

**UPRESNENIE A DOPLNENIE OPATRENÍ PRE KONTROLU
VZNIKU ALEBO ELIMINÁCIU REFLEXNÝCH TRHLÍN
V POLOTUHÝCH VOZOVKÁCH**

ROZBOROVÁ ÚLOHA

OBSAH

1	Všeobecné údaje	4
2	Cieľ rozborovej úlohy	4
2.1	Distribúcia rozborovej úlohy	4
2.2	Súvisiace a citované právne predpisy	4
2.3	Súvisiace a citované normy	5
2.4	Súvisiace a citované Technické predpisy rezortu	6
2.5	Súvisiace zahraničné predpisy	7
2.6	Použitá literatúra	7
2.7	Použité skratky	8
3	Úvod	9
3.1	Termíny a definície	9
4	Príčiny vzniku trhlín v hydraulicky stmelených vrstvách	10
4.1	Zmrašťovanie	10
4.2	Pevnosť v ťahu	10
4.3	Zmeny teploty	11
4.4	Klimatické podmienky pri kladení a hutnení	12
4.5	Vplyv zloženia zmesi na tvorbu trhlín v HSV	13
4.6	Zhutnenie	14
4.7	Ošetrovanie HSV	15
4.8	Záver kapitoly	17
5	Napätia v HSV	17
5.1	Napätie od zmrašťovania	17
5.2	Záver kapitoly	21
6	Rozlíšenie trhlín polotuhých vozoviek podľa ich pôvodu	21
6.1	Typy trhlín	21
6.2	Metódy určovania pôvodu trhlín	23
6.3	Záver kapitoly	25
7	Možnosti eliminácie vzniku reflexných trhlín vo fáze návrhu vozovky	25
7.1	Nízkoteplotné vlastnosti a únavové charakteristiky asfaltových zmesí	25
7.2	Kvalita podložia	27
7.3	Optimalizácia tuhosti HSV	27
7.4	Vrstvy absorbujúce napätie	27
7.5	Vytváranie škár	27
7.6	Príklad vozovky	27
7.7	Záver kapitoly	28
8	Spôsoby eliminácie rizika vzniku reflexných trhlín vo fáze realizácie vozovky	28
8.1	Slovensko	28
8.2	Zahraničné prístupy	29
8.3	Záver kapitoly	30
9	Príklady realizovaných vozoviek so zníženým rizikom vzniku reflexných trhlín	30
9.1	Slovensko	30
9.2	Česká republika	30
9.3	Francúzsko	31
9.4	Nemecko	31
9.5	Srbská republika	31
9.6	Austrália	31
9.7	Južná Afrika	31
9.8	Záver kapitoly	32
10	Metódy opráv reflexných trhlín	32
10.1	Klimatické podmienky pre opravu trhlín	32
10.2	Materiály	32
10.3	Porovnanie materiálov na opravu reflexných trhlín	33
10.4	Postup opravy	33
10.5	Termín opravy trhlín	34
10.6	Harmonogram opráv	35
10.7	Slovenské predpisy	36
10.8	Záver kapitoly	36
11	Ekonomické porovnanie metód opráv reflexných trhlín	36

11.1	Kvalitatívne porovnanie vybraných metód.....	37
11.2	Porovnanie nákladov a očakávanej životnosti (orientačné hodnoty)	38
11.3	Záver kapitoly	38
12	Návrhy na implementáciu výsledkov RÚ	38
12.1	Úpravy technických predpisov rezortu	39
12.2	Záver kapitoly	40
13	Záverečné zhodnotenie RÚ	40
13.1	Prehľad opatrení na elimináciu reflexných trhlín v polotuhých vozovkách.....	40
13.2	Zhodnotenie prínosu RÚ	42
13.3	Hlavné odporúčania RÚ	42
14	FOTOGALÉRIA (ilustračné fotografie)	43

1 Všeobecné údaje

Objednávateľ:	Slovenská správa ciest
Zhotoviteľ:	VUIS – CESTY, spol. s r. o., Vlčie hrdlo 1, 821 07 Bratislava - Ružinov
Doba riešenia:	máj – október 2025
Hlavný riešiteľ:	Ing. Ľubomír Polakovič, CSc.
Spoluriešiteľ:	Ing. Adrián Fonód, PhD.

2 Cieľ rozborovej úlohy

Cieľom rozborovej úlohy je upresniť a doplniť opatrenia na kontrolu vzniku a elimináciu reflexných trhlín v polotuhých vozovkách. Výsledkom má byť jasne definovaný súbor odporúčaní a technických riešení, ktoré prispievajú k zvýšeniu spoľahlivosti a životnosti týchto konštrukcií.

2.1 Distribúcia rozborovej úlohy

Elektronická verzia rozborovej úlohy sa zverejní na webovom sídle SSC: www.ssc.sk

2.2 Súvisiace a citované právne predpis

- [Z1] Zákon č. 124/2006 Z. z. o bezpečnosti a ochrane zdravia pri práci a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z2] zákon č. 133/2013 Z. z. o stavebných výrobkoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z3] zákon č. 135/1961 Zb. o pozemných komunikáciách (cestný zákon), v znení neskorších predpisov;
- [Z4] zákon č. 223/2001 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z5] zákon č. 230/2022, ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 79/2015 Z. z. o odpadoch a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z6] zákon č. 364/2004 Z. z. o vodách a o zmene zákona SNR č. 372/1990 Zb. o priestupkoch v znení neskorších predpisov (vodný zákon);
- [Z7] zákon č. 46/2024 Z. z., ktorým sa mení a dopĺňa zákon č. 50/1976 Zb. o územnom plánovaní a stavebnom poriadku (stavebný zákon) v znení neskorších predpisov a ktorým sa menia a dopĺňajú niektoré zákony;
- [Z8] zákon č. 478/2002 Z. z. o ochrane ovzdušia a ktorým sa dopĺňa zákon č. 401/1998 Z. z. o poplatkoch za znečisťovanie ovzdušia v znení zákona č. 137/2010 Z. z. (zákon o ovzduší)
- [Z9] zákon č. 56/2018 Z. z. o posudzovaní zhody výrobku, sprístupňovaní určeného výrobku na trhu a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
- [Z10] zákon č. 8/2009 Z. z. o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z11] zákon č. 91/2016 Z. z. o trestnej zodpovednosti právnických osôb a o zmene a doplnení niektorých zákonov;
- [Z12] vyhláška č. 344/2022 Z. z. Vyhláška MŽP SR o stavebných odpadoch a odpadoch z demolácií;
- [Z13] vyhláška FMD č. 35/1984 Zb., ktorou sa vykonáva zákon o pozemných komunikáciách (cestný zákon);
- [Z14] vyhláška MDVRR SR č. 162/2013 Z. z., ktorou sa ustanovuje zoznam skupín stavebných výrobkov a systémy posudzovania parametrov;
- [Z15] vyhláška MV SR č. 9/2009 Z. z., ktorou sa vykonáva zákon o cestnej premávke a o zmene a doplnení niektorých zákonov v znení neskorších predpisov;
- [Z16] delegované nariadenie Komisie (EÚ) č. 574/2014 z 21. februára 2014, ktorým sa mení príloha III k nariadeniu Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 o vzore, ktorý sa použije na vypracovanie vyhlásenia o parametroch pre stavebné výrobky;

- [Z17] nariadenie Európskeho parlamentu a Rady (EÚ) č. 305/2011 z 9. marca 2011, ktorým sa ustanovujú harmonizované podmienky uvádzania stavebných výrobkov na trh a ktorým sa zrušuje smernica Rady 89/106/EHS v platnom znení.
- [Z18] zákon č. 25/2025 Z. z. Stavebný zákon a o zmene a doplnení niektorých zákonov (Stavebný zákon)
- [Z19] vyhláška č. 59/2025 Z. z. úradu pre územné plánovanie a výstavbu Slovenskej republiky o členení stavieb
- [Z20] vyhláška č. 60/2025 Z. z. Úradu pre územné plánovanie a výstavbu Slovenskej republiky č. 60/2025 Z. z. o štruktúre a prevádzke informačného systému územného plánovania a výstavby, o obsahu podaní a obsahu a rozsahu dokumentácie stavby

2.3 Súvisiace a citované normy

STN 73 3040	Geosyntetika. Základné ustanovenia a technické požiadavky
STN 73 6100	Terminológia pozemných komunikácií
STN 73 6114	Vozovky pozemných komunikácií. Základné ustanovenia pre navrhovanie
STN 73 6121	Stavba vozoviek. Hutnené asfaltové zmesi
STN 73 6124-1	Stavba vozoviek. Časť 1: Hydraulicky stmelené vrstvy
STN 73 6125	Stavba vozoviek. Upravené zeminy
STN 73 6129	Stavba vozoviek. Postreky, nátery a membrány
STN 73 6133	Stavba ciest. Teleso pozemných komunikácií
STN EN 12597 (65 7000)	Asfalty a asfaltové spojivá. Terminológia
STN EN 12697-22 + A1 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 22: Skúška vyjazďovania kolesom (Konsolidovaný text)
STN EN 12697-23 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 23: Stanovenie pevnosti v priečnom ťahu asfaltových skúšobných telies
STN EN 12697-24 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 24: Odolnosť proti únave
STN EN 12697-26 + A1 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 26: Tuhosť
STN EN 12697-44 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 44: Šírenie trhliny na skúšobnom telese polkruhového prierezu namáhanom ohybom
STN EN 12697-45 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 45: Stanovenie trvanlivosti hutnenej asfaltovej zmesi po intenzívnom starnutí (SATS)
STN EN 12697-46 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 46: Mrazové trhliny a vlastnosti pomocou skúšky v jednoosovom ťahu
STN EN 12697-48 (73 6160)	Asfaltové zmesi. Skúšobné metódy. Časť 48: Skúška spojenia vrstiev
STN EN 13108-1 (73 6163)	Asfaltové zmesi. Požiadavky na materiály. Časť 1: Asfaltový betón
STN EN 13108-20 (73 6163)	Asfaltové zmesi. Požiadavky na materiály. Časť 20: Skúška typu
STN EN 13108-21 (73 6163)	Asfaltové zmesi. Požiadavky na materiály. Časť 21: Systém riadenia výroby
STN EN 13108-5 (73 6163)	Asfaltové zmesi. Požiadavky na materiály. Časť 5: Asfaltový koberec mastixový
STN EN 13249 (80 6104)	Geotextílie a geotextíliam podobné výrobky. Vlastnosti požadované pri stavbe pozemných komunikácií a iných dopravných plôch (okrem železníc a vystužovania asfaltových povrchov vozoviek)
STN EN 13282-1 (72 2120)	Hydraulické spojivá pre vozovky. Časť 1: Rýchlotvrdnúce hydraulické spojivá pre vozovky. Zloženie, požiadavky a kritéria zhody Hydraulické spojivá pre vozovky.
STN EN 13282-2 (72 2120)	Hydraulické spojivá pre vozovky. Časť 2: Normálne tvrdnúce hydraulické spojivá pre vozovky. Zloženie, požiadavky a kritéria zhody
STN EN 13282-3 (72 2120)	Hydraulické spojivá pre vozovky. Časť 3: Posudzovanie a overovanie stálosti úžitkových vlastností
STN EN 13285 (73 6162)	Nestmelené zmesi. Špecifikácie

STN EN 13286-42 (73 6181)	Nestmelené a hydraulicky stmelené zmesi. Časť 42: Skúšobná metóda nepriameho určovania pevnosti v ťahu hydraulicky stmelených zmesí
STN EN 13808 (65 7004)	Asfalty a asfaltové spojivá. Súbor požiadaviek na špecifikáciu katiónaktívnych asfaltových emulzií
STN EN 13924-1 (65 7202)	Asfalty a asfaltové spojivá. Súbor požiadaviek na špeciálne cestné asfalty. Časť 1: Tvrdé cestné asfalty
STN EN 14023 (65 7208)	Asfalty a asfaltové spojivá. Súbor požiadaviek na asfalty modifikované polymérom
STN EN 14227- (73 6184)	Hydraulicky stmelené zmesi. Špecifikácie. Časť 1: Cementom stmelené zmesi
STN EN 14227-2 (73 6184)	Hydraulicky stmelené zmesi. Špecifikácie. Časť 2: Zmesi stmelené troskou
STN EN 14227-3 (73 6184)	Hydraulicky stmelené zmesi. Špecifikácie. Časť 3: Zmesi stmelené popolčekom
STN EN 14227-4 (73 6184)	Hydraulicky stmelené zmesi. Špecifikácie. Časť 4: Popolček pre hydraulicky stmelené zmesi
STN EN 14227-5 (73 6184)	Hydraulicky stmelené zmesi. Špecifikácie. Časť 5: Zmesi stmelené hydraulickým cestným spojivom
STN EN 14227-15 (73 6184)	Hydraulicky stmelené zmesi. Špecifikácie. Časť 15: Hydraulicky stabilizované zeminy
STN EN 197-1 (72 2101)	Cement. Časť 1: Zloženie, špecifikácie a kritériá na preukazovanie zhody cementov na všeobecné použitie
STN EN ISO 14001 (83 9001)	Systémy manažérstva environmentu. Požiadavky s pokynmi na použitie (ISO 14001: 2015)
STN EN ISO 9001 (01 0230)	Systémy manažérstva kvality. Požiadavky (ISO 9001: 2015)
STN ISO 45001 (83 3000)	Systémy manažérstva bezpečnosti a ochrany zdravia pri práci. Požiadavky s usmernením na používanie (ISO 45001: 2018)

Poznámka: Súvisiace a citované normy vrátane aktuálnych zmien, dodatkov a národných príloh.

2.4 Súvisiace a citované Technické predpisy rezortu

[T1]	TP 028	Vykonávanie inžinierskogeologického prieskumu pre cestné stavby
[T2]	TP 032	Riadenie kvality hutnených asfaltových zmesí
[T3]	TP 033	Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek
[T4]	TP 047	Katalóg technológií na opravy základných typov porúch vozoviek
[T5]	TP 054	Použitie geosyntetických a im podobných materiálov vo vrstvách asfaltových vozoviek
[T6]	TP 055	Využitie georadaru pri návrhu rehabilitácie/rekonštrukcie vozoviek
[T7]	TP 064	Použitie geosyntetických a im podobných materiálov vo vrstvách asfaltových vozoviek
[T8]	TP 071	Prehliadky, údržba a opravy cestných komunikácií.
[T9]	TP 083	Diaľnice, rýchlostné cesty a cesty
[T10]	TP 097	Katalóg porúch asfaltových vozoviek
[T11]	TP 101	Metodika na stanovenie odolnosti asfaltových zmesí proti tvorbe trvalých deformácií
[T12]	TKP 0	Metodika na stanovenie tuhosti asfaltových zmesí
[T13]	TKP 2	Všeobecne
[T14]	TKP 5	Zemné práce
[T15]	TKP 27	Podkladové vrstvy z nestmelených a hydraulicky stmelených zmesí
[T16]	KLA	Zlepšovanie a stabilizácia zemín
[T17]	KLAZ	Katalógové listy asfaltov
[T18]	KLEaZ	Katalógové listy asfaltových zmesí
[T19]	KLHS	Katalógové listy emulzií a zálievok
[T20]	KLK	Katalógové listy hydraulických spojív
		Katalógové listy kameniva

Poznámka: Súvisiace a citované Technické predpisy rezortu v platnom znení vrátane dodatkov

2.5 Súvisiace zahraničné predpisy

[ZP1]	NF P 98-116	Assises de chaussées. Graves traitées aux liants hydrauliques. Définition, Composition, Classification (Podkladové vrstvy vozoviek. Kamenivo stmelené hydraulickými spojivami. Definícia, Zloženie, Klasifikácia).
[ZP2]	RVS 08.17.01	Mit Bindemitteln stabilisierte Tragschichten (Podkladové vrstvy stabilizované spojivami).
[ZP3]	ZTV Beton-StB 07	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Tragschichten mit hydraulischen Bindemitteln und Fahrbahndecken aus Beton, FGSV-Nr.: 899; (Reflexné trhlíny na letiskových vozovkách. Príručka pre posudzovanie a ošetrovanie).
[ZP4]	Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací. Kapitola 5	Podkladní vrstvy, MD ČR 2015.
[ZP5]	Design & Maintenance Guide 33	Reflection cracking on airfield pavements. A design guide for assessment, treatment select; 2016 (Reflexné trhlíny na letiskových vozovkách. Príručka pre posudzovanie a ošetrovanie).
[ZP6]	AASHTO TP64	Determining the Fracture Potential of Asphalt Mixtures Using the Overlay Tester (OT), Texas Department of Transportation; (Stanovenie potenciálu náchylnosti na vznik trhlín asfaltových zmesí pomocou Overlay testera)
[ZP7]	Tex-248-F	Test Procedure for Overlay Test, American Association of State Highway and Transportation Officials; (Skúšobný postup pre Overlay tester)
[ZP8]	ASTM D731	Standard Test Method for Molding Index of Thermosetting Molding Powder; (Štandardná skúšobná metóda na stanovenie tvarovacieho indexu termosetových formovacích práškov)

2.6 Použitá literatúra

- [L1] Neville, A. M. (2011). Properties of Concrete (Vlastnosti betónu). 5th ed. Harlow: Pearson Education. ISBN 9780273755807.
- [L2] Cement Concrete & Aggregates Australia (2019). Shrinkage and Cracking of Concrete (Zmrašťovanie a trhlíny v betóne). Sydney: CCAA.
- [L3] Austroads (2020). Guide to Pavement Technology Part 4D: Stabilised Materials (Sprievodca technológiou vozoviek, časť 4D: Stabilizované materiály). Sydney: Austroads. ISBN 9781925947143.
- [L4] Louw, S., Jones, D., Harvey, J. et al. (2020). Shrinkage Crack Mitigation (Opatrenia na obmedzenie tvorby zmrašťovacích trhlín), Phase 2a. Davis: UCPRC.
- [L5] Gutsch, A., Schmidt, B. (2014). Pavement Design Manual for the Design of Highway Pavements (Príručka na navrhovanie vozoviek). Köln: FGSV Verlag. ISBN 9783886201089.
- [L6] Transportation Research Board (2010). Pavement Cracking: Mechanisms, Modeling, Detection, Testing, and Case Histories (Trhlíny vo vozovke: Mechanizmy, modelovanie, detekcia, testovanie a prípadové štúdie). Circular E-C141. Washington, D.C.: TRB.
- [L7] IFSTTAR (2019). French National Project Pavement cracking mitigation and techniques (Francúzsky národný projekt: Eliminácia tvorby trhlín vo vozovkách). Paris: Université Gustave Eiffel.
- [L8] Bennert, T. (2010). Reflective Cracking . State of the Practice (Reflexné trhlíny, súčasná prax). Transportation Research Record.
- [L9] Maxwell Products (2020). Repairing Reflection Cracking (Opravy reflexných trhlín).
- [L10] FHWA (2020). Life-Cycle Cost Analysis Primer (Základy analýzy nákladov životného cyklu). Washington, D.C.: Federal Highway Administration.

- [L 11] EAPA (2022). Economic Effectiveness of Asphalt Pavement Maintenance Methods (Ekonomická efektívnosť metód údržby asfaltových vozoviek). Brusel: European Asphalt Pavement Association.
- [L12] Austroads (2021). Pavement Maintenance Performance Framework (Rámec výkonnosti údržby vozovky). Sydney: Austroads. ISBN 9781925947501.
- [L13] Ing. Jana Hozzová; Zmesi stmelené hydraulickým cestným spojivom (HBB) a popolom (FABM) pre cestné stavby; Zborník XV. Konferencie Nestmelené a hydraulicky stmelené vrstvy vozoviek, Podbanské, 12 až 14 február 2025.
- [L14] Ing. Ján Piroško – Királ; Narušenie celistvosti stmelenej podkladovej vrstvy valcom, In: Zborník VII. Konferencie Nestmelené a hydraulicky stmelené vrstvy vozoviek, Podbanské, 17 až 19 február 2016
- [L15] Jongeun Baek, Imad L. Al-Qadi (2006); Finite Element Method Modeling of Reflective Cracking Initiation and Propagation: Investigation of the Effect of Steel Reinforcement Interlayer on Retarding Reflective Cracking in Hot-Mix Asphalt Overlay (Modelovanie tvorby a šírenia reflexných trhlin metódou konečných prvkov: Skúmanie vplyvu oceľovej výstuže na spomalenie tvorby reflexných trhlin v asfaltovom kryte); Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Volume 1949
- [L16] Hoang ND, Nguyen QL a Tien Bui D. (2018) Image Processing–Based Classification of Asphalt Pavement Cracks Using Support Vector Machine Optimized by Artificial Bee Colony (Klasifikácia trhlín v asfaltových vozovkách pomocou spracovania obrazu: Podporný vektorový stroj optimalizovaný umelou včelou kolóniou), Journal of Computing in Civil Engineering, Volume 32
- [L17] Husam Sadek, Husam Sadek, Marwa Hassan (2020); State-of-the-Art Review of the Evaluation of Asphalt Mixtures' Resistance to Reflective Cracking in Laboratory (Prehľad súčasného stavu hodnotenia odolnosti asfaltových zmesí proti reflexným trhlinám v laboratóriu); Journal of Materials in Civil Engineering Volume 32.
- [L18] Dhakal N., Zihan Z., Elseifi MA, Mousa M., Gaspard K. a Fillastre C., (2022), Classification of surface pavement cracks as top-down, bottom-up, and cement-treated reflective cracking based on deep learning methods (Klasifikácia povrchových trhlin vozoviek na základe ich pôvodu (šíriace sa zdola a zhora a reflexné trhliny v cementom stabilizovaných vrstvách) s využitím metód hlbokého učenia), Canadian Journal of Civil Engineering Volume 49

2.7 Použité skratky

AC	Asfaltový Betón (Asphalt Concrete)
AC L	Asfaltový betón na ložnú vrstvu
AC P	Asfaltový betón na podkladovú vrstvu
APP	Ataktický polypropylén
CBGM	Hydraulicky stmelená zmes, v ktorej je spojivom cement, vyrábaná v miešacom centre, s predpísanými kvalitatívnymi parametrami
CTCR	Cementom stabilizované drvené kamenivo (Cement Treated Crushed Rock)
d	Dolné sito frakcie kameniva
DASO	Dokončené akcie súvislej údržby a opráv
EME2	Asfaltová zmes s vysokým modulom tuhosti (Enrobé à Module Élevé Class 2)
E_{pn}	Návrhový modul pružnosti
ESCeS	Evidencia stavu cestnej siete
FABM	Zmesi stmelené popolčekom (Fly Ash Bound Mixture)
GTLH	Kamenivo stabilizované hydraulickými spojivami (Graves traitées aux liants hydrauliques)
HBBM	Zmes stmelená hydraulickým cestným spojivom (Hydraulic Road Binder Bound Mixture)
HRB	Hydraulické cestné spojivo (Hydraulic Road Binder)
HSV	Hydraulicky stmelená vrstva
HTG	Hydraulicky stmelená vrstva (Hydraulisch gebundene Tragschicht)
IGP	Inžiniersko geologický prieskum
IS MCS	Informačný systém modelu cestnej siete
KSP	Kontrolno-skúšobný plán
LCCA	Analýza nákladov životného cyklu Life Cycle Cost Analysis
N_c	Prevádzková výkonnosť vozovky

PD	Projektová dokumentácia
PMB	Asfalt modifikovaný polymérom (Polymer Modified Bitumen)
PTS	Pomaly tuhnúce spojivo
RÚ	Rozborová úloha
SAMI	Medzivrstva z membrány absorbujúcej napätie (Stress Absorbing Membrane Interlayer)
SBS	Styrén-butadién-styrén
SMA	Asfaltový koberec mastixový (Stone Mastic Asphalt)
STR	Redistribúcia napätí (Stress Transfer Redistribution)
TDZ	Trieda dopravného zaťaženia
TKP	Technicko-kvalitatívne podmienky
TP	Technické podmienky
TPR	Technické predpisy rezortu
VMT	Asfaltová zmes s vysokým modulom tuhosti

3 Úvod

Polotuhé vozovky s vrstvami z hydraulicky stmelených materiálov predstavujú dôležitý prvok moderného cestného staviteľstva a to najmä v prípadoch, kde sa vyžaduje kombinácia vysokej únosnosti, odolnosti voči vode a hospodárnosti výstavby. Problémom tohto typu vozoviek je výskyt reflexných trhlín, ktoré sú zdrojom ďalších porúch.

Cieľom tejto RÚ je analyzovať procesy vzniku, vývoja a šírenia reflexných trhlín v polotuhých vozovkách s HSV, identifikovať hlavné faktory ich vzniku, preskúmať preventívne opatrenia, porovnať ich účinnosť a nákladovosť a poskytnúť praktické odporúčania pre projektantov, zhotoviteľov aj správcov cestnej infraštruktúry.

RÚ vychádza z aktuálnych zahraničných poznatkov a praktických skúseností zo Slovenskej republiky i zahraničia. Obsahuje prehľad platných technických predpisov, laboratórnych skúšobných metód, vybraných stavebných realizácií a sumarizuje kľúčové otázky dôležité pre kvalifikované rozhodovanie v oblasti návrhu a údržby polotuhých konštrukcií z hľadiska eliminácie reflexných trhlín.

3.1 Termíny a definície

Trhlina vo vozovke je porucha povrchu vozovky, ktorá vzniká v dôsledku rôznych faktorov, ako sú teplotné zmeny, zaťaženie vozidlami, starnutie materiálu alebo pohyby podkladu a deformácia podložia. Trhlina vznikne následkom vysokým ťahových alebo šmykových napätí, ktoré sú vyššie ako pevnosti materiálu.

Reflexná trhlina je porucha povrchu vozovky. Je to trhlina v polotuhej vozovke, ktorá vznikla prekopírovaním trhlín alebo škár z hydraulicky stmelených podkladových vrstiev do asfaltových vrstiev.

Mrázová (nízkoteplotná) trhlina je definovaná ako priečna (môže byť aj pozdĺžna) trhlina vo vozovke spôsobená zmrašťovaním asfaltového krytu pri nízkych teplotách, ktoré môže viesť k prekročeniu pevnosti materiálu v ťahu a vzniku trhliny, ktorá sa môže ďalej šíriť a zväčšovať vplyvom mrznutia vody v trhlíne.

Hydraulicky stmelená vrstva je zmes zo zrnitého materiálu s kontrolovanou zrornosťou, kde $d = 0$. Je vyrobená s použitím hydraulických spojív (cement, troska, popolček, hydraulické cestné spojivo), vytvorená rozprestieraním a hutnením. Tento pojem reprezentuje širšiu škálu zmesí (podľa typu spojiva), preto sa v tomto dokumente používa aj pri zmesiach typu CBGM.

Geosyntetika s funkciou redistribúcie napätí¹ sa používa na redistribúciu ťahových napätí spôsobených reflexnými trhlínami v podkladových vrstvách vozovky alebo redistribúciu napätí vyvolaných dopravným zaťažením. Ich použitie zamedzí príp. predĺži dobu prekopírovania reflexných trhlín z hydraulicky stmelených podkladových vrstiev do asfaltových vrstiev krytu vozovky.

Redistribúcia napätí (STR) - je následok vzájomného pohybu vrstiev, medzi ktoré je vložená geosyntetika - asfaltom nasýtená netkaná textília alebo asfaltom nasýtený kompozit. Pri správnom uložení geosyntetiky sa tým eliminuje tvorba reflexných trhlín v asfaltovom kryte vozovky; Vrstva - horizontálny konštrukčný prvok vozovky;

¹ Ak nie je uvedené inak je v tomto dokumente pod pojmom **Geosyntetika** myslená **Geosyntetika s funkciou redistribúcie napätí**.

4 Príčiny vzniku trhlín v hydraulicky stmelených vrstvách

Príčiny vzniku trhlín v HSV sú najčastejšie spojené s objemovými zmenami materiálu, ktoré sú obmedzené okolitými podmienkami (materiál nemôže voľne dilatovať). Hlavné príčiny sú:

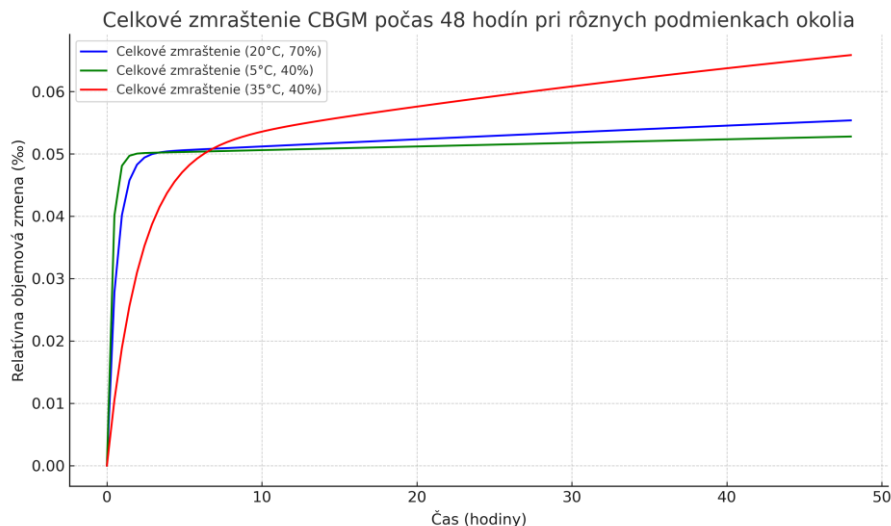
4.1 Zmrašťovanie

Je to najčastejšia príčina [L1], [L2] vzniku kontrakčných trhlín. HSV je ovplyvnená viacerými typmi zmrašťovania:

- **Autogénne zmrašťovanie ($\epsilon_{sh,a}$):** je objemová zmena (zmenšenie objemu), ku ktorej dochádza v ranom štádiu tuhnutia v dôsledku chemických procesov hydratácie cementu (resp. iného hydraulického spojiva vhodného na HSV). Prebieha nezávisle od výmeny vlhkosti s okolitým prostredím a týka sa celého objemu materiálu, nielen povrchových vrstiev.
- **Zmrašťovanie vysychaním ($\epsilon_{sh,d}$):** je výsledkom straty vody odparovaním z materiálu do okolitého prostredia. Závisí od relatívnej vlhkosti vzduchu, teploty, pomeru objemu k povrchu, obsahu vody a cementu.

Poznámka: Medzi zmrašťovania patrí aj plastické zmrašťovanie. Patrí medzi objemové zmeny, ktoré sa prejavujú ešte pred začiatkom hydratácie (0-3 h). Vzniká vtedy, keď voda uniká z povrchu (napr. odparovaním), ale častice materiálu ešte nie sú viazané do súdržnej štruktúry a dochádza k zmenšeniu objemu a vzniku jemných povrchových trhlín.

Na obrázku 1 je graf charakteristického priebehu celkového zmraštenia HSV (CBGM) počas 48 h pri rôznych podmienkach prostredia, ktoré sa líšia teplotou a vlhkosťou. Vzhľadom na autogénne zmrašťovanie (chemická reakcia hydratácie cementu) a zmrašťovanie vysychaním (odparovanie vody) sú na grafe zobrazené objemové zmeny v percentách, pričom hodnoty na ose y reprezentujú veľkosť zmraštenia v %.



Obrázok 1 – Charakteristický priebeh zmraštenia počas prvých 48 h

4.1.1 Obmedzenie zmrašťovania

HSV nemá možnosť voľnej deformácie (zmrašťovania) ale je na inej vrstve vozovky (napr. štrkové lôžko, zemina a podobne), s ktorou je spojená trením. Toto trenie bráni voľnému zmrašťovaniu materiálu. Následkom obmedzenia zmrašťovania je vznik ťahových napätí [L1].

4.2 Pevnosť v ťahu

HSV má, podobne ako betón, výrazne nižšiu pevnosť v ťahu ako v tlaku. Keď ťahové napätie vyvolané obmedzeným objemovým zmrašťovaním prekročí aktuálnu ťahovú pevnosť materiálu, dôjde

k jeho porušeniu a vzniku trhliny. K tomu často dochádza už v ranom štádiu dozrievania, kedy je zmrašťovanie najintenzívnejšie, zatiaľ čo pevnosť v ťahu je ešte nízka.

Pevnosť v ťahu HSV rastie v čase v dôsledku pokračujúcej hydratácie cementu. Priamo sa meria len ťažko, preto sa častejšie odhaduje z:

- pevnosti v tlaku alebo
- pevnosti v ťahu za ohybu (tzv. indirektná, t. j. odvodená pevnosť v ťahu podľa STN EN 13286-42).

Orientačne platí vzťah:

$$f_t(t) = f_{t,28} \cdot (t/28)^{0,5} \quad (\text{MPa}) \quad (1)$$

kde:

$f_t(t)$ je pevnosť HSV v ťahu v čase t (MPa),

$f_{t,28}$ pevnosť v ťahu po 28 dňoch (MPa),

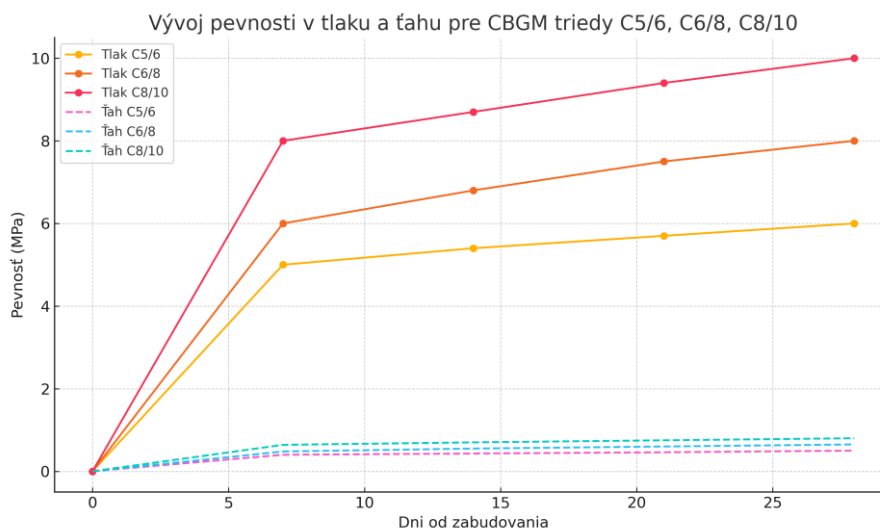
t vek HSV (dni).

Tento vzťah vychádza z empirických pozorovaní a platí najmä pre obdobie prvých 28 dní zrenia pri bežných podmienkach (20 °C, relatívna vlhkosť 95 %). Služí na rýchle odhady potrebné napr. pri posudzovaní rizika vzniku reflexných trhlín v raných štádiách vývoja HSV.

Pevnosť v ťahu po 28 dňoch sa pohybuje v rozmedzí (8 – 12) % z hodnoty pevnosti v tlaku po 28 dňoch (odhad založený na podmienkach zrenia 20 °C a 95 % relatívna vlhkosť vzduchu). Pre vybrané druhy HSV (CBGM) možno použiť nasledovné odhadnuté hodnoty:

Tabuľka 1– Odhadovaná pevnosť CBGM v ťahu

Trieda CBGM	Pevnosť v tlaku (28 dní), MPa	Odhadovaná pevnosť v ťahu (28 dní), MPa
C5/6	6	0,5
C6/8	8	0,65
C8/10	10	0,8



Obrázok 2 - Porovnanie vývoja pevnosti CBGM v tlaku a v ťahu

4.3 Zmeny teploty

- **Pri hydratácii cementu** sa uvoľňuje teplo, čo spôsobuje počiatočné mierne zahriatie a rozťahnutie vrstvy. Následné ochladenie na okolitú teplotu (po maxime hydratačného tepla alebo vplyvom poklesu vonkajšej teploty) vedie ku zmrašteniu.

- **Teplotné cykly** (denné a sezónne) kolísanie vonkajšej teploty spôsobuje rozpínanie pri oteplení a zmraštenie pri ochladení. Ak sú tieto objemové zmeny od teploty obmedzené (materiál sa nemôže voľne deformovať), vznikajú ťahové (pri ochladení) alebo tlakové (pri oteplení) napätia. Najkritickejšie je ťahové napätie pri poklese teploty.

Rýchlosť a rozsah ohrevu HSV v závislosti na okolitých podmienkach je zrejmá z tabuľky 2.

Tabuľka – 2 Vplyv teploty na priebeh hydratácie

Okolité teplota	Priebeh hydratácie	Maximum vnútornej teploty	Riziká
5 °C	Pomalý štart, oneskorená hydratácia	cca (13–15) °C po (15–20) h	Riziko nedostatočného vytvrdnutia, vyššie riziko objemových zmien
20 °C	Optimálny priebeh	cca (30–32) °C po (10–14) h	Bezpečný priebeh, bežné projektové podmienky
35 °C	Rýchly nástup reakcií, vysoká intenzita	až 50 °C po (8–10) h	Riziko vzniku trhlín vplyvom teploty, zvýšené vnútorné napätia

4.4 Klimatické podmienky pri kladení a hutnení

Klimatické podmienky počas kladenia a zhutňovania HSV majú zásadný vplyv na výslednú kvalitu vrstvy, a tým aj na riziko vzniku reflexných trhlín v asfaltových vrstvách nad ňou. Tieto vplyvy sú často podceňované, no patria medzi najčastejšie skryté príčiny porúch.

4.4.1 Teplota vzduchu a vrstvy pri kladení

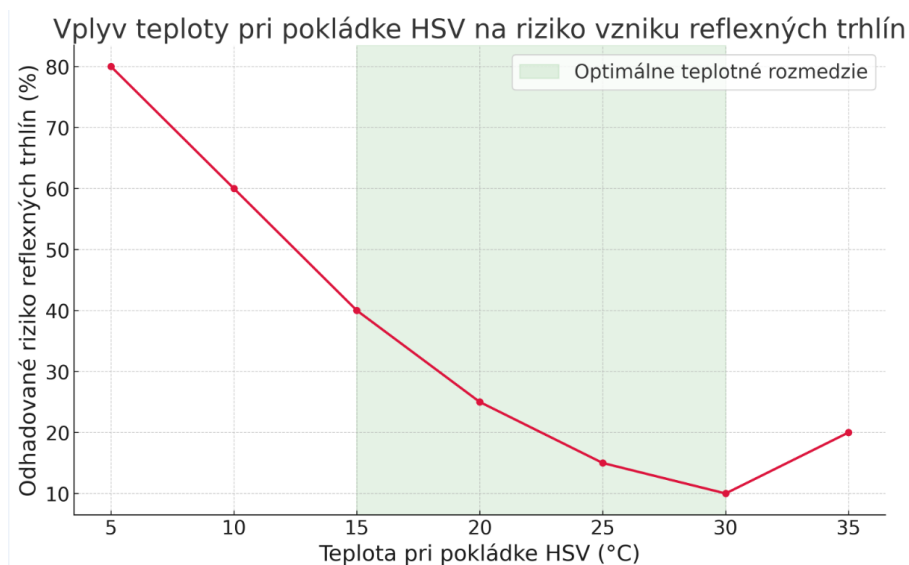
- Nízke teploty (<10 °C) spomaľujú hydratáciu cementu, čím sa:
 - zvyšuje citlivosť na vysychanie,
 - znižuje počiatočná pevnosť,
 - zvyšuje náchylnosť na trhliny z plastického zmrašťovania.
 Zhutňovanie je neefektívne, obmedzuje sa spracovateľnosť zmesi.
- Vysoké teploty (>30 °C) urýchľujú odparovanie vody, čo vedie k:
 - nerovnomernej hydratácii cementu,
 - vzniku povrchových mikrotrhlín ešte pred ukončením fázy tuhnutia,
 - zníženiu súdržnosti vrstvy.

4.4.2 Vietor a slnečné žiarenie zrážajú odparovanie vody z povrchu, najmä pri kombinácii s vysokou teplotou a spôsobujú:

- plastické trhliny v povrchovej zóne,
- porušenie nadložných vrstiev, vznik reflexných trhlín.

4.4.3 Vlhkosť vzduchu a zrážky

- Nízka vlhkosť vzduchu a vietor zvyšujú odparovanie z povrchu, je potrebné dôkladné ošetrovanie so zvlhčovaním. Zrážky počas alebo po uložení môžu:
 - rozrušiť povrch pred dostatočným stuhnutím HSV,
 - zmeniť pomer voda/cement na povrchu vrstvy, a tým zmeniť proces vytvárania nových štruktúr pri hydratácii,
 - zmeniť spracovateľnosť a znížiť zhutniteľnosť.



Obrázok 3 – Príklad vplyvu klimatických podmienok pri spracovaní zmesi na HSV

4.4.4 Klimatické podmienky

Tabuľka 3 – Vplyv klimatických podmienok

Klimatický faktor	Opatrenia
Teplota <10 °C	Prerušiť kladenie alebo použiť urýchľovače tuhnutia a tvrdnutia
Teplota >30 °C	Pracovať v ranných hodinách, zabezpečiť ochranu proti slnečnému žiareniu
Vietor / nízka vlhkosť vzduchu	Okamžité zakrývanie vrstvy
Riziko zrážok	Neklásť HSV za dažďa, zakrývať vrstvu po položení

Podľa [T14] nesmie pri kladení a zhutňovaní najnižšia teplota vzduchu klesnúť pod +5 °C, pričom teplota vzduchu za posledných 24 h nesmie klesnúť pod +3 °C.

4.5 Vplyv zloženia zmesi na tvorbu trhlín v HSV

Zloženie zmesi pre HSV má zásadný vplyv na tvorbu primárnych trhlín počas tuhnutia a tvrdnutia a nepriamy, ale významný dopad na vznik reflexných trhlín v asfaltových vrstvách. Ide o komplexnú interakciu materiálových a technologických faktorov.

4.5.1 Hydraulické spojivo (cement)

- Vyšší obsah spojiva znamená vyššiu počiatočnú (aj výslednú) pevnosť, ale aj:
 - vyššie autogénne zmrašťovanie,
 - väčšie riziko vzniku vnútorných napätí a trhlín v prvých fázach tuhnutia a tvrdnutia.

4.5.2 Kamenivo

- Správne zloženie zmesi kameniva (čiara zrnitosti):
 - znižuje medzerovitosť (pórovitosť) zmesi, potrebu vody, a tým sa dosiahne nižšie zmrašťovanie, a teda menej trhlín.

4.5.3 Voda

- Obsah vody a hodnota vodného súčiniteľa významne ovplyvňuje spracovateľnosť (konzistenciu), a zároveň má aj významný vplyv na počiatočné a výsledné vlastnosti HSV. Nadbytok vody spôsobuje:
 - väčšie kapilárne napätia pri vysychaní,
 - výrazné zmrašťovanie,
 - vyšší výskyt mikrotrhlín.

4.5.4 Prísady a prímеси

- Ako prísady sa môžu použiť spomaľovače tuhnutia a tvrdnutia. Prímеси ako popolček, troska, vápno môžu:
 - znižovať hydratačné teploty,
 - zvýšiť plasticitu,
 - znižovať zmrašťovanie a zvýšiť odolnosť voči vzniku trhlín.

Poznámka: na elimináciu objemových zmien a následne vznik trhlín v HSV sa dajú použiť aj rôzne typy rozptýlenej výstuže vo forme vlákien. Ich použitie je však stále iba vo fáze experimentálneho overovania.

4.5.5 Odporúčania pre prax

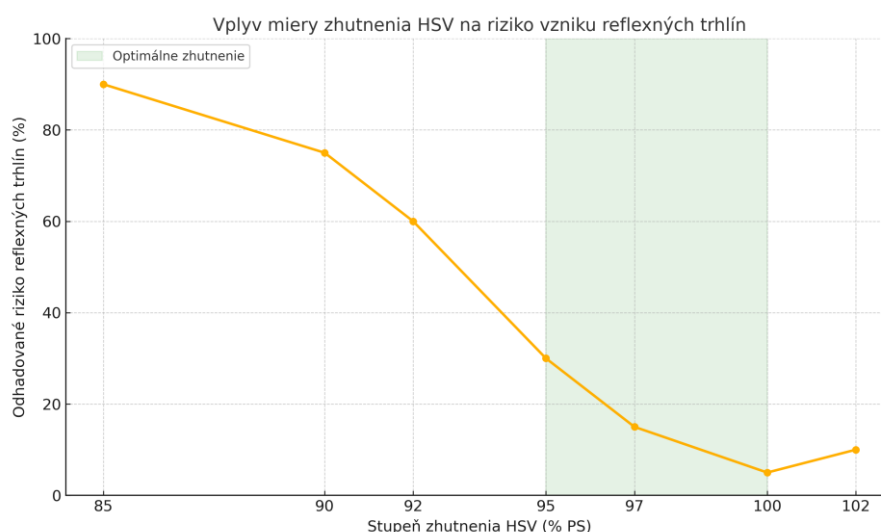
Tabuľka 4 – Vplyv zloženia zmesi na tvorbu trhlín v HSV

Faktor zloženia	Odporúčanie
Obsah cementu	Optimalizovať (napr. (3,5–5) %), nie maximalizovať
Čiara zrnitosti	Plynulá čiara zrnitosti, kamenivo s nízkou pórovitosťou
Obsah vody	Prísna kontrola vlhkosti pri výrobe a na stavbe
Prísady a prímеси	Správny návrh a dôsledná kontrola pri výrobe

4.6 Zhutnenie

Zhutnenie HSV je významné z hľadiska dosiahnutia očakávaných parametrov a má dopad aj na tvorbu reflexných trhlín. So zhutňovaním zmesi sa musí začať okamžite po jej rozprestretí (podľa [T14] sa musí štandardne ukončiť hutnenie do 90 minút od výroby zmesi). Správne zhutnenie je jeden z najefektívnejších spôsobov, ako znížiť riziko reflexných trhlín. Má dopad na:

- objemovú hmotnosť
Správne zhutnená HSV má menšiu medzerovitosť (pórovitosť), čo znižuje:
 - následné vysychanie a zmrašťovanie,
 - riziko vzniku prvotných trhlín.
- zníženie rizika nehomogenity výsledných vlastností a lokálnych deformácií
Nedostatočne zhutnené miesta majú tendenciu:
 - dohutniť sa (sadrnúť) počas prevádzky od zaťaženie dopravou,
 - spôsobovať nerovnosti a napäťové koncentrácie na rozhraní CBGM/asfaltová vrstva.
 Tieto miesta sa stávajú ohniskami reflexných trhlín a často sa objavujú ako priečne alebo diagonálne trhliny v asfalte.



Obrázok 4 – Príklad vplyvu miery zhutnenia HSV na tvorbu reflexných trhlín

Rovnomerné zhutnenie CBGM vedie k:

- homogénemu rozloženiu modulu pružnosti v celej vrstve,
- menšiemu výskytu lokálnych porúch, ktoré by inak pôsobili ako počiatočné miesta pre vznik reflexných trhlín.

Dobre zhutnená vrstva má vyššiu kohéziu a súdržnosť, vďaka čomu je menej citlivá na teplotné napätia a trhliny spôsobené zmrašťovaním počas tvrdnutia.

Súčasťou správneho zhutňovania je aj zabránenie nadmernému zhutňovaniu zmesi, ktorým dochádza k tvorbe nehomogenít vo vrstve, porušovaniu integrity zŕn kameniva vo vrstve a rozpadu štruktúry vrstvy nerovnomerným rozmiestnením zŕn rôznej veľkosti (segregácia zmesi).

Poruchy, ktoré vznikajú z chýb pri hutnení, môžu významne prispieť k poruchám celej polotuhej vozovky.

Je dôležité dodržiavať navrhnuté zloženie zmesi a predpísané výrobné a technologické postupy. Nevyhnutnou podmienkou na dosiahnutie správneho zhutnenia je priebežná kontrola na stavbe so zameraním na:

- mieru zhutnenia (na Slovensku min. 97 %, Proctorová skúška),
- vlhkosť zmesi musí byť v dovoľených toleranciách od hodnoty stanovenej v skúške typu (na Slovensku ± 2 %),
- technologické postupy pri rozprestieraní a hutnení (zvýšenú pozornosť treba venovať kontrole zhutnenia pri objektoch a obrubníkoch),
- dodržanie rozsahu skúšok podľa KSP spracovaného pre danú stavbu.

4.7 Ošetrovanie HSV

Hydraulicky stmelené vrstvy sú citlivé na vplyv prostredia počas prvých dní po zabudovaní. Kľúčovým faktorom, ktorý ovplyvňuje ich výsledné vlastnosti, je ošetrovanie počas tuhnutia a tvrdnutia.

Nesprávne alebo nedostatočné ošetrovanie môže viesť k objemovým zmenám, vzniku trhlín v HSV a neskôr k reflexným trhlinám v asfaltových vrstvách.

4.7.1 Ciele ošetrovania

- Zamedziť rýchlej strate vlhkosti v povrchovej vrstve.
- Zabezpečiť rovnomerné podmienky tvrdnutia v celej hrúbke vrstvy.
- Minimalizovať teplotné a vlhkosťné gradienty, ktoré vedú k napätiam.
- Znížiť riziko rýchleho plastického a autogénneho zmrašťovania.

4.7.2 Spôsoby ošetrovania

• Kropenie vodou

Výhody

- Priamo zabezpečuje vodu potrebnú pre hydratáciu cementu.
- Pomáha znižovať teplotu povrchu vrstvy v horúcom počasí, čím sa minimalizuje riziko vzniku trhlín spôsobených teplotným šokom a rýchlym vysychaním.
- Relatívne jednoduchá a lacná metóda (ak je k dispozícii zdroj vody).

Nevýhody

- Vyžaduje veľmi časté kropenie po dobu niekoľkých dní, čo môže byť náročné na zdroje (voda, pracovníci).
- Voda môže stekať z povrchu na úsekoch s vysokým priečnym alebo pozdĺžnym sklonom.
- Pri silnom vetre je kropenie menej účinné, pretože voda sa rýchlo odparuje.
- Nadmerné množstvo vody môže viesť k vyplavovaniu cementu z povrchu.

• Zakrytie fóliou

Na zakrytie sa používajú polyetylénové fólie alebo nepriepustné plachty. Do tejto kategórie ošetrovania môžeme zaradiť aj zakrytie navlhčenou geotextíliou alebo vrstvou vlhkého piesku (lokálne).

Výhody

- Veľmi účinná metóda na zabránenie úniku vlhkosti z vrstvy.
- Chráni povrch aj pred priamym slnečným žiarením a vetrom.

- Znižuje potrebu neustáleho pridávania vody (s výnimkou udržiavania vlhkosti pri niektorých typoch prekrytia).
- Geotextílie alebo piesok môžu zároveň chrániť povrch pred poškodením.

Nevýhody

- Vyžaduje náklady na materiál (fólie, plachty a pod.).
- Aplikácia a odstránenie zakrytia môžu byť prácne, najmä na veľkých plochách.
- Fólie sa môžu poškodiť vetrom alebo pohybom po stavenisku.
- Geotextílie alebo piesok sa musia udržiavať vlhké, aby nestratili účinnosť.

• Postrek asfaltovou emulziou

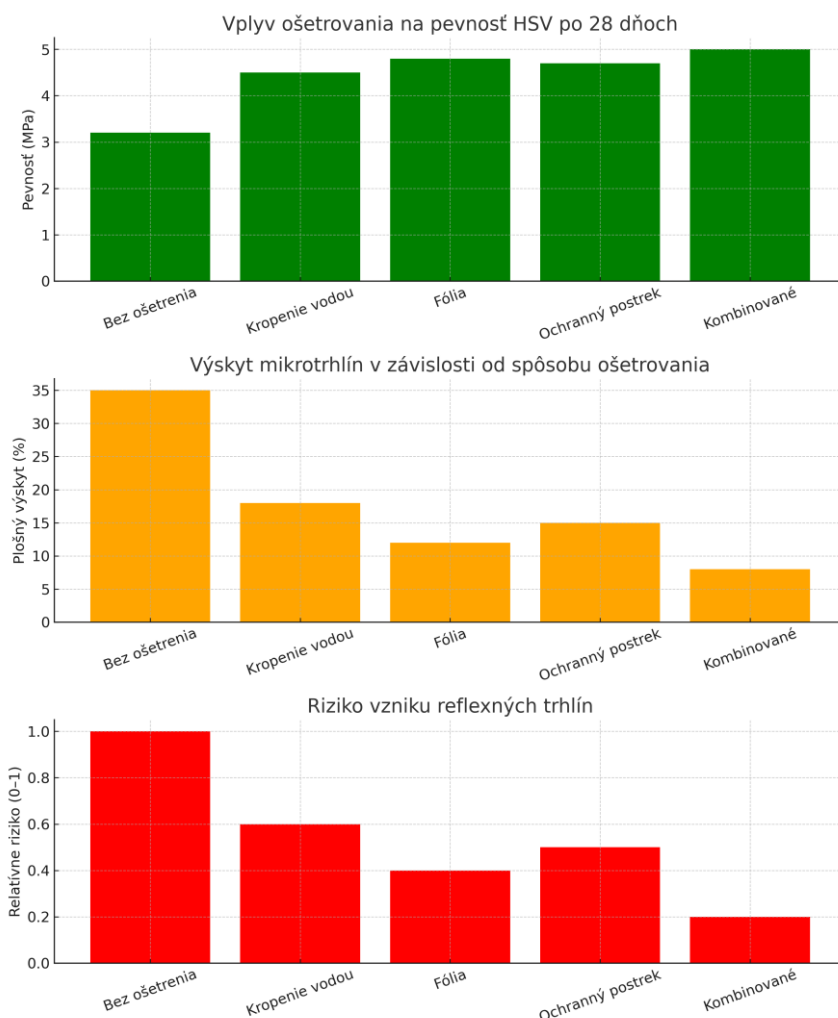
Postrek povrchu HSV asfaltovou emulziou sa primárne používa ako spojovací postrek pre zabezpečenie spolupôsobenia s nasledujúcou asfaltovou vrstvou. Dá sa však použiť aj na ošetrovanie HSV po jej položení, pretože na jej povrchu vytvára tenký film, ktorý čiastočne obmedzuje odparovanie vody.

Výhody

- Dvojaká funkcia (ošetrovanie a spojovací postrek).
- Relatívne jednoduchá aplikácia.

Nevýhody:

- Ošetrojúci účinok je obmedzený v porovnaní s inými metódami, najmä pri vysokých teplotách a vetre.
- Účinnosť závisí od typu a množstva aplikovanej emulzie.
- Prekrytie asfaltovou vrstvou v relatívne krátkom čase po postreku.



Obrázok 5 – Vplyv spôsobu ošetrovania

Ošetrovanie by malo byť začaté okamžite po uložení vrstvy a jej povrchovej úprave. Výber metódy ošetrovania musí zohľadniť klimatické podmienky, druh HSV a dobu, ktorá uplynie do prekrytia ďalšou vrstvou. Na dosiahnutie dobrého výsledku sa odporúča kombinovať viaceré metódy v závislosti od podmienok na stavbe.

4.7.3 Porovnanie spôsobov ošetrovania

Tabuľka 4 – Možnosti ošetrovania HSV

Spôsob ošetrovania	Výhody	Nevýhody	Poznámka
Kropenie vodou	• zabezpečuje vodu na hydratáciu • ochladzuje povrch • jednoduchá, lacná metóda	• vyžaduje časté opakovanie • môže dôjsť k stekaniu • riziko vyplavovania cementu	Vhodná pri dostupnosti vody a miernom počasí.
Zakrytie fóliou / geotextíliou	• účinné proti vysychaniu • chráni pred vetrom a slnkom • redukuje potrebu častého zvlhčovania	• nákladná na materiál • vysoká prácnosť • riziko poškodenia pri vetre	Vyžaduje väčšie prípravy pri realizácii.
Postrek asfaltovou emulziou	• dvojaká funkcia (ošetrovanie + spojovací postrek) • jednoduchá aplikácia	• slabšia účinnosť pri vetre a horúčave • krátka doba medzi postrekom a prekrytím	Vhodné ak sa HSV prekryje asfaltovými vrstvami v krátkom období po aplikácii

4.8 Záver kapitoly

4.8.1 Zhrnutie

Kapitola popisuje hlavné príčiny vzniku trhlín v hydraulicky stmelených vrstvách, t. j. objemové zmrašťovanie materiálu, teplotné zmeny, klimatické podmienky pri kladení, zloženie zmesi, účinnosť zhutnenia a spôsob ošetrovania HSV v prvých dňoch po zabudovaní. Trhliny vznikajú najmä v dôsledku ťahových napätí, ktoré presahujú nízku počiatočnú pevnosť HSV v ťahu.

4.8.2 Zhodnotenie

Najväčšie riziko primárnych (samovoľných) trhlín v HSV vzniká v počiatočnom štádiu tuhnutia a tvrdnutia, kedy ešte nebola dosiahnutá dostatočná pevnosť v ťahu. Zanedbanie kľúčových faktorov ako je správne zloženie zmesi, ošetrovanie, či zhutnenie vedie nielen k vzniku primárnych trhlín, ale zvyšuje aj riziko reflexných trhlín v nadložných asfaltových vrstvách.

4.8.3 Odporúčania

Pre minimalizáciu rizika vzniku trhlín v HSV sa odporúča:

- optimalizovať obsah cementu a vodný súčiniteľ,
- ako spojivo použiť hydraulické cestné spojivo,
- používať kamenivo s vhodnou čiarou zrnitosti,
- zabezpečiť okamžité a rovnomerné zhutnenie vrstvy s dôslednou kontrolou,
- prispôsobiť spôsob ošetrovania aktuálnym klimatickým podmienkam,
- vyhýbať sa kladeniu HSV pri extrémnych teplotách, silnom vetre alebo riziku zrážok.

5 Napätia v HSV

Táto časť sa týka HSV bez zaťaženia následnými vrstvami alebo dopravou, teda v ranom štádiu po zabudovaní, keď sa najčastejšie prejavujú objemové zmeny súvisiace so zmrašťovaním.

5.1 Napätie od zmrašťovania

$$\sigma_{sh} = E_{ef} \cdot \varepsilon_{sh} \cdot R \quad (\text{MPa}) \quad (2)$$

kde:

σ_{sh} je	napätie od zmrašťovania (MPa),
E_{ef}	efektívny modul pružnosti v čase t , zohľadňujúci relaxáciu napätia v dôsledku dotvarovania (MPa),
ϵ_{sh}	celková deformácia (pretvorenie) od zmrašťovania v čase t (bez rozmeru),
R	stupeň spolupôsobenia medzi HSV a podkladom. $R = 0$ voľné uloženie, $R = 1$, dokonalý kontakt (bez rozmeru).

Poznámka: Pre zjednodušenie zápisu sú v tomto vzorci (a aj nasledujúcich) používané symboly σ_{sh} , E_{ef} , ϵ_{sh} bez vyznačenia časovej závislosti, hoci ide o funkciu času (napr. $\sigma(t)$).

5.1.1 Priechne trhliny od zmrašťovania

Zjednodušený model pre odhad kritickej vzdialenosti priečných trhlín L_{cr} , ktoré vznikajú v dôsledku rovnomerného zmrašťovania alebo ochladzovania HSV uloženej na podklade s trením, vychádza zo silovej rovnováhy. Uvažuje sa o ťahovom napätí vznikajúcom v HSV, ktoré je obmedzované trecou silou medzi vrstvou a podkladom.

$$\sigma \cdot A = \mu \cdot W \cdot g \quad (\text{MPa}) \quad (3)$$

kde:

σ je	ťahové napätie v čase v danom priereze (MPa),
A	plocha prierezu HSV kolmo na smer zmrašťovania (mm^2),
$\sigma \cdot A$	výsledná ťahová sila v danom priereze (N),
μ	súčiniteľ trenia medzi HSV a podkladovou vrstvou (bez rozmeru),
W	hmotnosť HSV v danom úseku (kg),
$\mu \cdot W \cdot g$	trecia sila pôsobiaca na spodnú plochu vrstvy v danom úseku (N),
g	gravitačné zrýchlenie (m/s^2).

Tento vzorec sa používa na určenie vzdialenosti, pri ktorej dosiahne ťahové napätie hodnotu ťahovej pevnosti materiálu HSV v danom čase.

Trhlina vznikne v mieste, kde je ťahové napätie maximálne a dosiahne hodnotu pevnosti v ťahu f_t . V zjednodušenom modeli (s rovnomerne rozloženým trením a lineárnym nárastom napätia od existujúcej trhliny) je maximálne napätie v strede medzi dvoma trhlínami.

Ak uvažujeme s polovičnou vzdialenosťou medzi trhlínami $[L3]$, $[L4]$ ako $x = L/2$, potom:

$$W = \gamma \cdot L/2 \cdot b \cdot h \quad (\text{kg}) \quad (4)$$

$$A = h \cdot b \quad (\text{m}^2) \quad (5)$$

kde:

γ je	objemová hmotnosť HSV (kg/m^3),
b	šírka úseku (m),
h	hrúbka vrstvy HSV (m).

Po úprave rovnice dostaneme:

$$\sigma = \mu \cdot \gamma \cdot L/2$$

K trhlne dôjde, keď $\sigma = f_t$

$$f_t = \mu \cdot \gamma \cdot L/2 \quad (\text{MPa}) \quad (6)$$

Z čoho môžeme vyjadriť teoretickú vzdialenosť trhlín:

$$L = 2 \cdot f_t / (\mu \cdot \gamma) \quad (\text{m}) \quad (7)$$

Z uvedeného vyplýva

- Vyššia ťahová pevnosť HSV - väčšia vzdialenosť medzi trhlínami.
- Vyšší súčiniteľ trenia (μ) - menšia vzdialenosť medzi trhlínami.

- Vyššia objemová hmotnosť (γ) - menšia vzdialenosť medzi trhlinami.

Na ilustráciu reálne dosahovaných hodnôt uvádzame modelový príklad výpočtu vzdialenosti trhlín samovoľne vznikajúcich v HSV.

Príklad:

Predpoklady výpočtu

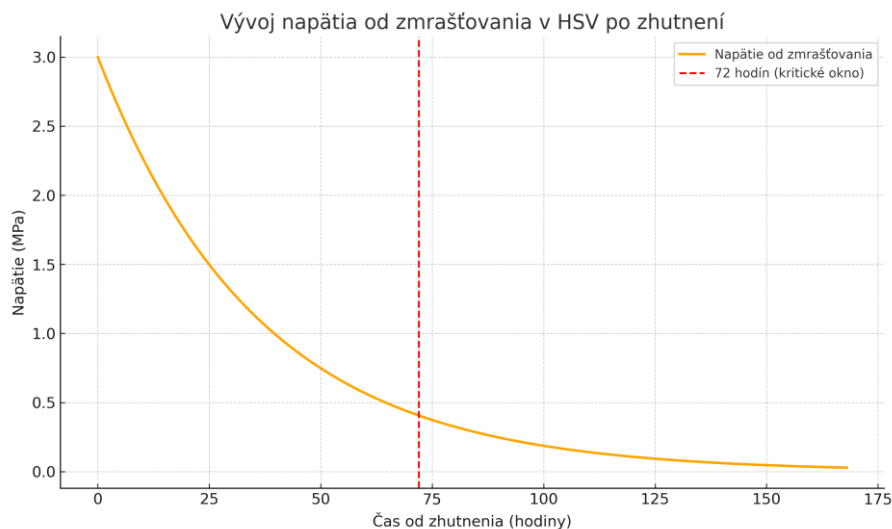
$F_t = 0,3 \text{ MPa}$ (pevnosť v počiatočnom štádiu); $\mu = 0,7$ (HSV na vrstve zo štrkodrviny)

$\gamma = 2,2 \text{ kN/m}^3$

$$L = 2 \cdot 0,3 / (0,7 \cdot 2,2) \approx 0,039 \text{ m}$$

Táto krátka vzdialenosť medzi prirodzenými trhlinami vzniká pri nízkej pevnosti HSV a vysokom trení s podkladom.

Vzdialenosť samovoľne vznikajúcich trhlín v HSV od zmrašťovania je veľmi malá. Napätie od zmrašťovania sa postupne znižuje (obr. 6).



Obrázok 6 – Charakteristický vývoj napätia od zmrašťovania HSV

Po 72 h je prakticky ukončené plastické ((0 až 3) h po uložení), ako aj významná časť autogénneho zmrašťovania, a po prekrytí asfaltovou vrstvou sa zníži strata vlhkosti (zmrašťovanie od vysychania tým prakticky skončí), teplota sa vyrovnáva a výsledné zmrašťovanie sa výrazne zmenší.

Ak prekryjeme HSV asfaltovými vrstvami najskôr po troch dňoch (čo je z technologického hľadiska aj tak kriticky málo), tak na vznik reflexných trhlín vplyvajú v rozhodujúcej miere iba napätia od teploty.

5.1.2 Napätie od teplotných zmien

Pri zmene teploty o ΔT materiál dilatuje (roztiahne sa alebo sa skrúti) o:

$$\Delta L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (8)$$

Pomerná deformácia (pretvorenie):

$$\varepsilon = \Delta L / L = \alpha \cdot L \cdot \Delta T \quad (9)$$

Ak HSV nemôže voľne dilatovať (reálny stav), tak vzniká napätie:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon = E \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (\text{MPa}) \quad (10)$$

kde:

σ je napätie od teplotných zmien (MPa),

α súčiniteľ teplotnej rozťažnosti HSV ($8 \text{ až } 12 \times 10^{-6}$) ($1/^\circ\text{C}$),

ΔT zmena teploty ($^{\circ}\text{C}$).

Pri zohľadnení fyzikálneho modelu vychádzajúceho z akumulovanej pružnej energie v bloku materiálu medzi dvoma škárami (dĺžka L) a jej spojením s energiou potrebnou na vytvorenie trhliny dostaneme vzorec na výpočet vzdialenosti škár pri teplotných zmenách:

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot h \cdot E}{\pi \cdot \alpha \cdot \Delta T \cdot \sigma_t}} \quad (11)$$

kde:

L je vzdialenosť (odporúčaná) medzi škárami (m),
 h hrúbka HSV (m),
 E modul pružnosti HSV (MPa),
 α koeficient teplotnej rozťažnosti ($1/^{\circ}\text{C}$),
 L dĺžka (m),
 ΔT denný teplotný rozdiel ($^{\circ}\text{C}$),
 σ_t pevnosť HSV v ťahu (MPa).

Príklad:

Predpoklady výpočtu

$h = 0,2 \text{ m}$, $E = 10\,000 \text{ MPa}$,

$\alpha = 10^{-5} (1/^{\circ}\text{C})$, $\Delta T = 10 (^{\circ}\text{C})$, $\sigma_t = 0,3 \text{ MPa}$

$$L = \sqrt{\frac{2 \cdot 0,20 \cdot 10000}{\pi \cdot (10 \times 10^{-6}) \cdot 10 \cdot 0,3}}$$

$$L = \sqrt{\frac{4000}{\pi \cdot 3 \cdot 10^{-5}}} = \sqrt{\frac{4000}{9,42 \cdot 10^{-5}}}$$

$$L = \sqrt{42,478,488} \approx 6,5 \text{ m}$$

Tento výsledok je v súlade s bežnou praxou založenou na dlhodobých skúsenostiach (vzdialenosť škár v rozmedzí 3,5 až 6,0 m).

5.1.3 Zmena napätia v dôsledku dotvarovania

Dotvarovanie HSV vedie k časovej relaxácii teda k postupnému znižovaniu pôvodne vyvolaných napätí. Na presnejšie stanovenie aktuálnych napätí v čase sa zavádza efektívny modul pružnosti $E_{\text{ef}}(t)$, ktorý zohľadňuje časovo závislé zmeny tuhosti materiálu v dôsledku dotvarovania. V prípade potreby detailnejšieho výpočtu sa využívajú rovnice zohľadňujúce dotvarovanie materiálu v čase.

5.1.4 Výsledné napätia

Celkové ťahové napätie je súčtom napätí od jednotlivých vplyvov (za predpokladu lineárne pružného správania materiálu):

$$\sigma_t = \sigma_{\text{sh}} + \sigma_{\text{th}} \quad (\text{MPa}) \quad (12)$$

kde:

σ_t je výsledné napätie (MPa),
 σ_{sh} napätie od zmrašťovania (MPa),
 σ_{th} napätie od teplotných zmien (MPa).

Rozhodujúce napätia v HSV z hľadiska tvorby reflexných trhlín sú napätia od zmeny teploty. Preto sa pri zjednodušených modeloch výpočtu návrhu vzdialenosti škár v HSV (ak sa bude realizovať tento spôsob opatrení na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín) nepočíta s výslednými napätiami ani s vplyvom dotvarovania.

Uvedené výpočty problém zjednodušujú tým, že predpokladajú rovnomerné trenie, lineárne rozdelenia napätí a homogénny materiál. V skutočnosti môžu výsledky ovplyvniť aj:

- rozloženia napätí v priečnom reze,
- nelineárne vlastnosti zmrašťovania,
- nehomogenita materiálu a koncentrácie napätí,

- starnutie materiálu a vývoj jeho pevnosti v čase.

Pre presnejšie predikcie sa odporúča využitie numerických metód (napr. metódy konečných prvkov), ktoré môžu byť kalibrované pomocou laboratórnych alebo in-situ meraní. Tieto metódy však presahujú rámec riešenia tejto úlohy.

V praxi sa pre určenie vzdialenosti škár vytváraných v HSV bežne používajú empirické pravidlá. V závislosti od skúsenosti tej, ktorej krajiny sa navrhuje vzdialenosť (3,5 – 6,5) m, pričom sa táto metóda často kombinuje s inými.

5.2 Záver kapitoly

5.2.1 Zhrnutie

Kapitola sa zaoberá vznikom napätí v hydraulicky stmelенých vrstvách v období bez zaťaženia, teda pred položením asfaltových vrstiev a pred dopravným zaťažením. Analyzované sú jednotlivé druhy napätí, ktoré pôsobia v HSV. Uvedené sú zjednodušené výpočtové modely pre určenie vzdialenosti trhlín od zmrašťovania a návrh rozostupu škár pri teplotných zmenách s príkladmi.

5.2.2 Zhodnotenie

Z uvedenej analýzy vyplýva, že najkritickejšie napätia z pohľadu tvorby reflexných trhlín vznikajú v dôsledku teplotných zmien. Napätia od zmrašťovania, hoci sú prítomné v raných fázach, sa po prekrytí HSV asfaltovou vrstvou výrazne znižujú. Výpočtové modely uvádzajú veľmi krátke vzdialenosti prirodzene vznikajúcich trhlín pri malých počiatočných pevnostiach a vysokom trení s podkladom. Aj keď sú tieto modely zjednodušené (predpokladajú lineárne rozdelenia napätí, homogénny materiál s konštantnými parametrami), poskytujú rámcový prehľad o dominantných vplyvoch. Pre presnejšiu predikciu by boli vhodné numerické metódy, ich popis je však mimo rámec riešenia tejto úlohy. V praxi sa na určenie vzdialenosti škár v HSV najčastejšie používajú empirické pravidlá.

5.2.3 Odporúčania:

- Pri návrhu vzdialenosti škár v HSV sa musia zohľadniť najmä napätia od zmeny teploty, ktoré pretrvávajú aj po prekrytí HSV asfaltovými vrstvami.
- Vzdialenosť škár by mala byť navrhovaná (ak sa výpočtom nepreukáže inak) v rozpätí (3,5 – 6,5) m v závislosti od hrúbky vrstvy, teplotných rozdielov, typu spojiva a miestnych skúseností.
- Výpočty založené na pevnosti HSV a súčiniteli trenia môžu slúžiť ako doplnková kontrola návrhu.
- V miestach so zvýšeným rizikom napäťových koncentrácií (napr. okolie objektov, dilatčných škár, zúžení) je vhodné skombinovať navrhnutý rozostup škár s ďalšími opatreniami.
- Pri dôležitých projektoch alebo pri použití netypických materiálov je vhodné overiť návrh numerickým modelovaním alebo reálnymi meraniami.

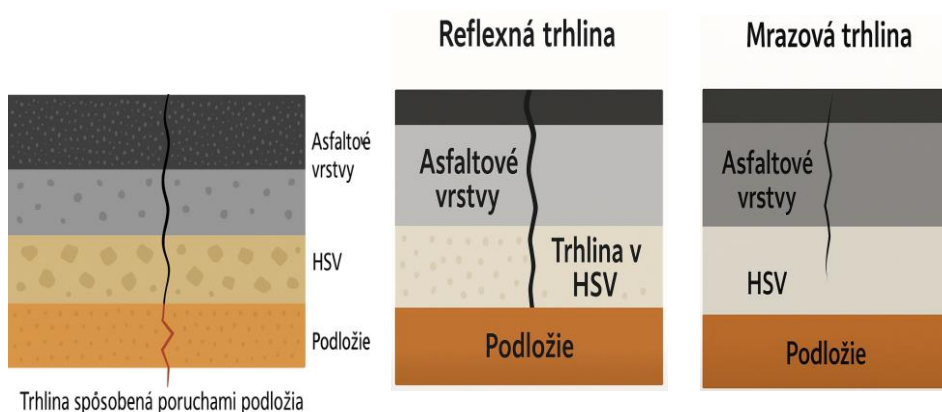
6 Rozlíšenie trhlín polotuhých vozoviek podľa ich pôvodu

6.1 Typy trhlín

Výskyt trhlín na povrchu polotuhých vozoviek je závažný problém ovplyvňujúci funkčnosť a životnosť vozovky [L5]. Trhliny môžu mať rôzne príčiny, pričom sa často kombinujú napätia vyvolané dilatáciami (kontrakciou a rozťažnosťou) v HSV s vplyvmi podložja a prostredia. V praxi sa často vyskytujú kombinácie rôznych typov trhlín, čo sťažuje ich presné rozlíšenie.

Povrchové trhliny v polotuhých vozovkách môžeme podľa príčiny ich vzniku rozdeliť na:

- trhliny zapríčinené poruchami podložja,
- reflexné trhliny,
- mrazové trhliny.



Obrázok 7 – Schematické znázornenie vzniku trhlín v polotuhej vozovke

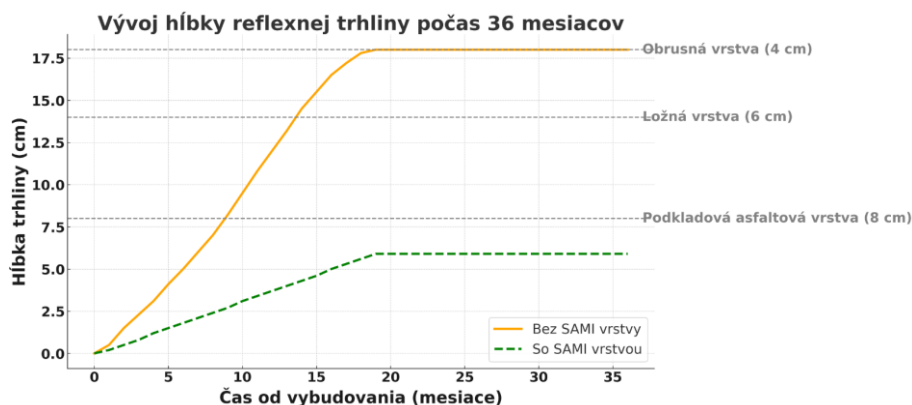
6.1.1 Trhliny vyvolané poruchami podlažia

Vznikajú ako dôsledok deformácií podlažia (poprípade ochranných vrstiev). Ich účinky sa prenášajú do HSV a následne až na povrch vozovky.

- Príčiny:
 - nerovnomerné sadanie násypu,
 - premáčanie a rozmočenie podlažia (nedostatočná drenáž),
 - zdvihy v zemnej pláni (alebo nesprávne navrhutej ochrannej vrstve) spôsobené mrazom,
 - nedostatočné zhutnenie podkladových vrstiev,
 - strata únosnosti v dôsledku dynamického zaťaženia.

6.1.2 Reflexné trhliny

Vznikajú ako dôsledok napätí a existujúcich trhlín v podkladovej vrstve HSV, ktoré sa postupne prenášajú do asfaltových vrstiev [L3], [L4] nad nimi.



Obrázok 8 – Príklad vývoja reflexnej trhliny v čase

- Príčiny:
 - objemové zmeny HSV (zmrašťovanie): autogénne, plastické, od vysychania,
 - nedostatočné ošetrenie HSV,
 - tepelné rozdiely medzi dňom a nocou a rozdielna rozťažnosť vrstiev,
 - chýbajúca alebo nedostatočná separačná medzivrstva medzi HSV a asfaltovými vrstvami,
 - dynamické zaťaženie od dopravy spôsobujúce opakované napätia (napomáha rýchlejšiemu „predratiu“ sa vrstvy na povrch a ďalšej deštrukcii po jej vzniku).

Je potrebné zdôrazniť, že variantov vývoja trhliny je mnoho. Niekde vznikne najprv viac drobných trhliniek, ktoré sa neskôr zjednotia do jednej trhliny; inde môže trhlina stagnovať v ložnej alebo podkladovej asfaltovej vrstve určitý čas (napr. pri vlozenej výstuži alebo vrstve absorbujúcej napätie) a potom sa náhle (napríklad pri výraznom ochladení) ukáže na povrchu.

Prudké zmeny teplôt môžu urýchliť vznik trhlín. Dopravné zaťaženie po vzniku trhliny má vplyv na jej ďalší rozvoj. Dynamické účinky vozidiel vedú k degradácii okolia trhliny v obrusnej vrstve (vznik druhotných trhlín, odlupovanie hrán), čím sa trhlina rozširuje, umožňuje prienik vody do konštrukcie a zhoršuje sa únosnosť konštrukcie.

6.1.3 Mrazové trhliny

Mrazové (v literatúre častejšie označované ako nízкотеплотné) trhliny vznikajú v dôsledku prudkého poklesu teploty asfaltovej vrstvy v krátkom časovom období, typicky počas mrazových nocí v prechodnom alebo zimnom období alebo pri dlhodobom (niekoľko dní) trvajúcim mrazivom počasí (teplota vzduchu < -20°C).

- Príčiny:
 - objemové zmeny vyvolané zmenou teploty,
 - rýchla kontrakcia pri prudkom ochladení, najmä v horných vrstvách vozovky, kde teplota klesá najrýchlejšie,
 - rýchlosť alebo rozsah kontrakcie sú väčšie ako schopnosť materiálu absorbovať deformáciu bez porušenia (dôjde ku prekročeniu pevnosti v ťahu asfaltovej vrstvy).

Poznámka:

Napätia v asfaltovej vrstve od teploty (zjednodušené):

$$\sigma_T = E \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

kde:

σ_T je napätie od teploty (MPa)

E modul pružnosti asfaltovej zmesi (MPa)

α súčiniteľ teplotnej rozťažnosti ($\sim 2,5 \cdot 10^{-5} K^{-1}$)

ΔT rozdiel teplôt (°C)

(Tento výpočet je založený na lineárnej pružnosti a zanedbáva časové efekty ako dotvarovanie a relaxáciu napätia).

Príklad:

Vstupné hodnoty: $E = 5\,000$ MPa, $\Delta T = -20$ °C,

$$\sigma_T = 5\,000 \cdot 2,5 \cdot 10^{-5} \cdot (-20) = -2,5 \text{ MPa}$$

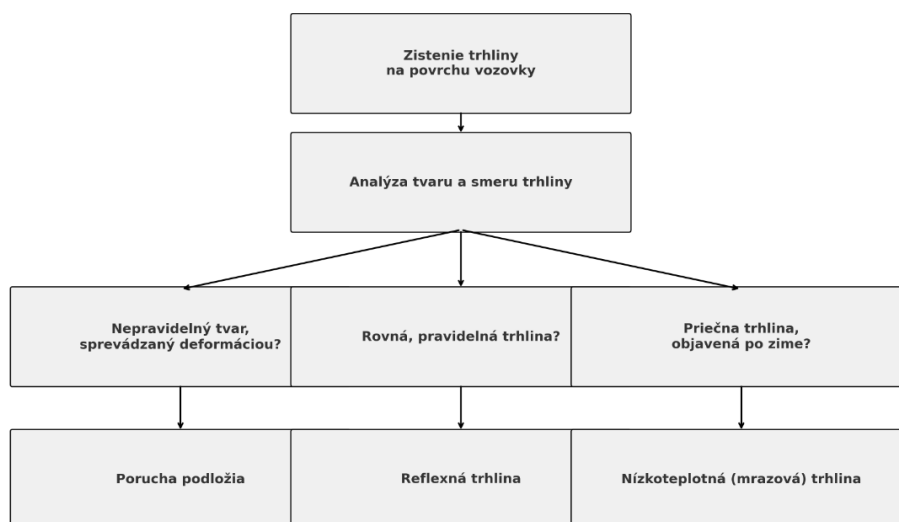
Pevnosť v ťahu asfaltovej zmesi (vrstvy) je v rozmedzí (1 až 3) MPa. To znamená, že pri poklese teploty (v zimnom období) o 20°C je pravdepodobnosť vzniku mrazovej trhliny veľmi vysoká.

6.1.4 Prevencia vzniku mrazových trhlín

- Riešenia
 - Použitie polymérmi modifikovaných asfaltov.
 - Zvýšenie hrúbky asfaltových vrstiev (zvyší sa tepelná ochrana HSV).
 - Návrh dilatačných škár alebo použitie výstuže.
 - Správna údržba (utesnenie trhlín pred zimným obdobím).

6.2 Metódy určovania pôvodu trhlín

Identifikácia pôvodu trhlín v polotuhých vozovkách (samozrejme nielen v nich) má zásadný význam pre výber vhodného spôsobu opravy, zabezpečenie dlhej životnosti vozovky, minimalizáciu nákladov na údržbu počas životného cyklu vozovky a získanie informácií pre zlepšenie budúcich realizácií.



Obrázok 9 – Určenie pôvodu trhliny na základe vizuálnej prehliadky

6.2.1 Vizuálna prehliadka

Je to základná metóda na určovanie pôvodu každej poruchy na vozovke, teda aj trhlín [T8].

- Trhliny z podložia:
 - nepravdivé, široké, môžu byť sústredené na jednom mieste,
 - často sa objavujú v priečnom alebo diagonálnom smere,
 - môžu byť sprevádzané deformáciami asfaltových vrstiev (vyjazdené koľaje, poklesy).
- Reflexné trhliny:
 - pravidelné, kolmé alebo mierne šikmé k osi cesty,
 - najčastejšie sa vyskytujú v miestach trhlín alebo škár vytvorených v HSV alebo v ich okolí,
 - môžu byť aj pozdĺžne, tie vznikajú nad pracovným pozdĺžnym spojom alebo v miestach krajníc (zmenou hrúbky podkladovej vrstvy),
 - ich šírka sa často časom zväčšuje,
 - objavujú sa už po niekoľkých mesiacoch až rokoch od výstavby,
 - môžu sa objavovať opakovane aj po oprave, ak sa nerieši príčina v podloží.
- Mrazové trhliny:
 - objavujú sa náhle počas zimy, často v priebehu jednej noci,
 - sú zväčša kolmé na os vozovky (naprieč jazdným pruhom), ale môžu byť aj pozdĺžne,
 - majú tendenciu sa opakovať v rovnakých rozstupoch (5 – 10) m, najmä v oblastiach s veľkými dennými teplotnými výkyvmi,
 - ich priebeh je ostro ohraničený a pravidelný.

6.2.2 Merania v teréne (dron, georadar, termovízia)

- Sú to moderné nedeštruktívne metódy, ktoré sú vhodné na:
 - lokalizáciu trhlín a vymedzenie úseku ich výskytu,
 - určenie hrúbok jednotlivých vrstiev vozovky a miest s lokálnymi poruchami,
 - určenie miest na vozovke s výrazne nižšími teplotami.

Výhodou týchto metód je rýchlosť a možnosť pokrytia rozsiahlych úsekov bez potreby zásahu do konštrukcie.

6.2.3 Vývrty z vozovky

- Jednoznačne pomôžu pri rozlíšení mrazových a reflexných trhlín.
 - Ak trhlina pokračuje do HSV (z povrchu vozovky), je to reflexná trhlina.
 - Ak trhlina končí v asfaltovej vrstve, je to mrazová trhlina (môže byť aj únavová).
- Kontrola hrúbok jednotlivých konštrukčných vrstiev ak je podozrenie že nie sú homogénne.

6.2.4 Analýza dát z výstavby a údajov o počasí

Dokumentácia stavby (stavebný denník, záznamy z kontrolných dní a pod.) môžu byť dobrou pomôckou pri identifikácii príčin vzniku trhlín. Ide napr. o:

- záznamy o počasí, dážď, náhle zmeny teploty,
- záznamy o vykonaných skúškach, ich druh, rozsah, zhodnotenie výsledkov,
- technologické problémy pri realizácii,
- označenie miest s poruchami a uvedenie spôsobu ich opravy.

Príklad využitia:

Ak sa trhlina objaví po prvej alebo extrémne chladnej zime, pravdepodobne ide o mrazovú trhlinu.

Ak trhlina vznikne po niekoľkých rokoch (v mieste škáry alebo styku vrstiev), ide o reflexnú trhlinu.

6.2.5 Kombinovaná diagnostika (odporúčaná prax)

Obvykle nie je možné jednoznačne určiť príčinu vzniku trhliny, a preto sa uvedené metódy v praxi bežne kombinujú.

6.3 Záver kapitoly

6.3.1 Zhrnutie

Kapitola sa zaoberá rozdelením trhlín v polotuhých vozovkách podľa ich pôvodu na trhliny z porúch podlažia, reflexné trhliny a mrazové trhliny. Každý typ má odlišný mechanizmus vzniku a charakteristické znaky. Reflexné trhliny vznikajú prenosom napätí a trhlín z HSV do asfaltových vrstiev. Mrazové trhliny sú dôsledkom prudkých poklesov teplôt, zatiaľ čo trhliny z podlažia odrážajú deformácie a nedostatočnú únosnosť podlažia. Kapitola tiež popisuje metódy identifikácie pôvodu trhlín, od vizuálnej prehliadky až po kombinovanú diagnostiku.

6.3.2 Zhodnotenie

Správne rozlíšenie typu trhliny je kľúčové pre efektívnu opravu a prevenciu ďalších porúch. Každý typ vyžaduje odlišný prístup k oprave aj k návrhu preventívnych opatrení. Ukázalo sa, že vizuálne znaky môžu byť často zavádzajúce, preto je vhodné využiť kombináciu viacerých diagnostických metód. Najväčším rizikom pre životnosť vozovky sú reflexné trhliny, pretože sa môžu objaviť aj po niekoľkých rokoch a ak nie je odstránená príčina ich vzniku, môžu sa zopakovať. Mrazové trhliny vznikajú náhle, ale dajú sa predvídať na základe klimatických údajov a vhodným návrhom vrstiev im možno predísť.

6.3.3 Odporúčania

- Pri výskyte trhlín na vozovke treba vždy najprv identifikovať ich pôvod kombinovanou diagnostikou (vizuálna prehliadka, vývrty, georadar, údaje o počasí).
- Reflexným trhlinám možno predísť správnym návrhom HSV, kvalitným ošetrením a použitím vrstiev absorbujúcich napätie alebo medzivrstvami s geosyntetikami.
- Na prevenciu mrazových trhlín sa odporúča používať modifikované asfalty, zvýšiť hrúbku asfaltových vrstiev alebo navrhnuť dilatčné škáry.
- Projektant by mal zohľadniť rozdielne materiálové vlastnosti vrstiev a zvoliť také riešenia, ktoré minimalizujú rozdielne objemové zmeny a výsledné napätia.

7 Možnosti eliminácie vzniku reflexných trhlín vo fáze návrhu vozovky

Pri návrhu polotuhých vozoviek je dôležité zohľadniť rozdielne materiálové vlastnosti HSV a asfaltových vrstiev a navrhnuť konštrukciu tak, aby sa minimalizovalo šírenie reflexných trhlín. Projektant má viacero možností, aby správnym návrhom vozovky vytvoril podmienky na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín. Najdôležitejšie je, aby sa už pri návrhu vychádzalo z poznatkov o nízkoteplotných a únavových vlastnostiach asfaltových zmesí.

Dôležité je tiež venovať pozornosť správne návrhu podlažia, výberu typu HSV a návrhu konštrukčných opatrení na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín.

7.1 Nízkoteplotné vlastnosti a únavové charakteristiky asfaltových zmesí

Asfaltové zmesi sú viskoelastické materiály, čo znamená, že ich vlastnosti sa menia s teplotou a rýchlosťou zaťaženia [L3]:

- Pri vysokých teplotách a aj pri pomalom zaťažení sa správajú viac viskózne (ako tekutina), sú mäkké a pružné.
- Pri nízkych teplotách a aj pri rýchlom zaťažení sa správajú viac elasticky (ako pevná látka), stávajú sa tuhšími a krehkejšími.

Táto zmena správania je kľúčová, pretože pri nízkych zimných teplotách asfaltová vozovka stráca svoju flexibilitu a stáva sa náchylnou na vznik teplotných trhlín. Zlepšenie flexibility pri nízkych teplotách je možné dosiahnuť s využitím PMB, aditív znižujúcich viskozitu asfaltu, optimalizáciou zloženia zmesi (čiara zrnitosti, obsah asfaltu).

Schopnosť asfaltovej zmesi deformovať sa pri nízkych teplotách je kľúčovým parametrom pre jej dlhodobú životnosť a spoľahlivosť, najmä v regiónoch s drsnejšími podmienkami v zimnom období.

Pre overenie vlastností asfaltových zmesí z hľadiska eliminácie reflexných trhlín sa používajú rôzne laboratórne skúšky, ktoré simulujú podmienky vzniku a šírenia týchto trhlín. Ide najmä o skúšky, ktoré hodnotia:

- **odolnosť proti únave**

Táto vlastnosť je kritická, pretože opakované zaťaženie od dopravy, ako aj cyklické zmeny teploty, spôsobujú únavové poškodenie a vznik trhlín, ktoré sa môžu šíriť z podkladu.

- **odolnosť proti šíreniu trhlín**

Tieto skúšky priamo hodnotia, ako ľahko sa existujúca trhlina rozšíri v asfaltovej vrstve.

- **odolnosť proti lomu**

V niektorých krajinách sa môžu používať národné štandardy pre testy, ako DCT (Disk-shaped Compact Tension Test) alebo SENB (Single Edge Notched Bending Test), ktoré sú zamerané na lomové vlastnosti (krehkosť).

- **vlastnosti pri nízkych teplotách**

Nízke teploty zvyšujú krehkosť asfaltových zmesí a riziko vzniku (mrazové) a rozvoja (reflexné) trhlín.

Tabuľka 5 – Skúšobné metódy asfaltových zmesí súvisiace s reflexnými trhlinami

Skúška	Popis	Predpis
Odolnosť proti únave (aj modul tuhosti)	Stanovenie odolnosti proti únave viacerými metódami	STN EN 12697-24
Modul tuhosti	Priame stanovenie modulu v závislosti od teploty a frekvencie zaťažovania	STN EN 12697-26
Odolnosť proti šíreniu trhlín	Závislosť rastu trhlín pri nízkych teplotách	STN EN 12697-44
Vlastnosti pri nízkych teplotách¹	Viacero metód pre hodnotenie nízkoteplotných vlastností	STN EN 12697-46
Overlay Test	Overenie odolnosti voči reflexným trhlinám	AASHTO TP64 / Tex-248-F
DCT (Disk-shaped Compact Tension Test)	Odolnosť voči zväčšovaniu trhlín pri nízkej teplote	ASTM D7313

¹ V tejto norme je viacero skúšobných postupov pre hodnotenie nízkoteplotného správania asfaltových zmesí:

- TSRST (Thermal Stress Restrained Specimen Test): stanovuje teplotu, pri ktorej vzorka praskne v dôsledku obmedzeného teplotného zmrašťovania (rovnocenne s AASHTO TP10).
- UTST (Uniaxial Tension Stress Test): stanovuje pevnosť v ťahu pri rôznych teplotách.
- Creep Test (Teplotná závislosť viskózne deformácie).
- Relaxation Test (Relaxácia napätia).

Poznámka: Je dôležité poznamenať, že oblasť testovania a návrhu asfaltových zmesí sa neustále vyvíja, a preto sa objavujú aj novšie, často národné alebo interné predpisy, ktoré sa snažia lepšie charakterizovať správanie materiálov voči špecifickým typom porúch, ako sú reflexné trhliny.

7.1.1 Optimalizácia asfaltových vrstiev

- Dosiahnuť vyvážený pomer medzi tuhosťou HSV a nadložných asfaltových vrstiev (napr. asfaltové zmesi s vysokým modulom tuhosti).
- Zvýšiť hrúbky asfaltových zmesí, čím sa môže vykompenzovať menšia hrúbka alebo nižšia pevnosť HSV a súčasne sa zvýši jej tepelná ochrana.
- Navrhnuť zmesi s polymérom modifikovanými asfaltmi. Zvážiť ich použitie nielen v obrusných ale aj v ložných a podkladových vrstvách.

7.2 Kvalita podložia

- Zohľadniť reálne podmienky a v prípade potreby navrhnúť zlepšenie, v krajných prípadoch výmenu podložia, aby sa dosiahli požadované únosnosti.
- Využiť správu z IGP, podľa potreby požiadať o doplnkový IGP.

7.3 Optimalizácia tuhosti HSV

- Navrhnúť zmesi s nižšími pevnosťami a s nižším obsahom cementu, poprípade zmesi s hydraulickými spojivami s pomalým nárastom pevností.
- Znížiť hrúbku HSV.

7.4 Vrstvy absorbujúce napätie

- Vložiť vrstvu schopnú absorbovať napätia medzi HSV a asfaltové vrstvy, a tým znížiť napätia v nadložných asfaltových vrstvách ako napr. SAMI.
- Využiť medzivrstvy napr. geosyntetické materiály s funkciou redistribúcie napätí.
- Dodržať rovnomernú hrúbku HSV v celom priečnom reze, aby sa predišlo vrubovým účinkom.

7.5 Vytváranie škár

- Navrhnúť vzdialenosť a spôsob vytvárania škár v HSV, pre kontrolovanú tvorbu usmernených trhlín.
- V špeciálnych prípadoch treba zvážiť vytvorenie škár aj v asfaltových vrstvách. V tom prípade sa škáry musia navrhnúť nad škárami v HSV.

Projektant má v súvislosti s opatreniami na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín, ktoré navrhol v konštrukcii vozovky v zmysle u nás platných technických predpisov, nielen viacero možností, ale aj viacero povinností (dodržanie príslušných noriem a technických predpisov). Preto je dôležité, aby pri spracovaní projektovej dokumentácie úzko spolupracoval s jej objednávateľom a (ak je to možné) s realizátorom stavby.

7.6 Príklad vozovky

7.6.1 Vozovka so SAMI

- HSV – CBGM; napr. C_{5/6} alebo C_{8/10} podľa STN EN 14227-1, hrúbka (150–250) mm s rezanými kontrakčnými škárami s rozstupmi (4–6) m, rez do hĺbky jednej tretiny z hrúbky vrstvy.
- Aplikácia SAMI alebo geosyntetického kompozitu.
- Dostatočne hrubé asfaltové súvrstvie; napr. (120–180) mm, podkladová vrstva AC P z cestného asfaltu a vrstvy krytu (ACL, SMA) s použitím PMB.

Toto riešenie s vrstvou SAMI alebo geosyntetikou významne spomaľuje vznik reflexných trhlín v asfaltových vrstvách. Je to osvedčené riešenie, ktoré sa často používa na vozovkách s vysokým dopravným zaťažením.

7.6.2 Vozovka s hrubými asfaltovými vrstvami

- HSV (CBGM) ako v príklade 7.6.1.
- Bez vrstvy absorbujúcej napätie, ale s veľmi hrubou asfaltovou podkladovou vrstvou (napr. > 150 mm), z materiálu s odolnosťou voči šíreniu trhlín. Celková hrúbka asfaltových vrstiev je viac ako 200 mm.

Táto koncepcia vychádza z toho, že veľká hrúbka asfaltových vrstiev významne spomaľí šírenie trhlín z HSV, najmä pri použití modifikovaných asfaltov. Problémom ich použitia môže byť vyššia cena.

7.6.3 "Obrátená" konštrukcia

- Vrstva HSV (CBGM) hrúbky (150 – 200) mm.

- Vrstva štrkodrviny s kontrolovanou čiarou zrnitosti, v hrúbke (150 – 200) mm, ktorá je položená na HSV.
- Asfaltové vrstvy v hrúbke (100 – 150) mm.

Pri tomto riešení tvorí vrstvu absorbujúcu napätie nestmelená vrstva z ŠD. Tá účinne eliminuje dilatácie v HSV. Je však otáznе, či je to ešte polotuhá vozovka. Konštrukcia sa používa napr. vo Francúzku a Veľkej Británii.

7.7 Záver kapitoly

7.7.1 Zhrnutie

Táto kapitola sa komplexne zaoberala návrhovými možnosťami, ktoré môžu výrazne znížiť riziko vzniku reflexných trhlín v polotuhých vozovkách. Kľúčovými oblasťami sú: vlastnosti asfaltových zmesí, kvalita podložia, optimalizácia HSV z hľadiska pevnosti a hrúbky, voľba vhodných asfaltových vrstiev, návrh škár a využitie vrstiev absorbujúcich napätie [L5], [L6].

Zdôraznené je skúšanie nízkoteplotných a únavových vlastností asfaltových zmesí s uvedením vhodných skúšobných metód (zväčša dostupných aj na Slovensku).

7.7.2 Zhodnotenie

Reflexné trhliny patria k najvýraznejším rizikám polotuhých vozoviek. Ich vznik možno výrazne oddialiť kombináciou správne zvolených konštrukčných riešení a výberom vhodných materiálov. Veľký význam má schopnosť asfaltovej zmesi absorbovať napätie a reagovať na cyklické teplotné zmeny. Použitie asfaltových zmesí s využitím výsledkov relevantných laboratórnych skúšok umožňuje optimalizovať asfaltové vrstvy z hľadiska ich funkčnosti v konštrukcii vozovky.

7.7.3 Odporúčania

- Zohľadniť miestne klimatické a prevádzkové podmienky už v návrhovej fáze.
- Navrhovať HSV nižších pevností pri rešpektovaní požiadaviek na celkovú únosnosť vozovky.
- Využiť vrstvy absorbujúce napätie (napr. SAMI, vhodné typy geosyntetik), najmä pri triedach TDZ I–III.
- Uprednostniť asfaltové zmesi s polymérmi modifikovanými asfaltami a vyhodnotiť ich nízkoteplotné správanie.
- Použiť laboratórne skúšky na overenie vhodnosti asfaltovej zmesi pre dané podmienky.
- Riadiť vznik trhlín návrhom škár v HSV (a prípadne aj v obrusných asfaltových vrstvách).
- Zabezpečiť súčinnosť medzi projektantom, realizátorom a stavebným dozorom.

8 Spôsoby eliminácie rizika vzniku reflexných trhlín vo fáze realizácie vozovky

8.1 Slovensko

Tvorba reflexných trhlín je vážnym problémom aj na Slovensku. Dlhodobo sa tento problém rieši v [T14]. V minulosti boli v tomto predpise uvedené niektoré opatrenia znižujúce riziko tvorby reflexných trhlín, ale ich použitie nebolo záväzné lebo mali iba formu odporúčaní. V súčasnej verzii (účinnosť od roku 2020) sú už aktualizované spôsoby opatrení, pričom je ich použitie (niektorého z nich) záväzným.

To znamená, že v súčasnosti sa u nás podľa [T14] môžu na elimináciu rizika prekopírovania trhlín z hydraulicky stmelených vrstiev (HSV) do asfaltových vrstiev použiť tieto opatrenia:

- **Prehutnenie tuhnúcej vrstvy valcom.** *Intenzitu, počet prejazdov a čas realizácie stanoví zhotoviteľ v závislosti od klimatických podmienok na stavbe a charakteristickej pevnosti zmesi;*
- **Vytvorenie škár vo vrstve počas spracovania zmesi** (napr. zatlačením vhodného prípravku do čerstvej zmesi hneď po jej položení, vytvorenie separačnej vrstvy z asfaltovej emulzie a zhutnenie vrstvy). *Dĺžka úsekov je stanovená v projekte na základe hrúbky vrstvy a charakteristickej pevnosti zmesi;*
- **Prerezanie zhutnenej vrstvy v období jej tvrdnutia s následným vyplnením škár.** *Dĺžka úsekov je stanovená v projekte na základe hrúbky vrstvy a charakteristickej pevnosti zmesi.*

Postup technických opatrení je potrebné prerokovať s investorom. Po 7 dňoch od zhutnenia a vykonaní opatrení na tvorbu škár je možné urobiť spojovací asfaltový postrek a položiť asfaltovú vrstvu.

Je však potrebné rozšíriť možnosti opatrenia aj o vrstvy absorbujúce napätie a použitie geosyntetík.

8.2 Zahraničné prístupy

8.2.1 Česká republika

- **Metódy:**
 - Rezanie kontrakčných škár.
 - Medzivrstvy (SAMI, geosyntetiká).
 - Hrubšie asfaltové vrstvy s modifikovanými asfaltmi.
 - **Predpisy:** Predpisy Ministerstva dopravy ČR
-

8.2.2 Spolková republika Nemecko

- **Metódy:**
 - Optimalizácia HSV (HTG) pre zníženie zmrašťovania.
 - SAMI a geosyntetiká.
 - Rezanie škár, ak sa očakávajú výrazné objemové zmeny.
 - **Predpisy:** ZTV Asphalt-StB, smernice FGSV
-

8.2.3 Francúzska republika

- **Metódy:**
 - Optimalizácia GTLH zmesí.
 - Rezanie škár.
 - Vrstvy absorbujúce napätie, geotextílie, geomreže.
 - Voči tvorbe trhlín odolné asfaltové zmesi.
 - **Predpisy:** IFSTTAR - Université Gustave Eiffel (nahradil SETR), normy
-

8.2.4 Austrálske spoločenstvo / Nový Zéland

- **Metódy:**
 - Dôsledná kontrola obsahu spojiva v zmesi a jej vlhkosti.
 - Dôraz na ošetrovanie vrstvy.
 - Separačné vrstvy SAMI (modifikovaný bitúmen, guma).
 - Asfaltové zmesi s vysokým modulom tuhosti (EME2).
 - **Predpisy:** Austroads Guide to Pavement Technology, Part 2.
-

8.2.5 Všeobecné trendy

- Náhrada cementu spojivami, ktoré majú pomalší nárast pevnosti (zmesné spojivá, spojivá typu PTS, HBR typ E a pod.), použitie spomaľovačov tuhnutia a tvrdnutia.
- Optimalizácia zmesi HSV (menej cementu, prímеси - popolčeky, troska).
- Správne ošetrovanie HSV pred uložením asfaltových zmesí.
- Prekrytie HSV asfaltovými vrstvami až po 2 resp. 4 týždňoch, t. j. po ukončení procesu zmrašťovania.
- Vrstvy absorbujúce napätie, geosyntetiká.
- Asfaltové zmesi odolné voči vzniku trhlín (modifikované asfalty, EME2).
- Riadené vytváranie škár rezaním a ich následné utesnenie.
- Kombinácia viacerých metód.

8.3 Záver kapitoly

8.3.1 Zhrnutie

Kapitola uvádza opatrenia na elimináciu vzniku reflexných trhlín vo fáze realizácie vozovky, a to ako na Slovensku, tak aj v zahraničí. Opatrenia používané na Slovensku sú zadefinované v [T4].

Zahraničné prístupy rozširujú tento zoznam o vrstvy absorbujúce napätie (SAMI), geosyntetiká, optimalizáciu HSV zmesí a použitie asfaltov s vysokou odolnosťou proti vzniku trhlín. Dôležitú úlohu zohráva aj správne ošetrovanie HSV a načasovanie prekrytia asfaltovou vrstvou.

8.3.2 Zhodnotenie

Zavedenie záväzných opatrení v slovenskej legislatíve predstavuje dôležitý krok k zníženiu výskytu reflexných trhlín v polotuhých vozovkách. V praxi sa však často stále preferujú jednoduchšie a rýchlejšie riešenia, ktoré nemusia byť najúčinnnejšie. Zahraničné skúsenosti ukazujú, že kombinácia viacerých metód (napr. rezanie škár + SAMI + geosyntetiká + optimalizácia zmesi) prináša najlepšie výsledky.

8.3.3 Odporúčania:

- **Dodržiavať záväzné opatrenia, platné predpisy** a dôsledne dokumentovať ich realizáciu (napr. rozsah a hĺbku škár, termíny zhutnenia a prekrytia).
- **Rozšíriť spektrum používaných metód** o vrstvy absorbujúce napätie (SAMI, geosyntetiká), ktoré výrazne znižujú riziko prenosu napätí do asfaltových vrstiev.
- **Optimalizovať zloženie zmesi na HSV** uprednostnením spojív s pomalším nárastom pevnosti, použitím nižšieho obsah spojiva a vhodných prímiesí.
- **Zaistiť kvalitné ošetrovanie HSV** po položení a dodržať minimálne technologické prestávky pred prekrytím asfaltom.
- **Sledovať vývoj riešenia problému reflexných trhlín v zahraničí** – v oblasti legislatívy, ako aj poznatkov z realizovaných stavieb, a to najmä pri výstavbe vozoviek s vysokou TDZ, kde sú dlhodobé dopady reflexných trhlín obzvlášť závažné.

9 Príklady realizovaných vozoviek so zníženým rizikom vzniku reflexných trhlín

9.1 Slovensko

D1 Jánovce – Jablonov II. (2014), zhotoviteľ: Eurovia SK.

Skladba vozovky: SMA 40 mm, AC L 22 60 mm, AC 22 P 90 mm, PCBGM 180 mm, ŠD 200 mm.

Technológia: CBGM vrstva bola upravená mikrotrhlinami valcovaním. Stav vozovky je aj v súčasnosti bez reflexných trhlín.

9.2 Česká republika

Opavská cesta II/479, Opava (2020), zhotoviteľ: STRABAG

Skladba vozovky: CBGM 130 mm, PI E, GlasGrid CG100L, ACL 16 70mm, PS A, SMA 11 50 mm.

Technológia: recyklácia CBGM, geosyntetikom GlasGrid CG100L, prekrytie asfaltovými vrstvami.

Doteraz bez výskytu reflexných trhlín.

D1 Psáře – Soutice (modernizácia 2017), zhotoviteľ: MTS Group + SWIETELSKY D1

Skladba vozovky: SMA 50 mm, ACL 80 mm, CBGM 180 mm.

Technológia: vytváranie mikrotrhlín v CBGM (4 % cementu) v kombinácii s výstužnou geomrežou.

Po dvoch zimách bez výskytu reflexných trhlín. Na úseku bez vytvorenia mikrotrhlín sa už v medzitým objavili reflexné trhliny.

R35 Hradec Králové – Opatovice (2009), zhotoviteľ: Skanska CZ.

Skladba vozovky: asfaltový kryt (AC 16 + AC 22), CBGM 200 mm, štrkodrvina.

Technológia: CBGM vrstva bola narezaná a asfaltová vrstva vystužená geomrežou s cieľom eliminovať reflexné trhliny. Vozovka nemá problémy s reflexnými trhlinami.

9.3 Francúzsko

Obchvat Paríža (A86) /2020).

Skladba vozovky: SMA 80 mm, AC L 70 mm, SAMI typ GBE 50 mm, CBGM 150 mm, štrkodrvina 150 mm.

Technológia: medzivrstva SAMI typ GBE (vo Francúzku používaná zmes piesčito-asfaltová zmes s vysokým obsahom asfaltu).

Po 5 rokoch iba minimálny výskyt reflexných trhlín, čo potvrdzuje účinnosť použitej medzivrstvy.

A10 Bordeaux – Tours (2010), zhotoviteľ: Colas France.

Skladba vozovky: AC 14 60 mm, asfaltom vystužená mreža typu grille bitumineuse (SAMI-G), asfaltová emulzia, CBGM 180 mm, starý betónový podklad.

Technológia: SAMI membrána s modifikovanou emulziou a geomrežou, ktorej cieľom bola ochrana proti reflexným trhlinám zo starého cementového krytu. Počet reflexných trhlín bol aj po viacerých rokoch výrazne menší ako v úsekoch bez týchto opatrení.

9.4 Nemecko

Úsek diaľnice A5 Malsch – Bruchsal (rekonštrukcia 2019)

Skladba vozovky: Asfaltový kryt v hrúbka 180 mm, CBGM 150 mm, štrkodrvina 300 mm.

Technológia: zmes CBGM C_{3/4} s 3 % cementu a 1 kg/m³ polypropylénových vlákien. Asfaltové zmesi sa kladli až po 28 dňoch.

Po prvých štyroch rokoch prevádzky neboli zaznamenané žiadne reflexné trhliny.

A7 Hannover – Hamburg (úsek pri Soltau, 2015), zhotoviteľ: STRABAG AG.

Skladba vozovky: AC 11 40 mm, AC 22 60 mm, HaTelit® C (asfaltová výstužná mreža od spoločnosti HUESKER), CBGM 200 mm, zlepšené podložie.

Technológia: rekonštrukcia bola realizovaná pomocou vystuženej CBGM vrstvy s asfaltovou výstužou typu HaTelit® C, kombinovanou s prerezávaním škár. Hodnotenie vozovky po viacerých rokoch exploatácie bol veľmi dobrý.

9.5 Srbská republika

E 75 Diaľnica Belehrad, Srbsko, rekonštrukcie po vzniku reflexných trhlín, 2010

Skladba vozovky: Asfaltový kryt v hrúbka 180 mm, CBGM 150 mm, štrkodrvina 300 mm.

Technológia: po odfrézovaní asfaltových vrstiev krytu v hrúbke 150 mm sa položilo geosyntetikum HaTelit® C 40/17 a následne sa položili nové vrstvy krytu.

Po rekonštrukcii neboli zaznamenané žiadne reflexné trhliny v obrusnej vrstve.

9.6 Austrália

Bruce Highway (Queensland, 2017), zhotoviteľ: Fulton Hogan.

Skladba vozovky: PMB asfalt 50 mm, SAMI vrstva (emulzia + výstuž), CBGM s mikrotrhlinami 180–220 mm, ochranná vrstva.

Technológia: bola použitá SAMI vrstva v kombinácii s vytváraním mikrotrhlín v CBGM a asfaltovými vrstvami z modifikovaných asfaltov. Vozovka nevykazuje po štyroch rokoch žiadne problémy.

9.7 Južná Afrika

R573 Moloto Road (rekonštrukcia 2019)

Skladba vozovky: AC s PMB 30 mm, Slurry seal 20 mm, kamenivo + penoasfalt + cement 150 mm, nestmelená vrstva 150 mm.

Technológia: štandardná CBGM bola nahradená zmesou kameniva, penoasfaltu s malou dávkou cementu. Tým sa z hľadiska tvorba kontrakčných trhlín v HSV dosiahli lepšie parametre.

Vozovka bola po troch rokoch bez reflexných trhlín.

9.8 Záver kapitoly

9.8.1 Zhrnutie

Kapitola predstavila príklady úspešne realizovaných vozoviek z viacerých krajín, pri ktorých sa podarilo eliminovať alebo výrazne obmedziť vznik reflexných trhlín. Uvedené sú riešenia zo Slovenska, Česka, Francúzska, Nemecka, Austrálie a Južnej Afriky, pričom na väčšine stavieb sa použila kombinácia viacerých metód. Stav týchto vozoviek je po niekoľkých rokoch ich exploatacie bez známk porúch.

9.8.2 Zhodnotenie

Skúsenosti z praxe potvrdzujú, že žiadna metóda nevedie k úplnému vyriešeniu problému reflexných trhlín. Najlepšie výsledky dosahujú **kombinované prístupy**, ktoré zároveň rešpektujú špecifiká konkrétneho prostredia (klimatické, materiálové, ekonomické) [L7]. Potvrdilo sa, **kvalita realizácie opatrení** má zásadný vplyv na jeho úspešnosť.

9.8.3 Odporúčania

V princípe sú odporúčania vyplývajúce z informácií uvedených v tejto kapitole zhodné s odporúčaniami uvedenými v kapitole osem.

10 Metódy opráv reflexných trhlín

Voľba materiálu a postupu pri oprave reflexných trhlín závisí od viacerých faktorov – najmä od šírky a aktivity trhliny (t. j. či sa mení jej šírka v dôsledku teplotných zmien), klimatických podmienok, dopravného zaťaženia, celkového stavu vozovky a požiadaviek platných národných predpisov.

10.1 Klimatické podmienky pre opravu trhlín

Oprava trhlín v asfaltových vrstvách sa má vykonávať len za vhodných klimatických podmienok. Medzi kľúčové faktory patrí teplota, vlhkosť, zrážky a vietor. Každý z nich ovplyvňuje výslednú kvalitu opravy:

- **Minimálna teplota vzduchu by mala dosahovať aspoň 10 °C**, pričom ideálne rozmedzie je 5 °C až 30 °C. Pri nižších teplotách klesá príľnavosť tesnenia k hranám trhliny a pri použití emulzie sa znížená teplota prejavuje jej horšou štiepatelnosťou.
- **Teplota povrchu vrstvy by nemala klesnúť pod 10 °C**, nakoľko môže ovplyvniť účinnosť penetračných náterov.
- **Relatívna vlhkosť vzduchu by nemala presiahnuť 80 %**, pretože vyššia vlhkosť bráni odparovaniu vody z emulzií a znižuje súdržnosť a príľnavosť tesnenia s asfaltovou vrstvou.
- **Zrážky v deň realizácie musia byť nulové**. Dažďové zrážky po aplikácii penetračného náteru alebo tesne pred realizáciou tesnenia výrazne znižujú účinnosť a životnosť opravy.
- **Vhodná je slabá až mierna rýchlosť vetra (do 15 km/h)**, ktorá podporuje vysychanie emulzií. Príliš silný vietor však môže narušiť rovnomernú aplikáciu tesnenia.
- **Slnčné počasie je výhodou**, nakoľko urýchľuje štiepenie asfaltových emulzií a zlepšuje podmienky pre tesnenie.

Je potrebné si uvedomiť, že požiadavky na klimatické podmienky môžu byť pre jednotlivé typy tesnenia mierne iné. Preto je pri realizácii opravy potrebné dôsledne dodržiavať pokyny výrobcu použitej tesniacej hmoty.

10.2 Materiály

Výber vhodného materiálu závisí od typu trhliny, klimatických podmienok, očakávanej životnosti opravy, ceny a technologických možností realizátora opravy trhliny. Medzi najčastejšie používané materiály patria:

- **Horúce asfaltové zálievky**

Tento typ materiálu sa aplikuje pri vysokých teplotách typicky (180 – 200) °C a je obzvlášť vhodný na opravu aktívnych trhlín. Do tejto skupiny patria:

- Polymérom modifikované asfaltové zálievky
 - Ide o najbežnejší a často najefektívnejší typ. Obsahujú polyméry (napr. SBS, APP), ktoré zlepšujú elasticitu, flexibilitu pri nízkych teplotách, príľnavosť a odolnosť voči vytekaniu pri vysokých teplotách.
- Zálievky s drvenou gumou
 - Hlavným modifikátorom je drvená guma získaná z recyklovaných pneumatík. Zálievky dosahujú vyššiu odolnosť voči deformáciám a trvácnosť.
- **Studené asfaltové zálievky**

Aplikujú sa pri bežnej teplote, čo zjednodušuje realizáciu, ale zvyčajne prinášajú kratšiu životnosť a sú citlivejšie na počasie počas tuhnutia.
- **Polymérom modifikované asfaltové emulzie**
 - Vhodné najmä pre menej aktívne, užšie trhliny alebo ako dočasné riešenie. Citlivo reagujú na poveternostné podmienky, keďže vyžadujú odparenie vody na dosiahnutie konečnej pevnosti.
- **Asfaltové tmely (mastixy)**
 - Ide o zmesi asfaltového spojiva (často tiež polymérom modifikovaného), jemného kameniva a minerálnych plnív. Sú určené najmä pre širšie trhliny nad (20 – 25) mm, oblasti so sústavou menších trhlín (tzv. sieťové trhliny), alebo drobné výtlky a odlomené okraje trhlín. Aplikácia môže prebiehať za horúca alebo za studena, v závislosti od typu výrobku.
- **Jemnozrnné asfaltové zmesi**
 - Používajú sa pri veľmi širokých trhlínach alebo pri lokálnych opravách. Môžu byť vo forme špeciálnych horúcich alebo studených zmesí, pričom sa kladie dôraz na ich spracovateľnosť a mechanickú odolnosť.

Pri oprave trhlín je treba vždy používať len certifikované výrobky s doloženými výsledkami skúšok pre dané klimatické pásmo a typ vozovky.

10.3 Porovnanie materiálov na opravu reflexných trhlín

Tabuľka 6 – Materiály na opravu reflexných trhlín

Materiál	Výhody	Nevýhody	Použitie
Horúce asfaltové zálievky (modifikované, s drvenou gumou)	• vysoká elasticita • dlhá životnosť • odolnosť voči deformáciám	• vyžadujú ohrev • zložitejšia aplikácia • vyššia cena vybavenia	• aktívne trhliny • vysoké zaťaženie • letná údržba
Studené asfaltové zálievky (emulzie)	• jednoduchá aplikácia • bez potreby zahrievania • rýchla dostupnosť	• citlivosť na podmienky • kratšia životnosť	• menej aktívne trhliny • dočasné opravy • jarná a jesenná údržba
Asfaltové tmely (mastixy)	• vhodné na široké trhliny • pružné a trvácne • dobrá objemová výplň	• menej estetické • vyššia spotreba materiálu	• sieťové trhliny • okraje výtlkov • stredne aktívne trhliny
Jemnozrnné asfaltové zmesi	• odolnosť voči premávke • možnosť tvarovej úpravy povrchu • lokálne opravy	• náročnejšia príprava podkladu • vyššia hrúbka vrstvy	• veľmi široké trhliny • miestne poškodenia • kombinácia s frézovaním

10.4 Postup opravy

Bez ohľadu na zvolený materiál je pre úspešnú opravu rozhodujúca kvalitná príprava trhliny a vhodné klimatické podmienky počas realizácie [T4].

10.4.1 Príprava trhliny

- **Čistenie trhliny**

Prvým a nevyhnutným krokom je dôkladné odstránenie všetkých nečistôt, prachu, vlhkosti, vegetácie a uvoľnených častí asfaltu z povrchu vozovky a z trhliny. Používa sa na to:

- stlačený vzduch,
- mechanické kefy,
- horúci stlačený vzduch je obzvlášť efektívny, pretože trhlinu nielen vyčistí a vysuší, ale zároveň aj mierne nahreje jej steny, čím zlepší priľnavosť zálievky.

- **Rozšírenie trhliny (rezanie, frézovanie)**

Pri aktívnych trhlínach sa odporúča vytvoriť pravidelný profil trhliny (tzv. komôrku), aby sa zálievka mohla rovnomerne aplikovať. Cieľom je dosiahnuť optimálny tvarový faktor mm – pomer šírky k hĺbke v rozsahu 1:1 až 2:1, ktorý umožní lepšie absorbovanie pohybov trhliny. Typická šírka upraveného profilu je 10 až 25 mm.

- **Aplikácia penetračného (základného) náteru**

Ak to určuje výrobca tesniacej hmoty, pred samotným utesnením sa musí aplikovať vhodný penetračný náter podľa jeho technických pokynov. Tento krok zabezpečuje správne spojenie medzi povrchom asfaltovej vrstvy a zálievkou.

10.4.2 Aplikácia tesnenia

- **Horúca aplikácia**

Zálievka sa pred použitím zahreje na predpísanú teplotu v špeciálnom variči s dvojplášťovým ohrevom, miešadlom a teplomerom na kontrolu teploty. Aplikuje sa do pripravenej trhliny pomocou:

- aplikačnej pištole s hubicou,
- **výnimočne** iba pri malých opravách s použitím upravenej kanvice.

Existuje niekoľko spôsobov aplikácie:

- **zarovnaná zálievka:** zálievka je nanosená do úrovne povrchu vozovky.
- **prekrytá zálievka:** zálievka mierne presahuje okraje trhliny cca (25 – 50) mm na každú stranu, čím sa zlepšuje jej tesniaca schopnosť. Tento spôsob je v praxi najčastejšie používaný.
- **zapustená zálievka:** hladina zálievky je mierne pod úrovňou vozovky, čo znižuje jej opotrebovanie vplyvom dopravy.

- **Studená aplikácia**

Materiál sa nanáša bez predhriatia, zvyčajne pomocou aplikačnej pištole alebo iného vhodného mechanického zariadenia. Tento spôsob je jednoduchší, no citlivejší na okolité podmienky.

Na dosiahnutie správneho vyplnenia trhliny je potrebné, aby sa trhlina plnila zálievkou **vždy od spodku**. Iba tak sa zaistí, že bude vyplnená na požadovanú hĺbku.

10.4.3 Finálne úpravy

Po aplikácii horúcej zálievky je potrebné jej povrch posypať jemným kamenivom, pieskom alebo iným vhodným materiálom. Tým sa zabráňuje zachytávaniu a následnému vytrhávaniu zálievky pneumatikami vozidiel pred jej úplným vychladnutím a vytvrdnutím.

10.5 Termín opravy trhlín

Otázka načasovania opravy, t. j. či opravovať trhliny hneď po ich objavení, alebo až po dosiahnutí určitej šírky, je predmetom odborných diskusií, ale v princípe závisí od zvoleného prístupu k údržbe vozoviek. V praxi sa uplatňujú dva hlavné prístupy.

10.5.1 Preventívny (proaktívny) prístup

Väčšina odborníkov aj správcov ciest uprednostňuje včasnú opravu trhlín, t. j. ihneď po ich identifikácii – pokiaľ dosiahnu minimálnu šírku vhodnú na aplikáciu tesniacej hmoty, zvyčajne od 3 do 6 mm.

- **Výhody**

- **Zabránenie prieniku vody.**

Aj úzke trhliny umožňujú vnikanie vody do konštrukcie vozovky, čo vedie k poškodeniu podkladových vrstiev, erózii jemných častíc a pri mrazoch k rozpínaniu a poškodeniu (napr. vznik výtlkov).

- **Zabránenie prieniku pevných častíc.**
Kamienky a iné nečistoty, ktoré sa dostanú do trhliny, pôsobia pri jej pohybe ako klíny, ktoré bránia jej uzavretiu, zväčšujú poškodenie a spôsobujú odlamovanie okrajov.
- **Spomalenie degradácie vozovky.**
Včasná oprava trhlín spomaľuje celkový proces degradácie a významne predlžuje životnosť konštrukcie. Náklady na opravu malej trhliny sú pritom násobne nižšie ako oprava rozsiahleho poškodenia alebo výmena vrstiev vozovky.
- **Nevýhody**
 - V prípade dostatočných zdrojov na údržbu žiadne.

10.5.2 Kumulatívny prístup

Z dôvodu obmedzených finančných prostriedkov alebo kapacitných možností sa oprava často realizuje až v momente, keď trhliny dosiahnu určitú šírku (napr. > 6 mm) alebo keď spôsobujú sekundárne poškodenie (výtlky, porušené okraje a pod.). To znamená až v momente, keď sa naakumulujú finančné prostriedky (alebo v horšom prípade poruchy vozovky).

- **Výhody**
Umožňuje akumulovať prostriedky na vykonanie údržby vo väčšom rozsahu. Niekedy je jeho použitie vyvolané nedostatkom finančných prostriedkov v danom čase.
- **Nevýhody**
Tento prístup zvyšuje riziko rýchleho zhoršenia stavu vozovky a v dlhodobom horizonte vedie k vyšším nákladom na opravy a obnovu.

10.5.3 Porovnanie doby opravy trhlín

Tabuľka 7 – Načasovanie opravy trhlín

Prístup	Výhody	Nevýhody	Kedy použiť
Preventívny (proaktívny)	• predlžuje životnosť vozovky • znižuje riziko prenikania vody a nečistôt • vyžaduje nižšie dlhodobé náklady • rýchla a jednoduchá oprava	• vyššia frekvencia zásahov • potreba systematického monitoringu a plánovania	• pri dostatočných finančných zdrojoch • na cesty s vysokým dopravným zaťažením • v rizikových klimatických oblastiach
Kumulatívny (reaktívny)	• umožňuje akumulovať finančné prostriedky • umožňuje vykonať väčšie zásahy naraz	• vyššie riziko poškodenia konštrukcie • rýchlejší rozvoj porúch • väčšie opravy v dlhodobom horizonte	• pri obmedzených financiách • na miestne komunikácie s nízkou prioritou • na vozovky pred rekonštrukciou

10.6 Harmonogram opráv

Veľmi úzke trhliny (< 3 mm) tzv. vlasové trhliny sa obvykle neopravujú okamžite, pokiaľ nie sú početné, aktívne alebo nespôsobujú poškodenie okolitých vrstiev. Je však potrebné ich priebežne monitorovať a sledovať vývoj ich šírky.

Pri rozhodovaní o spôsobe a načasovaní opravy trhlín či už reflexných alebo mrazových treba zohľadniť viaceré faktory:

- **Priorita opravy**
Pri obmedzených zdrojoch je potrebné najskôr opravovať trhliny na vozovkách s vysokou intenzitou dopravy, v oblastiach s nepriaznivým podnebí a tam, kde hrozí rýchly rozvoj porúch.

- **Typ trhliny**
Reflexné trhliny sú často aktívne a vyžadujú rýchlu a kvalitnú opravu, aby sa predišlo ich šíreniu.
- **Celkový stav vozovky**
Ak sa vozovka blíži ku koncu svojej životnosti a plánuje sa jej komplexná rekonštrukcia, nie je ekonomicky opodstatnené investovať do rozsiahlej opravy jednotlivých trhlín.

10.7 Slovenské predpisy

Na Slovensku sa pri opravách trhlín (aj reflexných) v asfaltových vrstvách vozoviek najviac používajú asfaltové zálievky spracované za horúca. Požiadavky na vlastnosti zálievok typu N1 a N2 sú uvedené v [T18].

Zálievky typu N1 sa používajú na tesnenie škár dopravných plôch z asfaltu, betónu a ich kombinácií. Sú vhodné na opravu trhlín, ktorých zmena šírky je menšia ako 35 %.

Zálievky typu N2 majú rovnaké použitie ako zálievky typu N1. Tieto zálievky sa používajú na opravu trhlín, ktorých zmena šírky je menšia ako 25 %.

Zálievky N1 a N2 **nie sú vhodné** na použitie do škár, od ktorých sa vyžaduje odolnosť proti pohonným a chemickým látkam, ako sú frekventované parkoviská, odstavné plochy s chemickým nákladom a pod.

Zálievky sú v zmysle vyhlášky [Z14] zaradené do systému 3 posudzovania a overovania nemennosti parametrov do systému. To znamená, že výrobca musí pri uvádzaní svojho výrobku predložiť Vyhlásenie o parametroch podstatných výsledkov výrobu.

10.8 Záver kapitoly

10.8.1 Zhrebnutie

V kapitole je uvedený komplexný prehľad materiálov, technológií a prístupov používaných pri opravách reflexných trhlín v asfaltových vrstvách. Zvolený spôsob opravy závisí od typu trhliny, klimatických podmienok, dopravného zaťaženia a životného cyklu vozovky. Opísané sú preventívne a kumulatívne prístupy, ako aj detaily správnej prípravy trhliny, výberu zálievok (horúcich, studených, mastixov, emulzií či reaktívnych živíc) a samotnej aplikácie. V závere sú uvedené podmienky platné na Slovensku, vrátane klasifikácie zálievok podľa [T18] a normových požiadaviek na ich vlastnosti.

10.8.2 Zhodnotenie

Úspešná oprava trhlín nie je len otázkou výberu správneho materiálu, ale predovšetkým dôsledného dodržania technologického postupu, vhodného načasovania a klimatických podmienok pri realizácii. Slovenské predpisy reflektujú štandardné európske požiadavky, no prax ukazuje potrebu systematického prístupu k monitorovaniu a plánovaniu opráv. Oprava reflexných trhlín nie je izolovanou činnosťou, ale súčasťou ucelenej stratégie dlhodobej údržby vozoviek.

10.8.3 Odporúčania

- **Uprednostňovať preventívny prístup** k oprave trhlín, najmä na komunikáciách s vysokým dopravným zaťažením a v rizikových klimatických oblastiach.
- **Používať iba certifikované materiály** s overenými parametrami pre dané klimatické pásmo a typ vozovky.
- **Dôsledne dodržiavať podmienky aplikácie** najmä teplotu, vlhkosť a čistotu povrchu, ktoré majú rozhodujúci vplyv na životnosť opravy.
- **Zabezpečiť správny profil trhliny a hĺbku výplne**, najmä pri aktívnych trhlínach sa odporúča vytvoriť komôrku na šírku (10 – 25) mm s tvarovým pomerom (š/h) 1:1 až 2:1.
- **Zaviesť pravidelný monitoring stavu vozoviek**, ktorý umožní identifikáciu a opravu trhlín v optimálnom čase, ešte pred vznikom sekundárnych porúch.

11 Ekonomické porovnanie metód opráv reflexných trhlín

Ekonomické porovnanie metód na elimináciu šírenia reflexných trhlín z HSV je kľúčové pre efektívne rozhodovanie pri návrhu aj pri údržbe vozoviek. Ideálnym nástrojom na porovnanie je analýza životných nákladov LCCA [L10].

Treba zdôrazniť, že presné porovnanie je závislé od miestnych podmienok – cien materiálov a prác, dostupnosti technológií, klimatických faktorov, rozsahu projektu a zvolenej stratégie údržby.

Poznámka: Preto ceny uvedené v ďalšom texte treba považovať za informatívne. Ich použitie je vhodné len na vzájomné porovnanie metód.

- **LCCA zahŕňa všetky náklady počas životnosti stavby**
 - **Počiatkové investičné náklady**
Materiály, práce, stroje, projektová dokumentácia.
 - **Náklady na údržbu a opravy**
Pravidelné obnovy tesnenia, lokálne opravy porúch.
 - **Náklady na obnovu**
Komplexnejšie zásahy po skončení životnosti vrstvy.
 - **Užívateľské náklady**
Dopravné obmedzenia počas prác, ekonomické dopady na dopravu (zriedka priamo zahrnuté, ale dôležité pri veľkých projektoch).
 - **Zostatková hodnota**
Ekonomická hodnota zostávajúca na konci sledovaného obdobia.

Všetky tieto položky sa prepočítavajú na súčasnú hodnotu pomocou diskontnej sadzby. Cieľom je nájsť riešenie s najnižšími celkovými nákladmi pri splnení požiadaviek na životnosť a funkčnosť.

11.1 Kvalitatívne porovnanie vybraných metód

- **Rezanie a vytváranie škár v HSV**
 - **Náklady**
Stredné počiatkové náklady, závislé od rozsahu opráv a typu zálievky.
 - **Výhody**
Presne definovaná poloha škár, jednoduchá realizácia.
 - **Nevýhody**
Potreba pravidelnej obnovy tesnenia každých (3 – 7) rokov, riziko vzniku náhodných trhlín pri nevhodnom rozstupe alebo načasovaní rezania.
 - **Ekonomická efektívnosť**
Dobrá pri dôslednej realizácii, s predvídateľnými nákladmi a rizikami.
- **Mikrotrhliny v HSV (prehutnenie vrstvy)**
 - **Náklady**
Veľmi nízke materiálové náklady; náročné na presné načasovanie a postup.
 - **Výhody**
Lacné a ľahko realizovateľné.
 - **Nevýhody**
Vysoké riziko zlyhania, nedostatok overených dlhodobých výsledkov.
 - **Ekonomická efektívnosť**
Potenciálne výhodná pre nenáročné úseky, no riziková bez podrobného monitoringu.
- **Vrstvy absorbujúce napätie**
 - **Náklady**
Vyššie počiatkové náklady na materiál a prácu; vyžaduje sa precízna aplikácia.
 - **Výhody**
Výrazne kompenzujú zmeny šírky trhlín v HSV a znižujú napätia v asfaltových vrstvách, predlžujú životnosť o (30 – 70) %, majú aj hydroizolačný účinok.
 - **Nevýhody**
Pri nekvalitnej aplikácii zlyháva funkcia; technologická náročnosť, vyššia cena.
 - **Ekonomická efektívnosť**
Vysoká pri správnom návrhu a realizácii, vhodné najmä pre strategické úseky s vysokou intenzitou dopravy.
- **Geosyntetika**
 - **Náklady**
Stredné až vysoké podľa typu geosyntetika a kvality spojovacích postrekov.
 - **Výhody**

Predpokladá sa, že zvyšujú únosnosť a odolnosť asfaltových vrstiev voči únave a reflexným trhlinám.

- **Nevýhody**
Pri zlej aplikácii je riziko zlyhania a následného negatívneho dopadu na celú konštrukciu vozovky.
- **Ekonomická efektívnosť**
Veľmi dobrá pri správnej inštalácii, no vyžaduje odborne spôsobilých pracovníkov realizujúcich jej správne zabudovanie do konštrukcie vozovky.

11.2 Porovnanie nákladov a očakávanej životnosti (orientačné hodnoty)

- Tabuľka 8 – Ekonomické porovnanie opatrení na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín

Opatrenie	Cena (€/m ²)	Odhadovaná životnosť (roky)
Vytváranie škár	5 – 10	10 – 15
Mikrotrhlíny	<1	10 – 20
SAMI	3 – 5	5 – 10
Geosyntetiká	2 – 3	12 – 20
Bez opatrení	0	2 – 5

11.3 Záver kapitoly

11.3.1 Zhrnutie

Táto kapitola je venovaná ekonomickému porovnaniu opatrení na zníženie rizika reflexných trhlín v polotuhých vozovkách. Porovnanie je postavené na analýze životných nákladov (LCCA), ktorá zohľadňuje nielen počiatočné investície, ale aj dlhodobé náklady na údržbu, obnovu a užívateľské dopady. Uvedené sú orientačné náklady, predpokladaná životnosť a praktické výhody a nevýhody každého opatrenia.

11.3.2 Zhodnotenie

Analýza ukázala, že **najnižšie počiatočné náklady nemusia znamenať najnižšie celkové náklady počas životnosti vozovky**. Napriek vyšším vstupným investíciám sa niektoré opatrenia, napr. SAMI ukazujú ako ekonomicky výhodné pre úseky s vysokým dopravným zaťažením a dlhým návrhovým obdobím. Zároveň sa potvrdilo, že **kombinácia viacerých metód** (napr. mikrotrhlíny + geosyntetikum) výrazne zvyšuje účinnosť vykonaných opatrení.

11.3.3 Odporúčania

- **Vždy treba zohľadniť miestne podmienky** - ceny, dostupné technológie, dopravné zaťaženie a klimatické faktory.
- **Vypracovať LCCA pre každý projekt individuálne**, a to najmä pri strategických úsekoch s vysokou prioritou (TDZ I a II).
- **Uprednostniť kombinované prístupy**, najmä pri novostavbách alebo rekonštrukciách s cieľom dosiahnuť dlhšiu životnosť a znížiť náklady na údržbu.
- **Nezanedbať kontrolu kvality** pri aplikácii SAMI vrstiev a geosyntetik, nekvalitné zabudovanie môže úplne eliminovať ich účinok.
- **V prípade ekonomicky limitovaných projektov** je vhodné voliť osvedčené riešenia s nízkou variabilitou výsledku (napr. rezanie škár).
- **Zvážiť mikrotrhlíny ako nízko nákladové doplnkové opatrenie** najmä na úsekoch, kde nie je možné použiť drahšie riešenia, no treba zabezpečiť kontrolovaný postup a monitoring.

12 Návrhy na implementáciu výsledkov RÚ

Na základe vykonanej analýzy dostupných zdrojov navrhujeme nasledovné úpravy a doplnenia do platných TPR v gescii Ministerstva dopravy SR.

12.1 Úpravy technických predpisov rezortu

12.1.1 Revízia TP 002 Katalóg konštrukcií vozoviek pre nápravové zaťaženie 115 kN z 12/2017

- Pridať varianty konštrukcií vozoviek rešpektujúce požiadavky na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín.
- Stanoviť kritériá výberu opatrení proti tvorbe reflexných trhlín (požiadavky na použité materiály uviesť v revidovaných TP 033) v závislosti na triede dopravného zaťaženia a klimatických účinkov.

12.1.2 Dodatok č. 1/2015 TP 033 Navrhovanie netuhých a polotuhých vozoviek

- Doplniť kapitolu 4.2 Konštrukčné zásady:
Návrh znenia: Pre zníženie rizika tvorby reflexných trhlín sa ako spodná podkladová vrstva môže pre triedy dopravného zaťaženia I, II a III použiť CBGM C_{3/4} a pre triedy dopravného zaťaženia IV, V a VI CBGM C_{1,5/2}.
- Vložiť samostatnú kapitolu venovanú opatreniam na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín s uvedením ich technických špecifikácií (typy, hrúbky, materiály, podmienky použitia).

Poznámka: Revízia TP 033 je v pláne úloh RVT na rok 2025.

12.1.3 Aktualizácia TP 047 Katalóg technológií na opravy základných typov porúch vozoviek z 08/2011 a Dodatku č. 1/2018

- Z hľadiska predmetu tejto RÚ je potrebné aktualizovať „1.LIST TECHNOLOGIE OPRAVA TRHLÍN V OBRUSNEJ VRSTVE“ a časť 2.2 v Dodatku č. 1/2018.
- Pri zohľadnení doby, ktorá uplynula od nadobudnutia účinnosti tohto TP, je potrebná jeho revízia v celom rozsahu v najbližšom možnom období.

12.1.4 Dodatok TKP 5 č. 1/2023 Podkladové vrstvy z nestmelených a hydraulicky stmelených zmesí

- Upraviť čl. 6.11 vyňatím opatrení na elimináciu reflexných trhlín.
- Doplniť samostatný článok (za 6.11):

Návrh znenia:

Aby sa eliminovalo riziko tvorby reflexných trhlín v polotuhých vozovkách, musia sa pre všetky typy hydraulicky stmelenej vrstvy použiť vhodné technické opatrenia. Je možné použitie niektorých z týchto druhov opatrení:

- **Prehutnenie tuhnúcej vrstvy valcom.** Intenzitu, počet prejazdov a čas realizácie stanoví zhotoviteľ v závislosti od klimatických podmienok na stavbe a charakteristickej pevnosti zmesi.
- **Vytvorenie škár vo vrstve počas spracovania zmesi.** Napr. zatlačením vhodného prípravku do čerstvej zmesi hneď po jej položení. Dĺžka úsekov je stanovená v projekte na základe hrúbky vrstvy a charakteristickej pevnosti zmesi.
- **Prerezanie zhutnenej vrstvy v období jej tvrdnutia s následným vyplnením škár.** Dĺžka úsekov je stanovená v projekte na základe hrúbky vrstvy a charakteristickej pevnosti zmesi.
- **Aplikácia vrstvy absorbujúcej napätie, SAMI.**
- **Použitie geosyntetík s redistribúciou napätí.** Pri zabudovaní geosyntetík sa musí dôsledne dodržať postup ich výrobcu, za prítomnosti stavebného dozoru.
- **Kombinácia viacerých opatrení.**

Postup technických opatrení je potrebné prerokovať s investorom, ktorému sa musí na schválenie predložiť technologický postup. Vlastná realizácia sa môže vykonať až po schválení technologického postupu investorom a za prítomnosti stavebného dozoru. Po 7 dňoch od zhutnenia HSV a vykonaní opatrení je možné urobiť spojovací asfaltový postrek a položiť asfaltovú vrstvu.

- V novom článku je potrebné súčasne uviesť presný postup pri použití metódy prehutnenia tuhnúcej vrstvy valcom [L14]:

- *Návrh znenia:*

Postup vytvárania mikrotrhlín v HSV

1. *Narušenie vrstvy realizovať v rozmedzí od 12 do 24 h po pokládke vrstvy.*
2. *Pred narušením vrstvu HSV mierne pokropiť vodou, aby došlo k jej navlhčeniu.*
3. *Na valci nastaviť vyššiu účinnosť vibrácie (bežne je to stupeň dva).*
4. *Rýchlosť pojazdu valca nastaviť na 10 – 15 km/h.*

5. *Narušenie vrstvy realizovať pri pojazde s vibráciou iba v jednom smere.*
6. *Návrat valca naspäť po tej istej stope bez vibrácie (zahľadenie povrchu).*
7. *Nepoužívať prejazd valca s vibráciou na jednom mieste viackrát.*
8. *Pojazdy valca pri zapnutej vibrácii sa nesmú prekryvať.*
9. *Ak je vozovka s vrstvou HSV ohraničená obrubníkmi alebo ak sú vo vrstve umiestnené objekty (šachty, vpuste), musí sa najmenej 70 cm pred nimi vypnúť vibrácia.*
10. *V prípade, že sa v blízkosti upravovanej vrstvy nachádzajú budovy, ktoré môžu byť vibráciou poškodené, nesmie sa táto metóda použiť.*

12.1.5 Odporúčania na získanie poznatkov o účinnosti navrhovaných opatrení

Navrhujeme iniciovať koordinovaný výskum v spolupráci s akreditovanými výskumnými pracoviskami, Národnou diaľničnou spoločnosťou, a. s. a Slovenskou správou ciest so zameraním na:

- **realizáciu skúšobných úsekov** s overením viacerých metód na zníženie rizika tvorby reflexných trhlín v polotuhých vozovkách. Úseky dlhodobo monitorovať a priebežne hodnotiť stav vozovky;
- **doplnenie/úprava databázy IS MCS** o časť týkajúcu sa informácií o stavbách, na ktorých sa realizovalo niektoré z opatrení na zníženie rizika tvorby trvalých deformácií;
- **monitoring vývoja trhlín** a náklady na údržbu spojené s ich opravou na vytipovaných úsekoch diaľnic a ciest.

Navrhované úpravy technických predpisov a výsledky z dlhodobého sledovania realizovaných stavieb môžu významne prispieť k predĺženiu životnosti vozoviek, optimalizácii investičných nákladov a redukcii nákladov na údržbu polotuhých vozoviek.

12.2 Záver kapitoly

12.2.1 Zhrnutie

Kapitola sumarizuje konkrétne návrhy na úpravy TPR MD SR s cieľom systematicky znížiť riziko vzniku reflexných trhlín v polotuhých vozovkách. Návrhy zahŕňajú doplnenia do TP 002, TP 033, TP 047 a TKP 5, pričom reflektujú nové poznatky z praxe, výskumu a medzinárodných skúseností. Návrh obsahuje aj odporúčania na realizáciu skúšobných úsekov a vytvorenie databázy výsledkov z ich dlhodobého sledovania.

12.2.2 Zhodnotenie

Navrhované úpravy predstavujú logický a potrebný krok k aktualizácii TPR súvisiacich s reflexnými trhlinami v polotuhých vozovkách. Zohľadňujú overené opatrenia z domácich aj zahraničných stavieb a vytvárajú rámec pre ich systematické zavádzanie do praxe. Osobitne dôležité je, že návrhy nie sú len formálne, ale obsahujú aj praktické technické parametre a pracovné postupy, čím sa zvyšuje možnosť ich rýchlej implementácie.

13 Záverečné zhodnotenie RÚ

RÚ poskytuje komplexný pohľad na problematiku vzniku, šírenia a eliminácie reflexných trhlín v polotuhých vozovkách s HSV.

Na základe podrobnej analýzy príčin vzniku reflexných trhlín, zahraničných a domácich poznatkov z realizovaných stavieb a ekonomického porovnania boli identifikované kľúčové faktory ovplyvňujúce vznik a vývoj reflexných trhlín a navrhnuté prakticky aplikovateľné riešenia na elimináciu ich negatívneho dopadu na životnosť polotuhých vozoviek.

13.1 Prehľad opatrení na elimináciu reflexných trhlín v polotuhých vozovkách

Na dosiahnutie požadovaného efektu, t. j. zníženie rizika tvorby reflexných trhlín je potrebné venovať tejto problematike primeranú pozornosť tak vo fáze návrhu, ako aj vo fáze realizácie a údržby polotuhej vozovky. Pritom je potrebné dodržať všetky technické špecifikácie (STN EN, STN, TPR) súvisiace s návrhom vozovky, použitými materiálmi a technologickými postupmi.

13.1.1 Fáza návrhu

- **Výber materiálov**

- HSV s nižšími triedami pevností
- Asfaltové zmesi s PMB

Ak sa pri návrhu počíta s konkrétnymi materiálmi (hydraulické spojivá, asfalty), je to potrebné uviesť v PD. Inak v zmysle TPR je výber konkrétnych materiálov na realizátorovi stavby.

Pri významných projektoch (diaľnice, rýchlostné cesty) v klimaticky náročných podmienkach je vhodné po konzultácii s investorom zvážiť stanovenie požiadaviek na hodnoty dopĺňujúcich vlastností asfaltovej zmesi (únavové charakteristiky, odolnosti voči šíreniu trhlín a vlastnosti pri nízkych teplotách).

- **Návrh konštrukcie**

Optimalizáciou skladby vozovky a hrúbky konštrukčných vrstiev môže projektant prispieť k zníženiu rizika vzniku reflexných trhlín. Výsledný návrh musí byť v súlade s platnými technickými predpismi.

- **Opatrenia na elimináciu reflexných trhlín**

V PD musí byť uvedené, že na zníženie rizika vzniku reflexných trhlín **sa musia** urobiť konkrétne opatrenia. Projektant môže ponechať výber metódy na realizátorovi – s odvolaním sa na [T14] alebo ju priamo určiť.

Ak je v PD uvedená požiadavka na použitie geosyntetika, musí byť uvedený konkrétny typ. Pri požiadavke na vytváranie škár (po položení HSV alebo po jej vytvrdnutí) musí projektant uviesť vzdialenosť škár.

13.1.2 Fáza realizácie

- **Výber materiálov**

Ak projektant priamo neurčí, aké materiály sa majú použiť, tak to môže v rámci požiadaviek platných TPR urobiť realizátor stavby. Týka sa to najmä výberu vhodného kameniva a spojiva pre HSV a výberu kameniva a asfaltov (vrátane druhu PMB) pre asfaltové zmesi.

- **Opatrenia na elimináciu reflexných trhlín**

- **Vytváranie škár v HSV pri jej pokládke**

Používa sa kovový nosník vhodného tvaru, ktorý sa zavibruje do HSV po jej rozprestretí. V praxi je možné použiť aj profil, ktorý je dutý a umožňuje ošetriť vytvorenú škáru asfaltovou emulziou. Vzdialenosť škár určí projektant.

- **Vytváranie škár rezaním HSV po jej zatvrdnutí**

Na rezanie sa používajú bežné zariadenia (kotúčové píly) ako pri vytváraní škár v cementobetónových vozovkách. Vzdialenosť škár, hĺbku rezu a spôsob utesnenia určí projektant.

- **Mikrotrhlíny v HSV (prehutnenie vrstvy)**

Jednoduchý a v praxi u nás osvedčený spôsob. Je potrebné dodržať metodiku.

- **Vrstvy absorbujúce napätie**

Je vytvorená vrstvou mastixu s PMB alebo geosyntetikom preliatym PMB. Účinná metóda náročnejšia na realizáciu.

- **Geosyntetika**

Je treba použiť vhodné typy (STR) a dodržať podmienky výrobcu na jej zabudovanie v konštrukcii vozovky.

Do úvahy prichádza aj kombinácia viacerých metód, čím sa zvýši účinnosť opatrení. Pre každú z uvedených metód je dôležité, aby sa dodržali všetky stanovené postupy. Podmienkou na použitie konkrétnej metódy musí byť technologický postup, schválený investorom pred realizáciu.

Pri realizácii musí byť prítomný stavebný dozor, resp. zástupca investora.

Vplyv výberu metódy (ak ju priamo nestanoví PD) na výslednú cenu diela závisí od možnosti dodávateľa, ktorý to zohľadní v cenovej ponuke na realizáciu konkrétnej stavby.

13.1.3 Fáza údržby polotuhej vozovky

Treba si uvedomiť, že riziko vzniku reflexných trhlín v polotuhých vozovkách **nie je možné úplne vylúčiť** žiadnou z uvedených metód. Preto je potrebné venovať primeranú pozornosť kontrole realizovaných stavieb, aby sa pri vzniku reflexných trhlín mohli lokalizovať miesta ich výskytu a sledovať ich vývoj (zmeny šírky, deštrukcia povrchu vozovky v okolí) napr. v systéme IS MCS.

Optimálnym riešením je vykonať opravu vzniknutej trhliny čo najskôr po jej zistení. V konkrétnom prípade však treba zvážiť, ktorý systém údržby správca komunikácie uprednostňuje (preventívny, kumulatívny).

Dlhodobé zanedbanie opravy reflexných trhlín má vždy za následok vznik lokálnych porúch vozovky. Náklady na ich opravy, vrátane možných obmedzení v používaní komunikácie, sú neporovnateľne vyššie ako náklady na včasné opravy reflexných trhlín.

13.2 Zhodnotenie prínosu RÚ

RÚ prepája vedecké poznatky, skúsenosti z realizácií a ekonomické úvahy do jednotného rámca, ktorý môže slúžiť ako podklad pre:

- aktualizáciu technických predpisov,
- efektívne rozhodovanie projektantov, správcov komunikácií a investorov,
- zlepšenie výkonnosti cestnej infraštruktúry v SR pri zachovaní nákladovej efektívnosti.

V praxi sa potvrdilo, že **reflexným trhlinám sa dá predchádzať** vhodnou kombináciou návrhových, technologických a realizačných opatrení. Osobitne sa ukázalo, že **výber vhodnej metódy musí vždy zohľadniť miestne podmienky** – geotechnické, klimatické aj ekonomické.

13.3 Hlavné odporúčania RÚ

1. **Zaviesť systémový prístup k riešeniu reflexných trhlín** – už vo fáze návrhu vozovky je treba venovať pozornosť výberu vhodných typov zmesí na HSV a ich ošetrovaniu po realizácii, vytváraní škár, použitiu vrstiev absorbujúcich napätie, geosyntetikám a návrhu optimalizovaných asfaltových vrstiev.
2. **Zabezpečiť vysokú kvalitu kľúčových technologických krokov**, najmä tam, kde je účinnosť metódy závislá od presného postupu (napr. mikrotrhlíny, aplikácia SAMI alebo použitie geosyntetik). Pri realizácii musí byť prítomný stavebný dozor alebo zástupcu investora.
3. **Preferovať preventívnu údržbu trhlín**, t. j. včasnými zásahmi predchádzať vzniku rozsiahlych porúch, a tým znižovať náklady na opravy a predĺžiť životnosť vozovky.
4. **Podporiť implementáciu výsledkov RÚ** formou aktualizácie TPR a dlhodobým monitoringom účinnosti realizovaných opatrení na konkrétnych stavbách.
5. **Viesť databázu IS MCS** tak, aby správcovia komunikácií správne definovali výskyt reflexných trhlín počas prehliadok komunikácií a tieto údaje evidovali v databáze ESCeS. Následne v aplikácii DASO zadávať všetky požadované informácie o vykonanej súvislej údržbe a opravách komunikácií.

14 FOTOGALÉRIA (ilustračné fotografie)



Obrázok 1 – Reflexná trhlina v kombinácii s trvalými deformáciami vo vozovke



Obrázok 2 – Reflexná trhlina



Obrázok 3 – Reflexná trhlina



Obrázok 4 – Mrazová trhlina



Obrázok 5 – Mrazová trhlina



Obrázok 6 – Trhlina vyvolaná objektom vo vozovke



Obrázok 7 – Trhliny zapríčinené poruchou podložia



Obrázky 8, 9 – Vývrty vozovky v miestach reflexných trhlín



Obrázky 10, 11 – Vývrty vozovky v miestach mrazových trhlín



Obrázky 12, 13, 14 – Tesnenie trhlín



Obrázky 15, 16, 17 – Keď sa niečo nepodarí