priama lineárna závislosť, teda existujú  $a, b \in \mathbb{R}, a > 0$  také, že  $Y = aX + b$  s pravdepodobnosťou blízkou 1. Hodnoty blízke -1 sa interpretujú ako vysoká nepriama lineárna závislosť, teda existujú  $a, b \in \mathbb{R}, a < 0$  také, že  $Y = aX + b$  s pravdepodobnosťou blízkou 1.

Pomerne vysoká hodnota korelačného koeficientu teda znamená, že medzi danými premennými je vysoká vzájomná lineárna závislosť, ale nemusí to znamenať, že existuje aj vysoká príčinná závislosť. Stupeň príčinnej závislosti vyjadruje koeficient determinácie  $R^2$ , ktorý je definovaný ako druhá mocnina korelačného koeficientu, je kľúčovým výstupom v rámci

regresnej analýzy. Nadobúda hodnoty z intervalu  $[0,1]$ . Jeho interpretácia vychádza z analýzy variability a vysvetľuje, koľko percent variability závislej premennej  $Y$  ovplyvňuje nezávisle premenná  $X$ . Na základe koeficientu determinácie môžeme teda posúdiť, do akej miery regresný model zodpovedá pozorovaným údajom. Napríklad  $R^2 = 0,5896$  ukazuje, že 58,96% údajov zodpovedá danému regresnému modelu. Pomocou regresnej analýzy môžeme odhadnúť funkčný vzťah, podľa ktorého sa mení hodnota premennej  $Y$  na základe znalosti hodnoty premennej  $X$ . Korelačný koeficient medzi danými premennými musí byť štatisticky významný. Matematický model lineárnej regresie má tvar:  $Y_i = AX_i + B + \varepsilon_i, i = 1, 2, \dots, N$ , kde  $\varepsilon_i$  reprezentujú náhodné chyby. Regresnú priamku môžeme zapísať ako  $\hat{Y}_i = aX_i + b, i = 1, 2, \dots, N$ , kde  $a$  a  $b$  sú neznáme regresné koeficienty. Rozdiely  $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$  predstavujú rezíduá – bodové odhady náhodných chýb. Regresnú priamku chceme nájsť tak, aby rezíduá boli minimálne, regresné koeficienty vypočítame s využitím metódy najmenších štvorcov, pričom minimalizujeme súčet štvorcov rezíduí:

$$\sum_{i=1}^N e_i^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - \hat{Y}_i)^2 = \sum_{i=1}^N (Y_i - aX_i - b)^2. \quad (7.4)$$

Dá sa dokázať, že  $a = R(X, Y) \frac{\sigma_Y}{\sigma_X}, b = \bar{Y} - a\bar{X}$  a regresnú priamku môžeme vyjadriť:

$$Y = R(X, Y) \frac{\sigma_Y}{\sigma_X} (X - \bar{X}) + \bar{Y}. \quad (7.5)$$

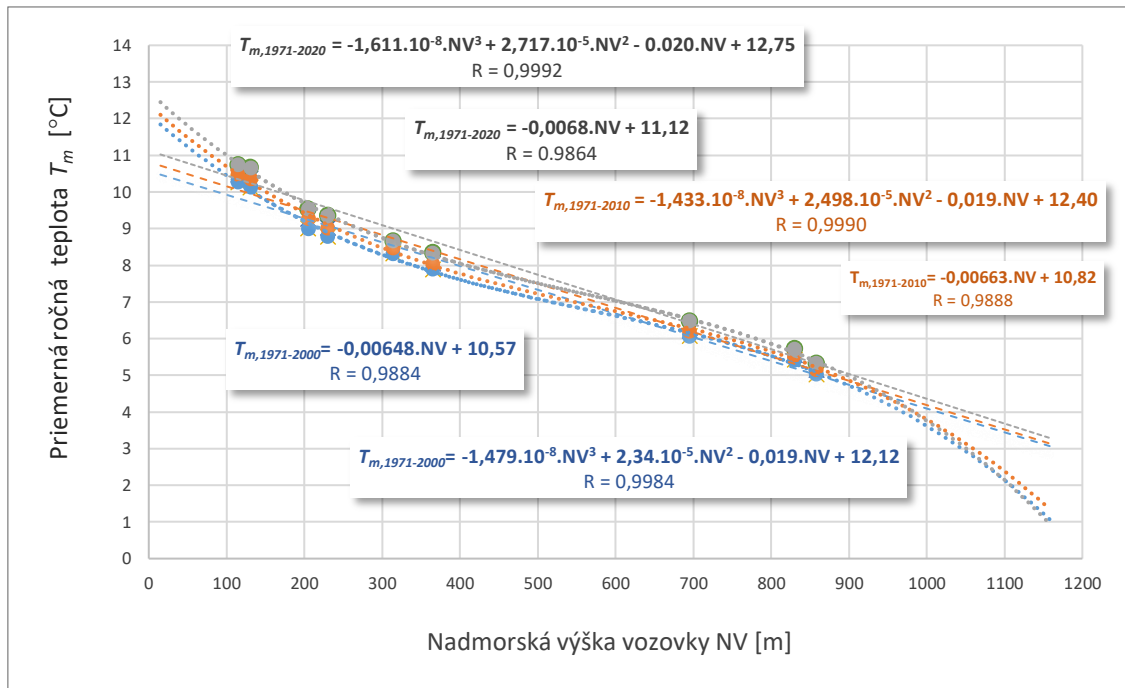
V technickej praxi našli najširšie uplatnenie Spearmanovho a Pearsonovho korelačného koeficientu.

Tab. 32 Spearmanov and Pearsonov korelačný koeficient, stupne zhody a ich slovná interpretácia [121]

Spearmanov korelačný koeficient $\rho$		Pearsonov korelačný koeficient	
Hodnota koeficientu	Korelácia	Hodnota koeficientu	Korelácia
$\rho = 0$	Žiadna korelácia	0,9 to 1,0 (- 0,9 to -1,0)	Veľmi vysoká pozitívna (negatívna) korelácia
$0,0 <  \rho  \leq 0,19$	Veľmi slabá	0,7 to 0,9 (- 0,7 to -0,9)	Vysoká pozitívna (negatívna) korelácia
$0,20 <  \rho  \leq 0,39$	Slabá	0,5 to 0,7 (- 0,5 to -0,7)	Stredná pozitívna (negatívna) korelácia
$0,40 <  \rho  \leq 0,59$	Mierna	0,3 to 0,5 (- 0,3 to -0,5)	Nízka pozitívna (negatívna) korelácia
$0,60 <  \rho  \leq 0,79$	Silná	0,0 to 0,3 (- 0,0 to -0,3)	Zanedbateľná korelácia
$0,80 <  \rho  \leq 0,99$	Veľmi silná		
1,00	Monotónna		

S výnimkou Tatranskej Lomnice bola v zmysle Spearmanovho korelačného koeficientu objektivizovaná silná korelačná závislosť a podľa Pearsonovho korelačného koeficientu bola zistená stredná pozitívna (Sliač, Poprad, Tatranská Lomnica, Oravská Lesná) a pre ostatné stanice vysoká pozitívna korelácia.

Obrázok 42 a tabuľka 33 prezentujú výsledky dlhodobého výskumu v oblasti predikcie vývoja priemernej ročnej teploty vzduchu, ako jedného z limitujúcich faktorov pri posudzovaní cementobetónových krytov tuhých vozoviek. Tabuľka 2 uvádza priemerné ročné teploty  $T_a$  za obdobia 1971-2000, 1971-2010, 1971-2010 a prírastky  $T_a$  medzi rokmi 2020 (2017) a 1971. Uvádza aj prehľady najnižších priemerných denných teplôt uvažovaných období a prehľad korelačných koeficientov z obr. 42.

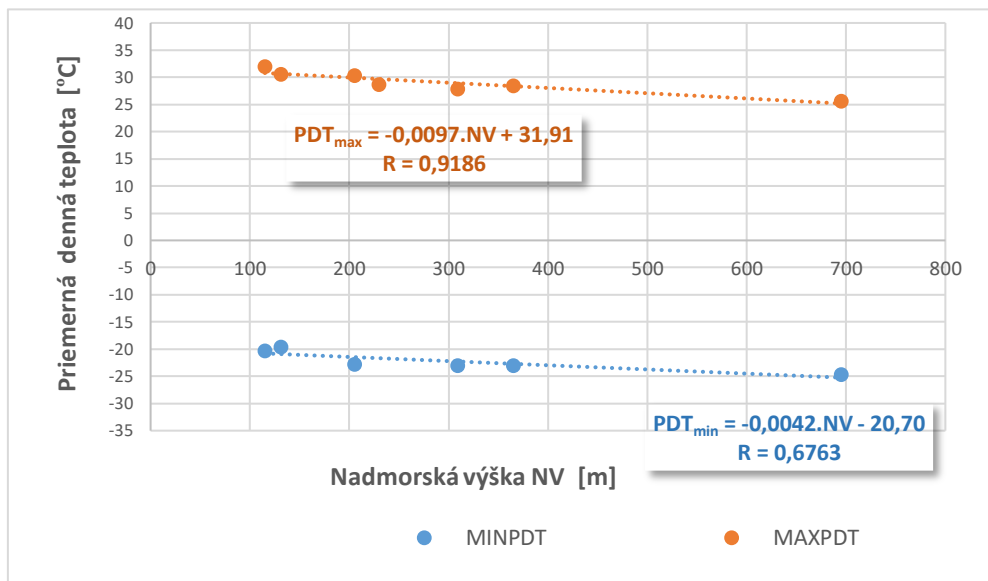


Obr. 42 Lineárne a polynomicke korelačné závislosti priemerných ročných teplôt  $T_a$  od nadmorskej výšky navrhovanej vozovky hodnotené za obdobia 1971-2000, 1971-2010, 1971-2010

Tab. 33 Priemerná ročná teplota  $T_m$  vypočítaná za obdobie 1971-2000, 1971-2010, 1971-2020 a maximálna priemerná denná teplota v období 1971-2020

Klimatická stanica	Nadmorská výška [m]	Priemerná ročná teplota $T_a$ vypočítaná za obdobie [°C]			Maximálna denná teplota 1971-2020 $T_{m,max}$	
		1971-2000	1971-2010	1971-2020	Dátum	[°C]
Hurbanovo	115	10,26	10,48	10,74	8.8.2013	32,00
Bratislava	131	10,12	10,36	10,66	8.8.2013	30,55
Trenčín	205	9,00	9,27	9,53	8.8.2013	30,38
Košice	230	8,78	9,01	9,35	9.8.2013	28,65
Dolný Hričov	314				29.7.2013	27,85
Žilina	365	7,89	8,04	8,34	29.7.2013	28,45
Poprad	695	6,07	6,21	6,48	8.8.20123	25,65

Na obr. 43 je prezentovaná korelačná závislosť maximálnych a minimálnych priemerných denných teplôt vzduchu od nadmorskej výšky posudzovanej vozovky. Konkrétne číselné hodnoty sú uvedené v tab. 31 a 33.



Obr. 43 Korelačné závislosti maximálnej a minimálnej priemernej dennej teploty (PDT) vzduchu vyhodnotenú za obdobie 1971 až 2020

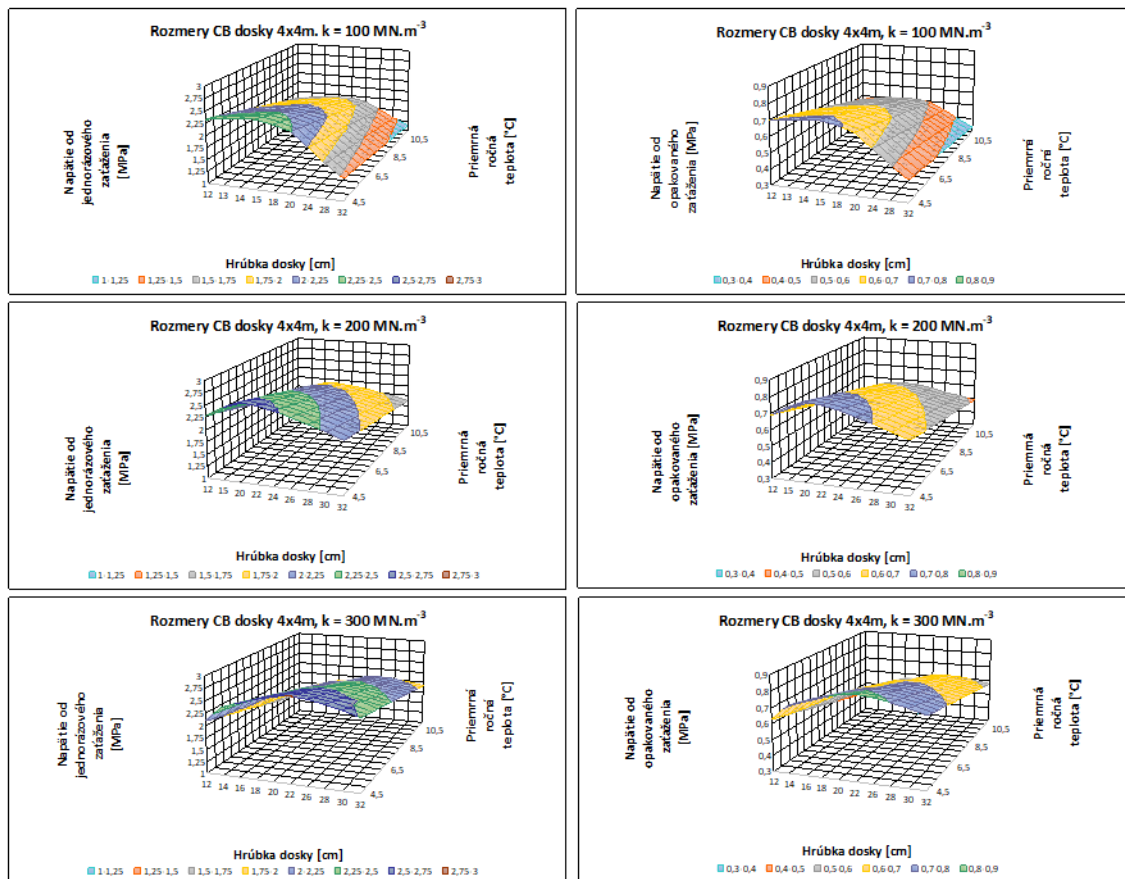
#### 7.4 Využitie objektivizovaných korelačných závislostí pri navrhovaní vozoviek

Pre účely optimalizácie zhodnocovania ZRM ako polostmelených konštrukčných vrstiev vozovky sú rozhodujúcimi:

- korelačná závislosť priemernej dennej teploty vzduchu od nadmorskej výšky nivelety vozovky (obr.43) - v prípade asfaltových aj cementobetónových (CB) vozoviek umožňuje v optimálnej miere využiť slnečné žiarenie na čiastočné stmelenie podkladových vrstiev,
- korelačná závislosť priemernej ročnej teploty vzduchu od nadmorskej výšky nivelety vozovky (obr.42) – umožňuje optimalizáciu hrúbky krytu CB vozoviek s podkladovou vrstvou zo ZRM.

V článku [33] sa píše, že zmeny klimatických podmienok, nárast priemernej ročnej teploty vzduchu o 1,44 °C počas 40 rokov (1971-2011), dlhšie trvanie obdobia vysokých teplôt spôsobujú, že sa teplota zvyšuje nielen na povrchu, ale akumulovaním tepla sa zvyšuje teplota aj v nižšie položených vrstvách vozoviek. V rámci návrhu zmesi najmä do vrstiev krytu vozovky by sa potom mali vybrať spojivá, ktorých bod mäknutia je väčší ako maximálna teplota na povrchu vrstvy dosahovaná v letnom období v danej oblasti.

Na obr.44 sú prezentované vypočítané hodnoty napätí v CB dosky od jej tepelného namáhania pre jednorazové a opakované zaťaženie pre rozsah priemerných ročných teplôt 4,5 až 11,5 °C, hrúbky CB dosiek 12 až 32 cm (odporúčaný rozsah podľa TP 098) a moduly reakcie podkladového systému CB dosky  $k=100, 200$  a  $300 \text{ MN}\cdot\text{m}^{-3}$ .



Obr.44 Napätia v CB doske od tepelného namáhania vypočítaná podľa Westergarda, vľavo - jednorazové zaťaženie, vpravo – opakované zaťaženie [33]

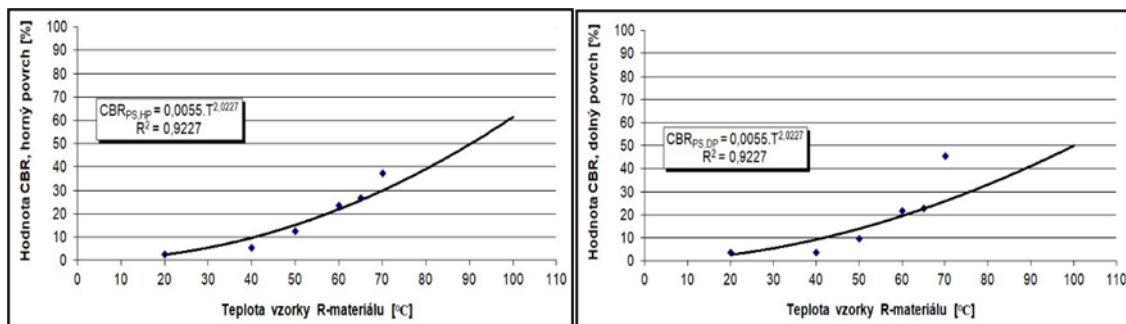
S vysokou mierou pravdepodobnosti sa dá podľa názoru autorov vedecky anticipovať, že predmetné korelačné závislosti vytvárajú relevantný predpoklad pre objektivizáciu vynakladania finančných prostriedkov na výstavbu asfaltových aj CB vozoviek v zmenených klimatických podmienkach Slovenska. Prezentované skutočnosti v prípade ich implementácie do bežnej technickej praxe umožnia zlepšenie situácie v oblasti cirkulárnej ekonomiky cestného inžinierstva a vytvoria podmienky pre kvantifikáciu uhlíkovej stopy v prípade využitia štandardných podkladových materiálov vozoviek a ZRM.

## 8 LABORATÓRNE SKÚŠKY KVALITY ZMESOVÉHO ASFALTOVÉHO R-MATERIÁLU

- 8.1 Charakteristika skúšky CBR
- 8.2 Skúšky CBR ZRM použitého pri rehabilitácii miestnej cesty
- 8.3 Vyhodnotenie uskutočnených skúšok CBR
- 8.4 Vyhodnotenie uskutočnených skúšok IBI
- 8.5 Sumár skúšok CBR a IBI uskutočnených pri rôznych teplotách a vlhkostiach
- 8.6 Rekapitulácia hodnôt CBR posudzovaného ZRM pri teplotách 20 až 70 °C a ich prepočet na modul pružnosti

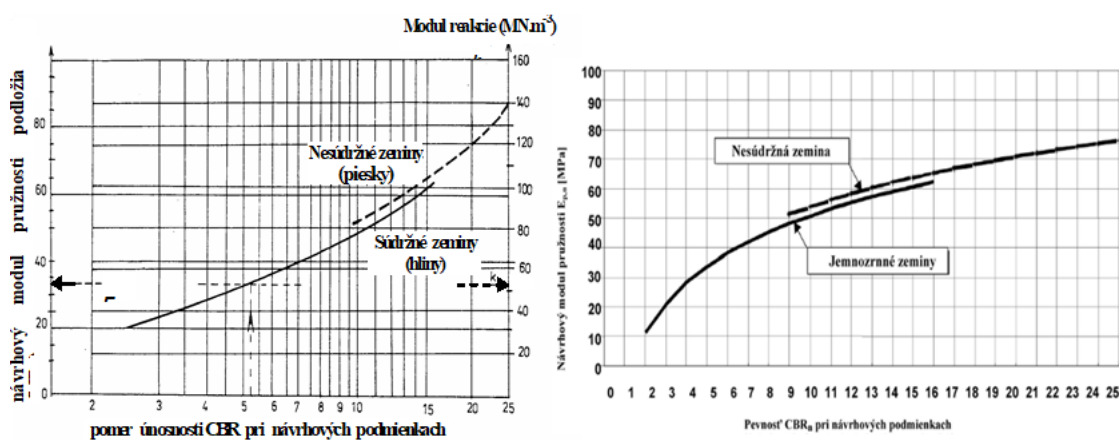
Na základe nameraných hodnôt pri skúškach CBR, uvedených v predchádzajúcich kapitolách, boli objektivizované korelačné závislosti CBR od teploty podľa obr.68





Obr. 68 Grafická interpretácia závislostí hodnôt CBR od teploty R materiálu pre horný povrch (HP) a dolný povrch (DP) skúšaných vzoriek

Pri navrhovaní vozoviek sa uvažuje návrhová hodnota modulu pružnosti podložia  $E_{p,n}$  [MPa], ktorá sa najčastejšie určuje zo známej hodnoty CBR [%]. V podmienkach samostatného Slovenska sa prepočty uskutočňujú podľa obr.69, pričom v súčasnosti je pre asfaltové aj CB vozovky záväzný prepočet podľa grafu na obr.69 vpravo



Obr. 69 Závislosť návrhového modulu pružnosti zeminy od hodnoty CBR, vľavo prepočet používaný do roku 2002, vpravo záväzný prepočet podľa TP 033 platný od roku 2003 [110, 111]

Prezentované grafické závislosti boli všeobecne akceptované v SR aj ČR, pričom v ČR sa používala aj rovnica (8.1).

$$E_{p,n} = 176 \cdot CBR_{opt}^{0,64} \quad (8.1)$$

Rovnica (8.1) bola prevzatá aj do **TP 170** [109] MD ČR z roku 2004 a to pre obor platnosti CBR 2 až 12 %. **Pre zeminy s CBR > 30% sa odporúča návrhový modul pružnosti 150 MPa.** Lineárnou extrapoláciou grafu 69 vpravo (obr.28) získavame pre rozsah CBR 20 až 100 % odpovedajúce hodnoty modulov pružnosti 70 až 250 MPa. Hodnota 250 MPa predstavovala návrhová hodnota modulu pružnosti štrkodrviny, používanú v čase štúdia školiteľa (90-te roky 20. storočia). V relevantných predpisoch navrhovania asfaltových TP 033 [110] a cementobetónových vozoviek TP 098 [131] sú uvedené požiadavky, ktorých sumár je prezentovaný v tab. 39.

Z obr.68 vyplýva, že vplyvom zmeny teploty testovanej vzorky ZRM v rozsahu 20 až 70 °C dochádza ku zmene hodnôt CBR v intervale cca 2 až 40 %. Uvedeným hodnotám CBR odpovedajú moduly pružnosti 10 až 120 MPa (obr.69 a 28). Prezentované údaje potvrdili, že pri teplotách ZRM nad 50 °C, je možné dosiahnuť hodnoty mechanických charakteristík požadovaných na povrchu ochrannej vrstvy pre TDZ III až VI (tab.40).



Tab. 39. Požadované návrhové hodnoty únosnosti podlažia vozoviek v etape projektovania

Požadované návrhové hodnoty modulu pružnosti podlažia závislé od TDZ			
TDZ, počet NV	Asfaltové vozovky [4.29]	TDZ, počet NV	CB vozovky [4.30]
diaľnice	$\geq 90$ MPa	I a II, > 1500	$\geq 60$ MPa
I, > 3500	$\geq 60$ MPa		
II a III, 1501-501	$\geq 40$	III až VI, $\leq 1500$	$\geq 45$ MPa
IV až VI, < 500	$\geq 30$ MPa		

Výsledky dlhoročného výskumu školiteľa, sa v roku 2018 podarilo implementovať do TP 004 [132]. Odporúčané hodnoty únosnosti namerané na ochrannej vrstve vozoviek zhotovenej zo zmesi z ťaženého predrveného kameniva (TPK) v závislosti na únosnosti podlažia zodpovedajúce kodifikovaným ustanoveniam cestného zákona a požiadavkám technických podmienok z oblasti navrhovania vozoviek pozemných komunikácií TP 033 a TP 098 sú uvedené v tab. 40.

Tab. 40 Hodnoty únosnosti na povrchu ochrannej vrstvy vozovky z TPK podľa TP 004 [132]

Modul pružnosti podlažia $E_{np}$ pre triedu dopravného zaťaženia (TDZ)		Hrúbka vrstvy z TPK [mm]	Ekvivalentné moduly na povrchu ochrannej vrstvy [MPa]		$E_{def2}/E_{def1}$	$E_{vd}$ [MPa]		
$E_{n,p}$ [MPa]	TDZ		$E_p$	$E_{def,2}$				
$\geq 25$	VI	150	35	30	$\leq 2,5$	25		
		200	40	35		30		
		250	45	40				
$\geq 30$	V	150	45	40		35		
		200	50	45		30		
		250	55	50				
$\geq 35$	IV	150	50	40		$\leq 2,5$	35	
		200	55	45				
		250	60	50			30	
$\geq 40$		150	55	45				35
		200	60	50				
		250	65	55			40	
$\geq 45$	III	150	60	50	$\leq 2,5$	35		
		200	65	55				
		250	70	60				
$\geq 60$	II	150	75	65		40		
		200	80	70			45	
		250	90	80				
$\geq 90$	I	150	110	95		50		
		200	115	100			55	
		250	125	105				
100	I v prípade diaľnic		100	85		45		
110			110	95		50		
120			120	105		55		

$E_{vd}$  – dynamický modul deformácie zistený ľahkou dynamickou doskou podľa STN 73 6192 a STN 73 6133

$E_{def2}$  – statický modul deformácie vyhodnotený z druhého zaťažovacieho cyklu statickej zaťažovacej skúšky uskutočnenej podľa STN 73 6190 a STN 73 6133

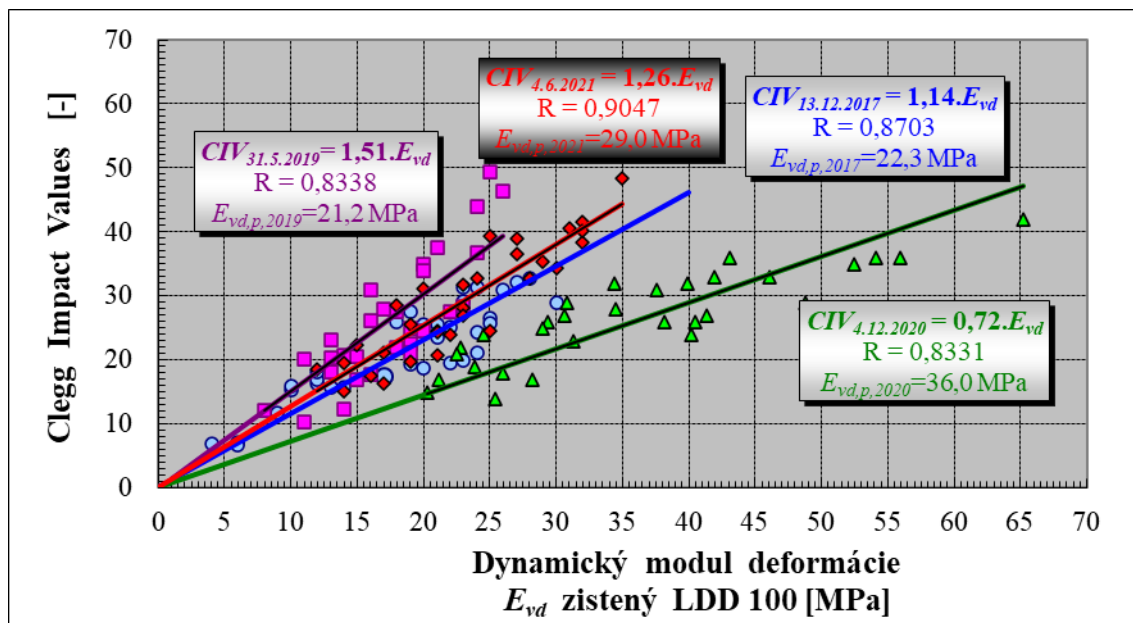
## 9 IN SITU SKÚŠKY KVALITY ZHUTNENIA ZRM

### 9.1 Výber metód in situ objektivizácie mechanickej účinnosti ZRM

### 9.2 Základné matematické vzťahy lineárnej regresie

### 9.3 Vyhodnotenie meraní z roku – POPOL VYNEKOVO 2021

Experimentálne merania sa uskutočnili na pokusnom poli pre výskum nestmelených konštrukcií vozoviek (POPOL VYNEKOVO), ktoré bolo vybudované v spolupráci Katedry cestného staviteľstva a Katedry technológie a manažmentu stavieb Stavebnej fakulty Žilinskej univerzity v Žiline (UNIZA). Pôvodná súčasť miestnej komunikácie miestnej časti Peklina obce Dolný Hričov bola v rokoch 2015 až 2017 rozšírená hlinitými zeminami a spevnená pokládkou R-materiálu (frézovaných asfaltových zmesí s obsahom hlinitých a kamenitých častí) v hrúbke 20 cm. Výsledky objektivizovaných korelačných závislostí dynamického modulu deformácie meraného zariadením LDD 100 od hodnôt CIV zisťovaných zariadením Clegg CIST 882



Obr. 77 Porovnanie zistených korelačných závislostí hodnôt CIV určených zariadením podľa Clegga od  $E_{vd}$  meraných zariadením LDD 100, POPOL VYNEKOVO 2017 až 2021

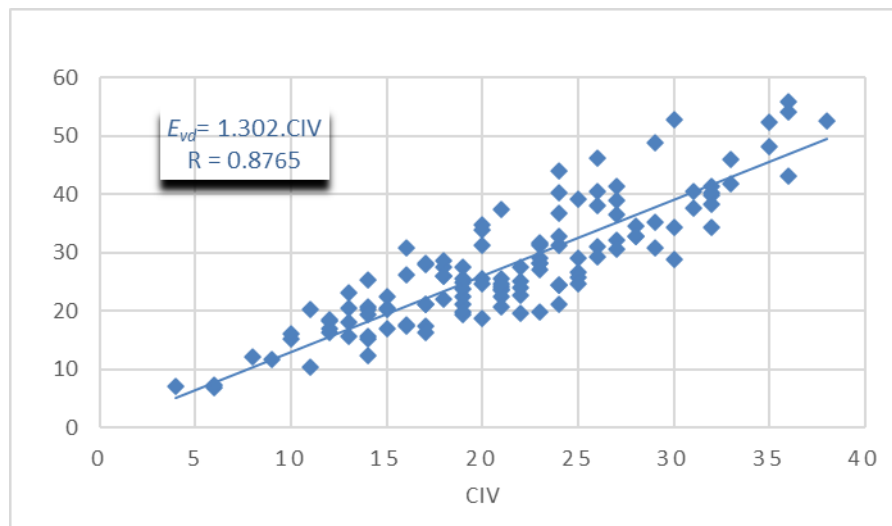
Z obr.77 je zrejma značná nehomogenita posudzovanej časti POPOL VYNEKOVO. Uvedené skutočnosti jasne preukazujú významný vplyv vlhkosti zeminy, tvoriacej podklad ZRM na ekvivalentný modul deformácie meraný zariadením LDD na jeho povrchu. Uvedené korelačné závislosti boli objektivizované v rámci riešenia diplomových a dizertačných prác na spracovávaných v období 2017 až 2021 na pokusnom poli VYNEKOVO (pozri obr.12 až 14). Prezentované výsledky boli získané v úzkej súčinnosti výskumných aktivít pracovníkov katedry cestného a environmentálneho inžinierstva a katedry technológie a manažmentu stavieb.

Vyhodnotením a analýzou všetkých meraní na povrchu ZRM na POPOL VYNEKOVO boli zistené nasledujúce skutočnosti:

- existuje veľmi silná korelácia (podľa Spearmana, pozri tab.29 a obr.77) medzi výsledkami meraní únosnosti systému podložie+ZRM zariadením LDD 100 a zariadením podľa Clegga,
- rozsah meraných hodnôt  $E_{vd}$  na povrchu ZRM sa v hodnotenom období 2017 až 2021 pohyboval od 4 MPa do 60 MPa, pričom v jednotlivých rokoch boli objektivizované nasledujúce priemerné hodnoty **rázového modulu deformácie**

$E_{vd}$ :

- 13.12.2017.....22,3 MPa
  - 31.5.2019.....21,2 MPa
  - 4.12.2020.....36,0 MPa
  - 4.6.2021.....29,0 MPa
- prezentovaným priemerným hodnotám  $E_{vd}$  odpovedajú nasledujúce hodnoty **modulu deformácie vyhodnoteného z druhého cyklu statickej zaťažovacej skúšky doskou  $E_{def,2}$** , ktoré sú rozhodujúcimi charakteristikami kontroly kvality zhutnenia zemín a sypanín,
- 13.12.2017.....27,5 MPa
  - 31.5.2019.....25,6 MPa
  - 4.12.2020.....53,2 MPa
  - 4.6.2021.....39,5 MPa
- pre orientačný prepočet CIV na  $E_{vd}$  možno v prípade aplikácie ZRM na hlinité zeminy použiť graf na obr.78

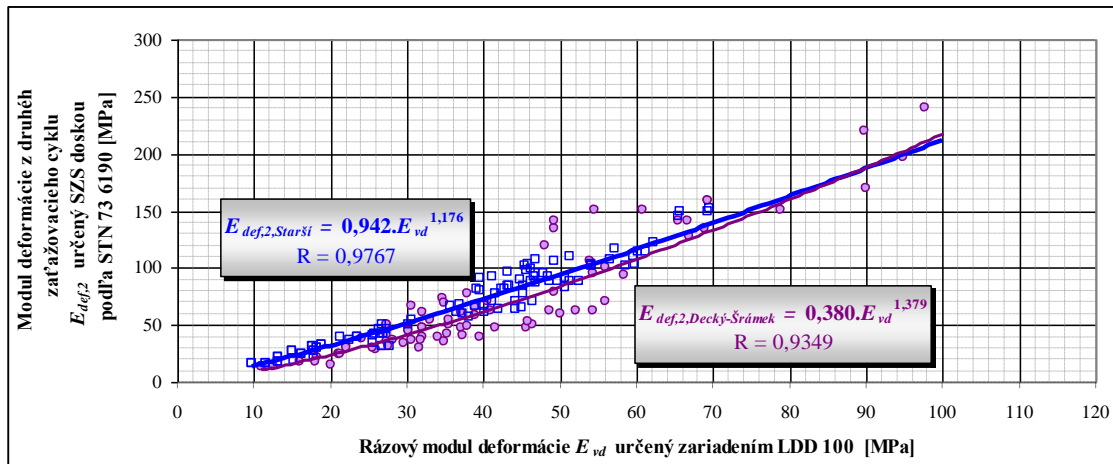


Obr. 78 Orientačný prepočet CIV na  $E_{vd}$  meraný na povrchu ZRM

## 10 ZÁVERY DIZERTAČNEJ PRÁCE

### 10.1 Nadväznosť dizertačnej práce na rodinné tradície a záverečné práce

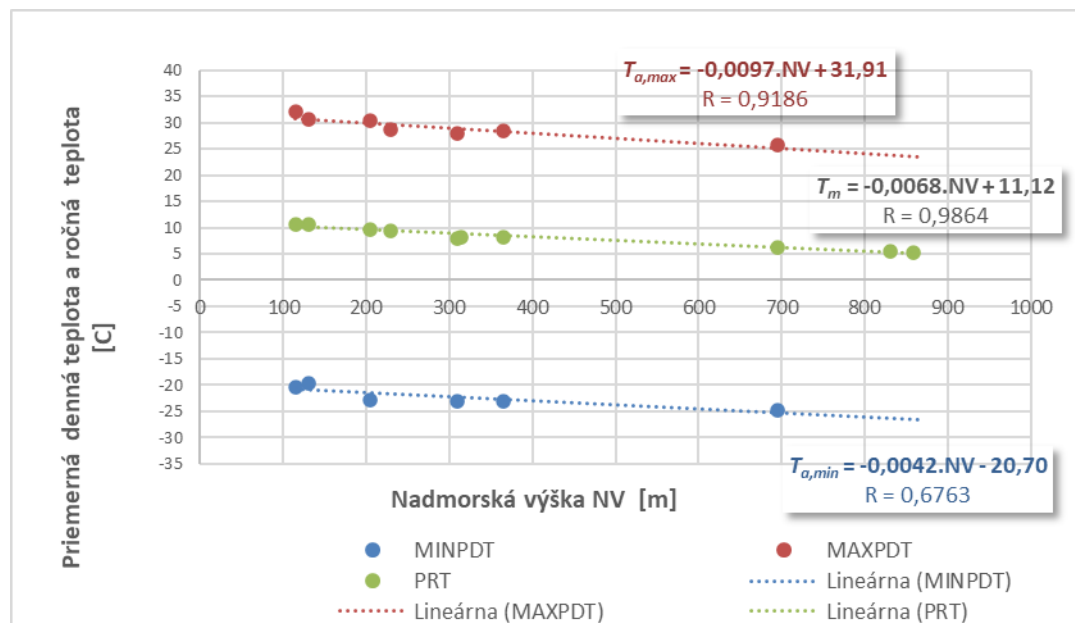
Nami uskutočnené merania boli využité pri tvorbe kredibilitnej korelačnej závislosti (Decký-Šrámek) statických a dynamických (rázových) modulov pružnosti podložia a nestmelených konštrukcií vozoviek (obr.82).



Obr. 82 Mocninová závislosť modulu deformácie z druhého zaťažovacieho cyklu  $E_{def,2}$  od návrhovej hodnoty modulu pružnosti podľa [128]

### 10.2 Korelačné závislosti $T_m$ od nadmorskej výšky a CBR od teploty

V rámci prínosov pre vednú oblasť považujeme za najcennejši výstup dizertačnej práce objektivizáciu vývoja priemerných ročných teplôt vzduchu 10 klimatických staníc s nadmorskou výškou od 115 po 858 m n.m. za obdobie 1971 až 2020 (obr.41), čo umožňuje v zmysle znenia cestného zákona spresnenie návrhu cestných vozoviek.



Obr. 83 Korelačné závislosti minimálnych a maximálnych priemerných denných teplôt vzduchu  $T_a$ , priemerných ročných teplôt  $T_m$  od nadmorskej výšky (NV) posudzovanej vozovky

Získané dáta zo SHMU Bratislava umožnili zistenia korelačných závislostí priemerných ročných, minimálnych a maximálnych denných teplôt vzduchu od nadmorskej výšky navrhovanej vozovky (obr.83).

Uvedené skutočnosti umožnili vytvoriť článok v časopise *Sustainability s kvartilom v databáze WOS Q2: Decky, M., Papanova, Z., Juhas, M., & Kudelcikova, M. (2022). Evaluation of the Effect of Average Annual Temperatures in Slovakia between 1971 and 2020 on Stresses in Rigid Pavements. Land, 11(6), 764 [121].*

### 10.3 Systémový prístup k zhodnocovaniu ZRM

Na základe dlhodobého výskumu uskutočňovaného na pracovisku autorov [128] v spolupráci s významnými odborníkmi z praxe a výsledkami dizertačnej práce je možno vo vzťahu k navrhovaniu a kontrole kvality zabudovaného ZRM, v podmienkach SR vysloviť nasledujúce odporúčania:

- je potrebné implementovať do technických predpisov v prípade použitia ZRM minimálne kritéria požadovanej únosnosti podložia dopravných stavieb pre nižšie triedy dopravného zaťaženia (TDZ) podľa tab.44 používané v štádiu navrhovania a kontroly výstavby stavieb,
- pre kontrolu únosnosti a miery zhutnenia zemných konštrukcií prednostne používať statickú zaťažovaciu skúšku (SZS),
- v prípade podložia pod ZRM so súdržných zemín je nevyhnutné sledovať vlhkosť zemín v podloží,
- v prípade nemožnosti použitia SZS vo vzťahu k zariadeniu LDD 100 používať v prípade kvázi pružných polpriestorov (neplatí pre viacvrstvové systémy s výrazne rozdielnymi modulmi pružnosti ) orientačné prepočítavacie koeficienty podľa rovnice 10.1 (pozri obr.82),

$$E_{def,2} = 0,38 \times E_{vd}^{1,38} \quad (10.1)$$

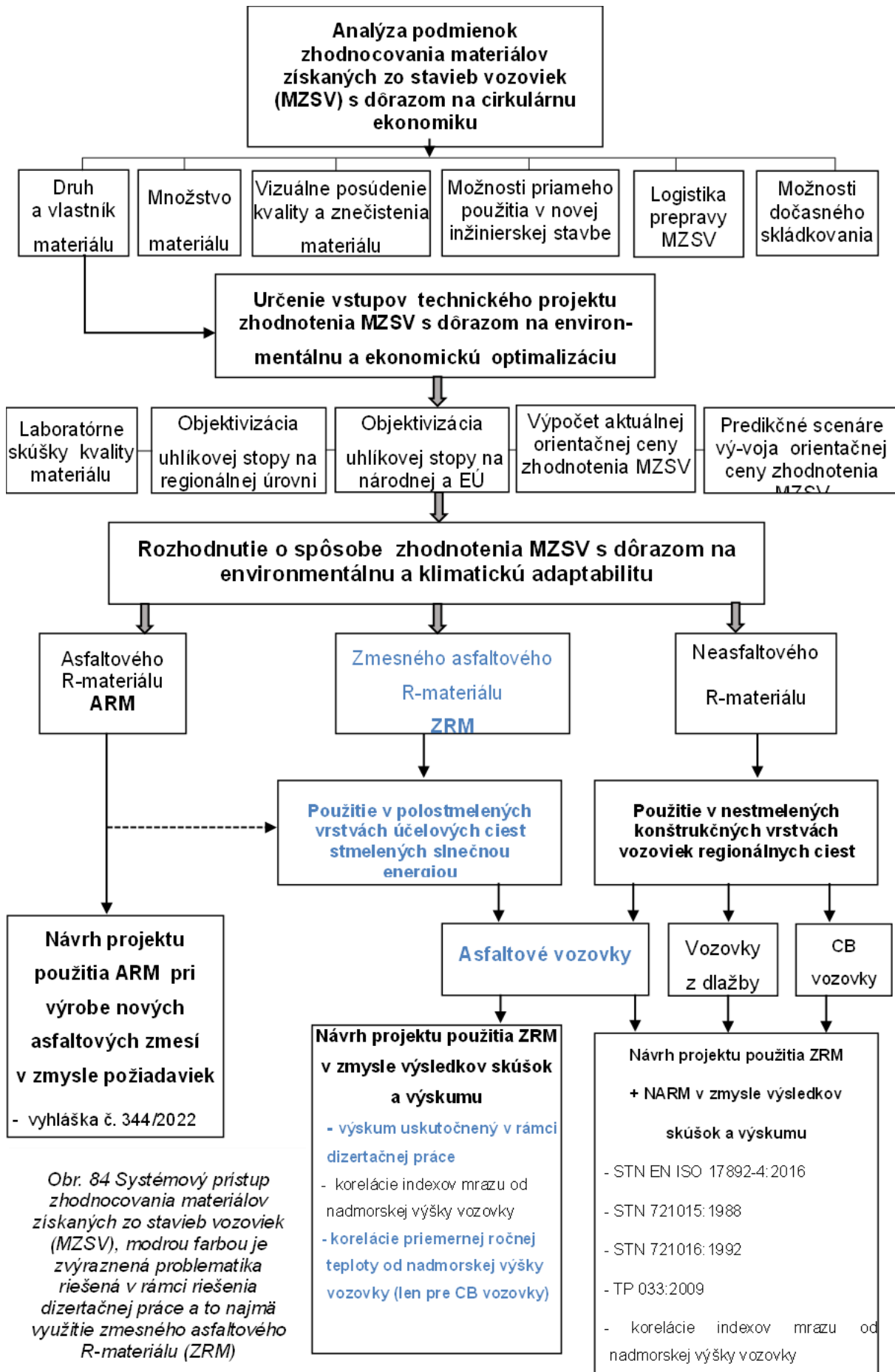
- v prípade použitia ZRM v konštrukciách CB vozoviek odporúčame používať výpočet priemernej ročnej teploty  $T_m$  v závislosti od nadmorskej výšky (NV) vozovky podľa rovnice 10.2, ktorý bol získaný za obdobie 1971 až 2020,

$$T_m = -0,0068 \times NV + 11,2 \quad (10.2)$$

- dôležitým aspektom environmentálneho prístupu k zhodnocovaniu ZRM, je využitie jeho energetického potenciálu s minimalizáciou vynakladania energie (infražiaríče, tepelná úprava v špeciálnych zariadeniach,...) a tým pádom znižovania uhlíkovej stopy jeho využitia. V tejto oblasti je v potrebné v maximálnej možnej miere využívať slnečnú energiu, ktorá je zatiaľ zadarmo, orientačné maximálne denné teploty vzduchu je možné získať podľa rovnice 10.3,

$$T_{a,max} = -0,0097 \times NV + 31,12 \quad (10.3)$$

V práci sú prezentované výsledky výskumu, ktorých aplikácia do praxe by prispela k environmentálnej optimalizácii zhodnocovania asfaltových materiálov v konštrukciách vozoviek, v prípade použitia ZRM (zmesný asfaltový R-materiál) ako nestmelenej konštrukčnej vrstvy vozoviek.



Obr. 84 Systémový prístup zhodnocovania materiálov získaných zo stavieb vozoviek (MZSV), modrou farbou je zvýraznená problematika riešená v rámci riešenia dizertačnej práce a to najmä využitie zmesného asfaltového R-materiálu (ZRM)

**11 ZOZNAM PUBLIKÁCIÍ AUTORA DIZERTAČNEJ PRÁCE**

1. JUHÁS, M. (2010): *Monitoring a návrh opatrení na likvidáciu nelegálnych skládok odpadov v okolí mesta Žilina*. Diplomová práca, KCS SvF UN IZA 2010.
2. DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K., JUHÁS, M. (2011): *Nedeštruktívne určovanie hodnôt CBR zemných konštrukcií inžinierskych stavieb*. In: Zborník 13. medzinárodnej vedeckej konferencie Q-2011 Výstavba, financovanie a spolplatnenie ciest a diaľnic. Žilina 12.-13.máj 2011, s. 168-173, ISBN 978-80-554-0357-1.
3. DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K., JUHÁS, M. (2011): *Ekonomické aspekty zhodnocovania stavebných odpadov z pohľadu miestnej samosprávy*. In Zborník vedecko-odbornej konferencie Realizácia a ekonomika stavieb, Nový Smokovec, 11.-13.10.2011, s. 108-111, ISBN 978-80-232-0313-4.
4. DECKÝ M., JUHÁS, M. (2012): *Navrhovanie a kontrola kvality zemných konštrukcií s využitím stavebného odpadu*. In Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou : Znovupoužitie materiálov na stavebné účely : 23.-25. apríl 2012, Hotel Atrium, Nový Smokovec. - Košice: Dom techniky, 2012. - ISBN 978-80-232-0316-5. - S. 81-88.
5. DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K., JUHÁS, M. (2012): *Možnosti použitia priemyselného a stavebného odpadu v konštrukčných prvkoch pozemných komunikácií*. In Zborník Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie TOP 2012 Technika ochrany prostredia. 26.-28.jún 2012, Častá – Papiernička, s. 83-91, ISBN 978-80-227-3723-4.
6. ZGÚTOVÁ, K., DECKÝ, M., STARŠÍ, B., JUHÁS, M. (2012): *Nepriame metódy kontroly kvality sypaných zemných konštrukcií pozemných komunikácií*. In Zborník 14. medzinárodnej vedeckej konferencie Q-2012, VÝSTAVBA, FINANCOVANIE A SPRÁVA CIEST A DIAĽNIC. 13.-14.9.2012, Žilina. S. 124-129, ISBN 978-80-554-0572-8.
7. DECKÝ, M., JUHÁS, M. (2012): *Environmentálne a ekonomické aspekty zhodnocovania stavebných odpadov v dopravných stavbách*. In *Produktivita a inovácie*. Vedecký recenzovaný časopis, roč. 13, č. 2/2012, s. 24-26, ISSN 1335-5961.
8. JUHÁS, M., DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K. (2012): *Kontrola kvality zemných konštrukcií prostredníctvom in situ meraní CBR/ Quality verification of ground structures by in situ tests CBR*. In *Pozemné komunikácie a dráhy*, roč. 8, č. 1 (2012), s. 45-52, ISSN 1336-7501.
9. DECKÝ M., REMEK L., ZGÚTOVÁ, K., JUHÁS, M. (2013): *Non-destructive determining CBR values of ground structures of engineering constructions*. In *The Journal of International Scientific Publications: Ecology&Safety*, 2013, volume 7, part 2, ISSN 1313-2563, published by Info Invest Ltd, pp.122-129.
10. DECKÝ M., JUHÁS, M., ZGÚTOVÁ, K. (2013): *Nestmelené a hydraulicky stmelené konštrukčné vrstvy vozoviek z pohľadu TUR*. In *Nestmelené a hydraulicky stmelené vrstvy vozoviek: efektívne využitie zdrojov*. Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou, 6 Podbanské 6.-8.2.2013, s. 33-38, ISBN 978-80-232-0318-9.
11. DECKÝ, M., MUŽÍK, J., VILLIM, A., KOVÁČ, M. , JUHÁS, M. (2013): *Aplikácie 3D skenovania v identifikácii a kvantifikácii nelegálnych skládok stavebných odpadov*. In Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou Znovupoužitie materiálov na stavebné účely. 17.-19.apríl 2013, Nový Smokovec, s. 83-88, ISBN 978-80-232.
12. DECKÝ M., REMISOVÁ, E., JUHÁS, M. (2013): *Impact of climatic characteristics on dimensioning of road construction in tunnels in Slovakia*. In *Conference proceedings of 13th International multidisciplinary scientific GeoConference on Energy and Clean Technologies*, 16-22. June 2013, Albena, s. 659-666, ISBN 978-619-7105-03-2.
13. DECKÝ, M., MUŽÍK, J., VILLIM, A., KOVÁČ, M. JUHÁS, M. (2013): *Kvantifikácia stavebného odpadu aplikáciami 3D skenovania*. In Zborník prednášok TOP 2013 Technika ochrany prostredia. 11.-13.jún.2013, Častá-Papiernička, s. 411-418, ISBN 978-80-277-3955-9.
14. DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K., VANGEL, J., KOVÁČ, M., JUHÁS, M. (2014): *Problematika stavebného a demolačného odpadu z pohľadu miestnej samosprávy*. In Zborník medzinárodnej konferencie TOP 2014 Technika ochrany prostredia, 10. - 12. Jún 2014 Častá Papiernička, Slovak University of Technology, s. 123-128, ISBN 978-80-227-4174-3.
15. DECKÝ, M., KOVÁČ, M., KOTEK, P., JUHÁS, M. (2015): *Vplyv textúry povrchu vozoviek na hlukové imise ich okolia*. In *Zborník 21th International Conference "Engineering for Environmental Protection" TOP 2015*. June 23rd-25th, Hotel Senec, Slovak Republic, s.8., ISBN 978-80-227-4376-1.
16. REMISOVA, E., HAJEK, M., DECKY, M., KOVAC, M., JUHAS, M. (2017): *Quality control of earth construction from environmental progressive material*. In *MM Science Journal*. Vol. 2017,february 2017, p. 1707-1710. (2020 Scopus Q3, WOS Q4)

17. DECKÝ, M., REMIŠOVÁ, E., MACKOVÁ, A., JUHÁS, M. (2019): *Priemerné teploty Slovenska v období 1971 až 2011 z pohľadu navrhovania vozoviek*. In Zborník XXIV. seminára Ivana Poliačka Tlmenie účinkov klimatických zmien na pozemné komunikácie. Jasná, Nízke Tatry, 20.-22. novembra 2019, s. 32-39, ISBN 978-80-89565-42-9.
18. DECKÝ, M., TROJANOVÁ, M., JUHÁS, M., HODÁSOVÁ, K., IVANOVIČOVÁ, A. (2020): *Objektivizácia vplyvu degradácie asfaltových krytov cestných vozoviek na hlukovú záťaž ich okolia*. In *Fyzikálne Faktory Prostredia časopis o problematike fyzikálnych faktorov prostredia*. Mimoriadne číslo, roč. XI., november 2020, s. 19-22, ISSN 1338-3922.
19. DECKÝ, M., PITOŇÁK, M., JUHÁS, M. a kol. (2020): *Holistické prístupy k trvalo udržateľnej výstavbe a správe pozemných komunikácií*. In *Časopis Inžinierske stavby*, ročník 68, vyšlo 6.7.2020 (č. 03/2020), s.20-22, ISSN 1335-0846.
20. DECKÝ, M., JUHÁS, M., HODÁSOVÁ, K. a kol. (2021): *Environmentálne aspekty holistického konceptu trvaloudržateľnej prípravy, výstavby a správy vozoviek pozemných komunikácií*. In XXVI. seminár Ivana POLIAČKA s medzinárodnou účasťou VÝSTAVBA CESTNEJ INFRAŠTRUKTÚRY, 29. september 2021, Bratislava, Bratislava 29.9.2021, s. 45-53, ISBN 978-80-89565-48-1, EAN 9788089565481.
21. DECKÝ, M., KÚDELČIKOVÁ, M., JUHÁS, M., HODÁSOVÁ, K. (2021): *Klimaticky adaptívne kompozitné materiály súčasti pozemných komunikácií s chladiacim účinkom*. In XXVI. seminár Ivana POLIAČKA s medzinárodnou účasťou VÝSTAVBA CESTNEJ INFRAŠTRUKTÚRY, 29. september 2021, Bratislava 29.9.2021, s. 63-71, ISBN 978-80-89565-48-1, EAN 9788089565481.
22. DECKY, M., PAPANOVA, Z., JUHAS, M., & KUDELCIKOVA, M. (2022). *Evaluation of the Effect of Average Annual Temperatures in Slovakia between 1971 and 2020 on Stresses in Rigid Pavements*. Land, 11(6), 764.

## ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

1. <https://www.minzp.sk/spravy/minister-budaj-predstavil-zeleny-plan-obnovy-sloven-ska.html>, 26.5.2021.
2. **DECKÝ, M., DRUSA, M., PEPUCHA, L., ZGUTOVA, K.:** *Earth Structures of Transport Constructions. Scientific monograph*, London: Pearson Education Limited, Edidburg Gate, Harlow 2013. Editor: prof. Dr. Ing. Martin Decký, s. 180, ISBN 978-1-78399-925-5.
3. **DECKÝ, M., PITOŇÁK, M., JUHÁS, M. a kol. (2020):** *Holistické prístupy k trvalo udržateľnej výstavbe a správe pozemných komunikácií*. In *Časopis Inžinierske stavby*, ročník 68, vyšlo 6.7.2020 (č. 03/2020), s.20-22, ISSN 1335-0846.
4. **DECKÝ, M., JUHÁS, M., HODÁSOVÁ, K. a kol. (2021):** *Environmentálne aspekty holistického konceptu trvaloudržateľnej prípravy, výstavby a správy vozoviek pozemných komunikácií*. In XXVI. seminár Ivana POLIAČKA s medzinárodnou účasťou VÝSTAVBA CESTNEJ INFRAŠTRUKTÚRY, 29. september 2021, Bratislava (v tlači).
5. **JUHÁS, M. (2010):** *Monitoring a návrh opatrení na likvidáciu nelegálnych skládok odpadov v okolí mesta Žilina*, 2010.
6. **DECKÝ, M., ZGUTOVÁ, K., JUHÁS, M. (2011):** *Nedeštruktívne určovanie hodnôt CBR zemných konštrukcií inžinierskych stavieb*. In: Zborník 13. medzinárodnej vedeckej konferencie Q-2011 Výstavba, financovanie a spoplatnenie ciest a diaľnic. Žilina 12.-13.máj 2011, s. 168-173, ISBN 978-80-554-0357-1.
7. **DECKÝ, M., JUHÁS, M. (2012):** *Environmentálne a ekonomické aspekty zhodnocovania stavebných odpadov v dopravných stavbách*. In: *Produktivita a inovácie. Vedecký recenzovaný časopis*, roč. 13, č. 2/2012, s. 24-26, ISSN 1335-5961.
8. **ZGUTOVÁ, K., DECKÝ, M., STARŠÍ, B., JUHÁS, M. (2012):** *Nepriame metódy kontroly kvality sypaných zemných konštrukcií pozemných komunikácií*. In Zborník 14. medzinárodnej vedeckej konferencie Q-2012, VÝSTAVBA, FINANCOVANIE A SPRÁVA CIEST A DIAĽNIC. 13.4.9.2012, Žilina. S. 124-129, ISBN 978-80-554-0572-8.
9. **DECKÝ M., REMEK L., ZGUTOVÁ, K., JUHÁS, M. (2013):** *Non-destructive determining CBR values of ground structures of engineering constructions*. In: *The Journal of International Scientific Publications: Ecology&Safety*, 2013, volume 7, part 2, ISSN 1313-2563, published by Info Invest Ltd, pp.122-129.
10. **DECKÝ, M., REMIŠOVÁ, E., JUHÁS, M. (2013):** *Impact climatic characteristics on dimensioning of road construction of road in tunnels in Slovakia*. In *Conference proceedings 13th Multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2013. GeoConference on Energy and clean technologies 16-22, June 2013, Albena BULGARIA, Renewable ebergy sources and clean Technologies recycling air pollution and climate change*, p. 659-666, ISBN 978-619-7105-03-2, ISSN 1314-2704.
11. **DECKÝ, M., REMIŠOVÁ, E., MACKOVÁ, A., JUHÁS, M. (2019):** *Priemerné teploty Slovenska v období 1971 až 2011 z pohľadu navrhovania vozoviek*. In Zborník XXIV. seminára Ivana Poliačka. Tlmenie účinkov klimatických zmien na pozemné komunikácie. Jasná, Nízke Tatry, 20.-22.11.2019, s. 32-39, ISBN 978-80-89565-42-9.



12. **DECKÝ, M., TROJANOVÁ, M., JUHÁS, M., HODÁSOVÁ, K., IVANOVIČOVÁ, A. (2020):** Objektívizácia vplyvu degradácie asfaltových krytov cestných vozoviek na hlučnosť ich okolia. In *Fyzikálne Faktory Prostredia, časopis o problematike fyzikálnych faktorov prostredia. Mimoriadne číslo, roč. XI., november 2020, s. 19-22, ISSN 1338-3922.*
13. **DECKÝ, M., KÚDELČÍKOVÁ, M., JUHÁS, M. a kol. (2021):** Klimaticky adaptívne kompozitné materiály súčastí pozemných komunikácií s chladiacim účinkom. In *Zborník XXVI. Seminár Ivana POLIAČKA VÝSTAVBA CESTNEJ INFRAŠTRUKTÚRY. 29. september 2021, Bratislava, Hotel Bratislava, s.8 (v tlači).*
14. **DECKÝ, M. (2010):** Index mrazu vyhodnotený z meraní teplôt vzduchu v rokoch 1971 až 2006 na území Slovenska. In *Silniční obzor, 2/2010, s. 40-45, ISSN 0322-7154.*
15. **DECKÝ, M. a kol. (2010):** Navrhovanie a rozpočtovanie asfaltových vozoviek. *Vysokoškolské skriptá, Stavebná fakulta ŽU, 2010, s. 300, ISBN 978-80-970388-0-9.*
16. **DECKÝ, M., HRONCOVÁ, L. (2011):** Klimatické charakteristiky ovplyvňujúce navrhovania vozoviek dopravných stavieb. In *Zborník konferencie Realizácia a ekonomika stavieb, Nový Smokovec, 11.-13.10.2011, s. 29-34, ISBN 978-80-232-0313-4.*
17. **DECKÝ, M., MUŽÍK, J., VILLIM, A. a kol. (2013):** Aplikácie 3D skenovania v identifikácii a kvantifikácii nelegálnych skládok stavebných odpadov. In: *Zborník z konferencie s medzinárodnou účasťou Znovupoužitie materiálov na stavebné účely. 17.-19.apríl 2013, Nový Smokovec, s. 83-88, ISBN 978-80-232.*
18. **DECKÝ, M., MUŽÍK, J., VILLIM, A. a kol. (2013):** Kvantifikácia stavebného odpadu aplikáciami 3D skenovania. In *Zborník prednášok TOP 2013 Technika ochrany prostredia. 11.-13.jún.2013, Častá-Papiernička, s.411-418, ISBN 978-80-277-3955-9.*
19. **DECKÝ, M., HRONCOVÁ, L., VANGEL, J. (2013):** Impact of Climate Change Characteristics of SR on Dimensioning of Roads in Tunnels. In *Magazine of the Czech Tunnelling Association and Slovak Tunnelling Association ITA-AITES. 2013, vol. 21, no.2, p. 48-56, ISSN1211-0728.*
20. **DECKÝ, M., HRONCOVÁ, L., VANGEL, J. (2013):** Vplyv klimatických charakteristík Slovenska na dimenzovanie vozoviek v tuneloch. In *Tunel, časopis české tunelárske asociácie a slovenskej tunelárskej asociácie. 2013, roč. 21, č.2, s.48-56, ISSN1211-0728.*
21. **ĎURČANSKÁ, D., DECKÝ, M., LICBINSKY, R. et al (2013):** Project SPENS - sustainable pavement for European new member states. In: *Communications : scientific letters of the University of Žilina. Vol. 15, no. 2 (2013), s. 49-55, ISSN 1335-4205.*
22. **DECKÝ, M. (2013):** Climate factors affecting the quality of earth structures, p. 77-112. In *DECKÝ, M., DRUSA, M., PEPUCHA, L., ZGUTOVA, K.: Earth Structures of Transport Constructions. London: Pearson Education Limited, Edidburg Gate, Harlow2013. Editor: prof. Dr. Ing. Martin Decký, ISBN 978-1-78399-925-5.*
23. **DRUSA, M., DECKÝ, M., MARSCHALKO, M. a kol. (2013):** Navrhovanie a kontrola zemných konštrukcií dopravných stavieb. *Vedecká monografia, vydavateľstvo ŽU – EDIS, 2013, s. 522, ISBN 978-80-554-0823-1.*
24. **DECKÝ, M. a kol. (2014):** Kontrola kvality na stavbách. 4. diel Cestné stavby a súvisiace inžinierske objekty. *Odborná monografia, vydavateľstvo Eurostav, spol. s r. o. Bratislava, 1. vydanie, 2014. Editor: prof. Dr. Ing. Martin Decký, s. 431, ISBN 978-80-89228-40-9.*
25. **DECKÝ, M. a kol. (2014):** Mechanika vozoviek pozemných komunikácií. *Vysokoškolská učebnica, EDIS – vydavateľstvo Žilinskej univerzity 2014. Prvé vydanie, s.494, ISBN 978-80-554-0934-4.*
26. **DECKÝ, M., ZGUTOVÁ, K., VANGEL, J. a kol. (2014):** Problematika stavebného a demolačného odpadu z pohľadu miestnej samosprávy. In *Zborník prednášok z medzinárodnej konferencie TOP 2014 Technika ochrany prostredia., 10. - 12. Jún 2014 Častá – Papiernička, Bratislava: Slovak University of Technology, 2014. s., 123-128, ISBN 978-80-227-4174-3.*
27. **TROJANOVÁ, M., DECKÝ, M., REMIŠOVÁ, E. (2015):** The implication of climatic changes to asphalt pavement design. Volume 111, 2015, Pages 770-776. In: *24th Russian-Polish-Slovak Seminar on Theoretical Foundation of Civil Engineering, TFOCE 2015; Samara; Russian Federation; 24 August 2015 through 28 August 2015. Vol. 111, 2015, p. 770-776; ISSN 18777058, DOI: 10.1016/j.proeng.2015.07.144.*
28. **KOVÁČ, M., DECKÝ, M., REMIŠOVÁ, E. (2015):** Inovatívny prístup k navrhovaniu asfaltových vozoviek rešpektujúci priority TUR. In: *Časopis Inžinierske stavby, ročník 63, č. 03/2015, s.36-39, 1335-0846.*
29. **REMIŠOVÁ, E., DECKÝ, M., KOVÁČ, M. a kol. (2015):** Implementácia objektívizovaných výsledkov výskumu globálneho otepľovania Slovenska do navrhovania vozoviek. In: *Časopis Inžinierske stavby, ročník 63, č. 03/2015, s.48-51, 1335-0846.*

30. **REMIŠOVÁ, E., DECKÝ, M., PODOLKA, L. et al (2015):** Frost Index from Aspect of Design of Pavement Construction in Slovakia. In: *Journal Procedia Earth and Planetary Science*, Volume 15, 2015, Pages 3–10, doi:10.1016/j.proeps.2015.08.002, ISSN 1878-5220.
31. **DECKÝ, M. a kol. (2016):** Kontrola kvality na stavbách. 4. diel Cestné stavby a súvisiace inžinierske objekty. 2. aktualizované vydanie. Odborná monografia, vydavateľstvo Eurostav, spol. s r. o. Bratislava 2016. Editor: prof. Dr. Ing. Martin Decký, s. 429, ISBN 978-80-89228-45-4.
32. **REMISOVA, E., HAJEK, M., DECKY, M., KOVAC, M., JUHAS, M. (2017):** Quality control of earth construction from environmental progressive material. In *MM Science Journal*. Vol. 2017, iss. FEBRUARY, February 2017, p. 1707-1710. (2020 Scopus Q3, WOS Q4).
33. **DECKÝ, M., REMIŠOVÁ, E., HÁJEK, M. (2017):** Klimatické charakteristiky Slovenska v rokoch 1971 až 2011 z hľadiska navrhovania vozoviek. In: *Silniční obzor*, roč. 78, č. 7-8/2017, s. 192-198, ISSN 0322-7154.
34. **ĎURČANSKÁ, D., JANDAČKA, D., DECKÝ, M. (2017):** Základy ochrany a tvorby životného prostredia. 1. vyd., Žilina: Žilinská univerzita, 2017. s. 187, ISBN 978-80-554-1371-6.
35. **DECKY, M., REMISOVA, E., M KOVALCIK, L. et al (2017):** Climatic Characteristics of Slovakia in the Years 1971 to 2011 from the Aspect of Pavement Design. 3rd World Multidisciplinary Earth Sciences Symposium (WMESS). Prague, Czech republic, sep 11-15, 2017, Vo. 95, DOI: 10.1088/1755-1315/95/2/022056, Publisher IOP PUBLISHING LTD, DIRAC HOUSE, TEMPLE BACK, BRISTOL BS1 6BE, ENGLAND.
36. **DECKÝ, M., DREVENÝ, I., PITOŇÁK, M. a kol. (2018):** Cementobetónové vozovky a spevnenia dopravných plôch. Žilinská univerzita v Žiline, EDIS – vydavateľské centrum ŽU 2018, s. 365, ISBN 978-80-554-1476-8.
37. **DECKÝ, M., DREVENÝ, I., DRLIČIAK, M. a kol. (2018):** Mechanika vozoviek pozemných komunikácií. Vysokoškolská učebnica, 2. prepracované vydanie, Žilinská univerzita v Žiline, EDIS – vydavateľské centrum ŽU 2018, s.400, ISBN 978-80-554-1487-4.
38. **ĎURČANSKÁ, D., DECKÝ, M., DRLIČIAK, M. a kol. (2019):** Road Transport and the Environment. Vysokoškolská učebnica, Žilinská univerzita v Žiline, EDIS – vydavateľské centrum ŽU 2019, s.278, ISBN 978-80-554-1632-8.
39. **ĎURČANSKÁ, D., DECKÝ, M., JANDAČKA, D. REMIŠOVÁ, E. a kol. (2019):** Environmentálne problémy sídelných útvarov. EDIS – vydavateľské centrum ŽU 2019, s.257, ISBN 978-80-554-1590-1.
40. **DECKÝ, M., REMIŠOVÁ, E., KOVÁČ, M. (2019):** Zohľadnenie klimatických zmien v navrhovaní vozoviek Eureregiónu Beskydy. In *Zborník medzinárodnej vedeckej konferencie Rozvoj Euroregiónu Beskydy XIII*. Žilina, 18. október 2019, s. 57-75, ISBN 978-80-554-1620-5.
41. **DECKÝ, M., DREVENÝ, I., DRLIČIAK, M. a kol. (2019):** Navrhovanie a rehabilitácie vozoviek pozemných komunikácií. Skriptá, EDIS - vydavateľstvo ŽU 2019, s. 336, ISBN 978-80-554-1615-1.
42. **DECKÝ, M., ZUZULOVÁ, A., DREVENÝ, I. a kol. (2020):** Cementobetónové vozovky a spevnenia dopravných plôch. Navrhovanie, posudzovanie, materiály, poruchy, rehabilitácie, BIM. Vysokoškolská učebnica, 2. prepracované vydanie, Žilinská univerzita v Žiline, EDIS – vydavateľské centrum ŽU 2020, s.401, ISBN 978-80-554-1487-4.
43. **DECKÝ, M., DREVENÝ, I., DRUSA, M. a kol. (2020):** Možnosti využitia kompozitných penobetónov v rehabilitáciách vozoviek s vysokou nadmorskou výškou. In *Magazín Mobilita Stroje Technológie Ekológie*, roč. 15, č. 2/2020, s.30-33.
44. **DECKÝ, M., DRUSA, M., SCHERFEL, W. a kol. (2020):** Kompozitné penobetóny ako environmentálne optimálna podkladová vrstva pre rehabilitácie vozoviek s vysokou nadmorskou výškou. In *Traffic Forum [electronic]*, časopis Výskumného ústavu dopravného. Roč. 4, č. 1 (2020), s. 39-52, ISSN 2454-101X.
45. **DECKÝ, M., MUŠKA, M., REMIŠOVÁ, E. a kol. (2021):** Mestské inžinierstvo, 1.diel. Žilinská univerzita v Žiline, EDIS – vydavateľstvo ŽU. I. vyd., s. 365, ISBN 978-80-554-1790-5.
46. **ŠRÁMEK, J., DECKÝ, M. a kol. (2021):** Trvalodržateľná výstavba a správa tunelových vozoviek. Skriptá, Žilinská univerzita v Žiline, EDIS – vydavateľské centrum ŽU 2021, s.349, ISBN 978-80-554-1791-2.
47. **SLAVÍK, J. (2009):** Vyčerpateľnosť surovínových zdrojů, recyklace a krize na trhu druhotných surovin, *Acta Oeconomica Pragensia*, jún 2009.

48. **BUCZYNSKI, P. (2016):** *The Frost Resistance of Recycled Cold Mixes with Foamed Bitumen and Different Types of Road Binders.* In *World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium (WMCAUS), Prague, CZECH REPUBLIC, JUN 13-17, 2016, ISSN: 1877-7058.*
49. **CHOMICZ-KOWALSKA, A, IWAŃSKI, M.M. MRUGAŁA, J. (2017):** *Basic Performance of Fibre Reinforced Asphalt Concrete with Reclaimed Asphalt Pavement Produced in Low Temperatures with Foamed Bitumen.* In *Vol, 245, iss. 3, 4 November 2017, World Multidisciplinary Civil Engineering-Architecture-Urban Planning Symposium 2017, WMCAUS 2017; Prague; 12 June 2017 through 16 June 2017, ISSN 17578981.*
50. **MOHAJERANI, A., KURMUS, H., TRAN, L. et al (2018):** *View Correspondence (jump link) Clegg impact hammer: an equipment for evaluation of the strength characteristics of pavement materials, turf, and natural and artificial playing surfaces: a review.* In *Road Materials and Pavement Design, 2018, ISSN 14680629.*
51. **ŠVAJLENKA, J., KOZLOVSKÁ, M. (2018):** *Quality parameters perception of modern methods of construction based on wood in the context of sustainability.* In *Periodica Polytechnica Civil Engineering, Vol. 62, iss. 3, 22 May 2018, p. 7.*
52. **KARPISZ, I., JAWORSKI, K. (2018):** *Study of compressive strength evolution in soil cement samples with fly-ash admixtures.* In *IOP Conference Series Materials Science and Engineering. Vol. 365, iss. 3, 2018, 21st International Scientific Conference on Advanced in Civil Engineering: Construction - The Formation of Living Environment, FORM 2018; Moscow State University of Civil Engineering, Moscow; 25.-27.4.2018.*
53. **RAMIACZEK, P., CHOMICZ-KOWALSKA, A., STEPIEN, J. et al (2019):** *Preliminary assessment of the secondary setting of Portland cement in recycled crushed concrete incorporated in cold recycled road base mixes with foamed bitumen (2019).* In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 603 (4).*
54. **ŠRÁMEK, J., DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K. (2019):** *Testing the unbound layers of pavements from recycled asphalt mixtures.* In *SGEM 2019 conference proceedings, Sofia: STEF92 Technology, 2019, p. 515-521, ISBN 978-619-7408-77-5.*
55. **KAMAL, I., BAS, Y. (2020):** *Materials and technologies in road pavements - an overview.* In *MATERIALS TODAY-PROCEEDINGS. Vol. 42, p. 2660-2667 Published: 2021. Conference: 3rd International Conference on Materials Engineering and Science (IConMEAS).*
56. **ZUZULOVA, A., HODAKOVA, D. CAPAYOVA, S. et al (2020):** *Climatic influences considered in pavement design methodology.* In *International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, SGEM 2020, vol. 2020-august, iss. 4.1, 2020, p. 349-356. Albenal8-24.8. 2020.*
57. **GAO, M. H., NIE, N., ZHANG, W. , CHEN, H. (2020):** *Monitoring the spatial distribution and changes in permafrost with passive microwave remote sensing.* In *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, vol.170, p. 142-155.*
58. **MARROCCHINO, E., TELLOLI, C., APRILE, A., CAPUANI, D., MALAGUTI, D., VACCARO, C. et al (2021):** *Case study on the mineralogical and petrophysical analysis of reinforced concrete slabs of a highway viaduct of the S.G.C. Orte-Ravenna.* In *SN Applied Sciences. Volume 3, Issue 6, June 2021, Article number 623.*
59. **BONOLI, A., ZANNI, S., SERRANO-BERNARDO, F. (2021):** *Sustainability in Building and Construction within the Framework of Circular Cities and European New Green Deal. The Contribution of Concrete Recycling.* In *SUSTAINABILITY, Vol. 13, iss. 4, Article Number: 2139.*
60. **R. B. MALLICK, T. EL-KORCHI (2018):** *Pavement Engineering. Principles and Practise. Third edition, CRC Press 2018 by Taylor&Francis Group, p.747, ISBN 978-3-4987-5880-2.*
61. **KIBERT, C. J. (1994):** *Establishing principles and a model for sustainable construction.* In *First international conference of CIB TG 16 on sustainable construction, Tampa, Florida, 6–9 November.*
62. **PULASKI, M. H. (2005):** *The Alignment of Sustainability and Constructability: A Continuous Value Enhancement Process. Ph.D. Dissertation, Architectural Engineering, The Pennsylvania State University, University Park, PA.*
63. <https://greenglobe.com/about>, 29.7.2021.
64. <https://www.ibec.or.jp/CASBEE/english>, 29.7.2021
65. <https://www.sgbc.sg/sgbc-certifications/sgbp-recognition-in-bca-green-mark>, 29.7.2021.
66. <https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/b17568-92/triple-objective-evaluation-model-green-building-based-whole-life-cycle-han-kong>, 18.8.2021.

67. [https://green.wikia.org/wiki/Australian\\_Building\\_Greenhouse\\_Rating\\_Scheme](https://green.wikia.org/wiki/Australian_Building_Greenhouse_Rating_Scheme), 16.8.2021
68. <https://www.grihaindia.org/about-griha>, 17.8.2021.
69. **MIYATAKE, Y. (1996):** *Technology development and sustainable construction. J. Manag. Eng.* 1996, 12, 23–27.
70. **MILLER, T. - BAHIA, H. (2009):** *Sustainable Asphalt Pavements Technologies, Knowledge Gaps and Opportunities. Modified Asphalt Research Center, University of Wisconsin Madison.*
71. *Zákon č. 79/2015 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov.*
72. *Vyhláška MŽP SR č. 365/2015 Z. z. ktorou sa ustanovuje Katalóg odpadov.*
73. *Smernica európskeho parlamentu a rady 2008/98/ES z 19. novembra 2008 o odpade a o zrušení určitých smerníc.*
74. <https://www.enviroportal.sk/indicator/detail?id=561>, 2021
75. *SPRÁVA O STAVE ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY V ROKU 2005, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia, Tajovského 28, 975 90 Banská Bystrica, <https://www.enviroportal.sk/uploads/report/2005-07-3-odpady.pdf>.*
76. *SPRÁVA O STAVE ŽIVOTNÉHO PROSTREDIA SLOVENSKEJ REPUBLIKY V ROKU 2010, Ministerstvo životného prostredia Slovenskej republiky, Námestie Ludovíta Štúra 1, 812 35 Bratislava, Slovenská agentúra životného prostredia, Tajovského 28, 975 90 Banská Bystrica, <https://www.enviroportal.sk/uploads/report/2010-04-2-material-odpady.pdf>.*
77. *Štatistický úrad Slovenskej republiky, Odpady v Slovenskej republike 2015, Waste in the Slovak Republic 2015, ISBN 978-80-8121-496-7.*
78. *Štatistický úrad Slovenskej republiky, Odpady v Slovenskej republike za rok 016, Waste in the Slovak Republic in 2016, ISBN 978-80-8121-581-0.*
79. *Štatistický úrad Slovenskej republiky, Odpady v Slovenskej republike za rok 2017, Waste in the Slovak republic in 2017, ISBN 978-80-8121-648-0.*
80. *Štatistický úrad Slovenskej republiky, Odpady v Slovenskej republike za rok 2018, Waste in the Slovak Republic in 2018, ISBN 978-80-8121-717-3.*
81. *Štatistický úrad Slovenskej republiky, Odpady v Slovenskej republike za rok 2019, Waste in the Slovak Republic in 2019, ISBN 978-80-8121-783-8.*
82. *Štatistický úrad Slovenskej republiky, Odpady v Slovenskej republike za rok 2020, Waste in the Slovak Republic in 2020, ISBN 978-80-8121-847-7.*
83. *Protokol EÚ o nakladaní so stavebným odpadom a odpadom z demolácie, Európska komisia. Generálne riaditeľstvo pre vnútorný trh, priemysel, podnikanie a MSP, september 2016*
84. *Energy, transport and environment statistics 2020 edition, Printed by Imprimeries Bietlot Frères in Belgium, Manuscript completed in October 2020, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2020, European Union, 2020, ISBN 978-92-76-20736-8 ISSN 2363-2372 doi:10.2785/522192 KS-DK-20-001-EN-N.*
85. *Zákon č. 90/1998 Z. z. o stavebných výrobkoch v znení neskorších predpisov. 1.7.2013 bol nahradený Zákonom č. 133/2017 o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov.*
86. **GRUNNER, K.:** *Využitie materiálov z konštrukcií vozoviek. In: Zborník zo 16. Medzinárodnej konferencie RECYCLING 2011 Možnosti a perspektivy recyklácie stavebných odpadů jako zdroje plnohodnotných surovin. 17. - 18. marec 2011, VUT Brno, str.15-23, ISBN 978-80-214-4253-5.*
87. *STN 73 6133 Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií.*
88. *STN EN 13242 Kamenivo do nestmelených a hydraulicky stmelených materiálov používaných v inžinierskom staviteľstve a pri výstavbe ciest.*
89. *EN 933-11 Tests for geometrical properties of aggregates.*
90. **KLÁČANSKÝ, T.:** *Opätovné použitie materiálov do násypov zemných telies dopravných konštrukcií. In: Zborník VII. semináru Ivana Poliačka Stavba a rekonštrukcia vozoviek s opätovným použitím materiálov. 21.22. november 2002, str.76-79, ISBN -80-223-0481-X.*
91. <https://www.lectura-specs.com/en/model/recycling-waste-management/rubble-recycling-plants-komatsu/br350jg-990170>, 29.8.2021.

92. Autor fotografie Lokaj Stanislav.
93. Projektová dokumentácia, Sprievodná správa Cesta I/51 Trnava- severný obchvat 3. etapa.
94. **RAVAS, M.:** Použitie materiálov z miestnej skládky na výstavbu násypového telesa, Stavba cesta I/51 Trnava- severný obchvat, 3.etapa. Diplomová práca, KTMS, Stavebná fakulta TU, 2011.
95. Autor fotografie Ravas Michal.
96. <https://www.mascus.sk/stavebnictvo/drvice/rubble-master-rm90go/slnbyml.html>, 30.8. 2021.
97. STN 73 6192 Rázová zatažovacia skúška vozoviek a podložia, 2011.
98. STN 72 1006 Kontrola zhutnenia zemín a sypanín, 1995.
99. STN 72 1016 Laboratórne stanovenie pomeru únosnosti zemín (CBR), 1992.
100. STN 72 1012 Laboratórne stanovenie vlhkosti zemín, 1980.
101. TP BF-StBTeil B 8.3 Technische Prüfvorschriften für Boden und Fels im Straßenbau. Dynamischer Plattendruckversuch mit Hilfe des leichten Fallgewichtsgerätes, 2003.
102. **KOPRIVA, I.:** Skúsenosti z kontroly kvality zhutnenia zemín s ľahkou dynamickou doskou na líniových stavbách. Seminár s medzinárodnou účasťou Q - '98, Kvalita, norma a technické predpisy v cestnom stavitelstve. Žilina, 4.-5. 2. 1999.
103. LDD 100 Lehká dynamická deska. Návod k obsluze a používaniu, ZBA GeoTech, Nové Město nad Metují.
104. **VACHÁLKOVÁ, K.:** Návrh asfaltovej vozovky miestnej komunikácie ul. Revolučná v Kysuckom Novom Meste. Diplomová práca, KCS, SvF, ŽU v Žiline 2008.
105. **POSPÍŠIL, K.:** Analýza vzťahu CBR a modulu pretvárnosti. In: Sborník z konferencie Perner's Contact 2002, Pardubice, 5.-6.2.2001.
106. ON 73 6440 Navrhovanie rekonštrukcie cementobetónových letiskových dráh a plôch zosilnením. Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, Praha, 1987.
107. **POSPÍŠIL, K.:** Návrh a kontrola zemních prací. Silniční obzor 3/2002, str. 63-až 67.
108. TP 77 Navrhování vozovek pozemních komunikací. MD ČR, 1995.
109. TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací. MD ČR, 2004.
110. **GSCHWENDT, I. a kol.:** Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek. Technické podmienky TP 3/2009, MDPaT SR, august 2009 (aktuálne označenie TP 033).
111. **GSCHWENDT, I. a kol.:** Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek. Technická smernica TS 0502, MDPaT SR, marec 2002.
112. **ČOREJ, J. a kol.:** Mechanika vozoviek. Navrhovanie vozoviek a spevnených plôch. 2. prepracované vydanie Žilina: EDIS – vydavateľstvo ŽU 2006, 363 s. ISBN 80-8070-571-2.
113. **DECKÝ, M., DRUSA a kol.:** Navrhovanie a kontrola kvality zemných konštrukcií inžinierskych stavieb. Monografia, BTO print, Žilina 2009, s.487, ISBN 978-80970139-1-2.
114. [http://www.clegg.com.au/information\\_list12.asp](http://www.clegg.com.au/information_list12.asp), 29.3.2011.
115. **ŠRÁMEK, J., DECKÝ, M. a kol.:** Trvaloudržateľná výstavba a správa tunelových vozoviek. Skriptá, Žilinská univerzita v Žiline, EDIS – vydavateľské centrum ŽU 2021, s.349, ISBN 978-80-554-1791-2.
116. TP 083 Katalóg porúch asfaltových vozoviek, MDVRR SR 2014.
117. TP 073 Katalóg porúch vozoviek s cementobetónovým krytom, MDVRR SR 2013.
118. STN 73 6114 Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie, 1997.
119. **IŽVOLT, L.:** Železničný spodok. Namáhanie, diagnostika, navrhovanie a realizácia konštrukčných vrstiev telesa železničného spodku. Vedecká monografia, EDIS-vydavateľstvo ŽU, 2008, 323 str., ISBN 978-80-8070-802-3.
120. **IŽVOLT, L., HODAS, S., ŠESTÁKOVÁ, J.:** Železničné stavitelstvo 1: projektovanie, stavby a konštrukcie železničných tratí a staníc. 1. vydanie, Žilinská univerzita 2015, s.561, ISBN 978-80-554-1122-4.
121. **Decky, M., Papanova, Z., Juhás, M., & Kudelcikova, M. (2022):** Evaluation of the Effect of Average Annual Temperatures in Slovakia between 1971 and 2020 on Stresses in Rigid Pavements. Land, 11(6), 764.
122. **MOHYLA, J.:** Silniční a geotechnická laboratoř: Kalifornský poměr únosnosti 13.3.2019
123. **GREŇČÍK, M.:** Využitie recyklovaných asfaltových zmesí v konštrukčných vrstvách vozoviek. Diplomová práca. Žilina 2020.
124. **KOVAČKA, I.:** Rehabilitácie vozoviek miestnych komunikácií v menších sídelných útvaroch. Diplomová práca, KTMS SvF 2018.
125. STN 72 1015 Laboratórne stanovenie zhutniteľnosti zemín, 1988.

126. *STN EN 13286-47 (73 6181) Nestmelené a hydraulicky stmelené zmesi. Časť 47: Skúšobná metóda na stanovenie Kalifornského pomeru únosnosti, indexu okamžitej únosnosti a lineárneho napučievania, 2012.*
127. **KAVKA, M.:** *Hodnotenie neistôt merania kvalitatívnych parametrov materiálov konštrukcie vozoviek. Diplomová práca. Žilina 2021.*
128. **DECKÝ, M., STARŠÍ, B., ŠRÁMEK, J., DRUSA, M.:** *Korelácie statických a dynamických charakteristík kontroly kvality zhutnenia nestmelených konštrukcií vozoviek. Inžnierske stavy 2021.*
129. **DECKÝ, M., ZGÚTOVÁ, K., VANGEL, V., KOVÁČ, M.:** *Problematika stavebného a demolačného odpadu z pohľadu miestnej samosprávy.*
130. *STN 73 6190 Statická zaťažovacia skúška stavebných konštrukcií doskou, 2019.*
131. *TP 098 Navrhovanie cementobetónových vozoviek na cestných komunikáciách, MDVRR SR 2015.*
132. *TP 004 Použitie ťaženého predvrúbeného kameniva v nestmelených vrstvách konštrukcií vozoviek, MDVRR SR 2018.*
133. **IACOBONE, C., Mihaela ALDEA, M., PETRESCU, F.:** *Construction and demolition waste - a challenge for the european union? Source: Theoretical and Empirical Researches in Urban Management , Vol. 14, No. 1 (February 2019), pp. 30-52 Published by: Research Center in Public Administration and Public Services*
134. *TP 043 Technické podmienky, Recyklácia asfaltového materiálu získaného zo stavby vo výrobníach asfaltových zmesí*
135. *Vyhláška č. 344/2022 Z. z., Ministerstva životného prostredia Slovenskej republiky o stavebných odpadoch a odpadoch z demolácií*