

Vliv použití sklovláknité geomříže na spojení vrstev a odolnost vůči únavě asfaltových vozovek

Vyztužování asfaltových vrstev pomocí geosyntetik lze použít z důvodu omezení vývoje a šíření trhlin ve vozovce či pro vyztužení pokleslých okrajů vozovek. Příspěvek se zaměřuje na výsledky zkoušky spojení vrstev a funkční zkoušky odolnosti vůči únavě na zkušebních tělesech strukturálně vyztužených samolepicí sklovláknitou geomříží a porovnává je s výsledky referenčního souvrství bez výztužného materiálu. Výztužné mříže byly umístěny pod tenkou asfaltovou vrstvou tl. 30 mm. Výsledky potvrdily pozitivní vliv geomříže na prodloužení životnosti vozovky.

Klíčová slova: asfaltový beton, geosyntetikum, sklovláknitá mříž, spojovací postřík, smyková zkouška spojení vrstev dle Leutnera, odolnost vůči únavě

Reinforcement of asphalt layers using geosynthetics can be applied to reduce the development and propagation of pavement cracks or to reinforce settled pavement edges. The paper is focused on the results of the Leutner shear test and the functional resistance to fatigue test on test specimens structurally reinforced with self-adhesive fibreglass geogrid. Reinforcement grids were situated under a thin asphalt layer 30 mm. The results presented in the paper confirmed the positive effect of the geogrid on extending pavement service life.

Keywords: asphalt concrete, geosynthetic, fibreglass geogrid, tack coat, leutner interlayer shear test, fatigue resistance

Úvod

Pro zajištění silnic v požadovaném stavu je důležité neustále hledat nové možnosti řešení, které přispívají k prodloužení životnosti vozovek či provedených oprav, a to za současné úspory finančních nákladů. Ve stávajících netuhých vozovkách se vyskytuje celá řada poruch, přičemž jednou z kritických poruch jsou trhliny. Ty mohou být nejrůznějšího původu a druhu a mohou prostupovat celou tloušťkou asfaltových vrstev. Časté jsou trhliny mrazové a reflexní, příčné a podélné a také trhliny na pracovních spárách. Nejzávažnější jsou trhliny síťové, které bývají znakem ztráty únosnosti celé vozovky a mohou vést k plošným deformacím celé vozovky. Tyto poruchy obvykle vyžadují celkovou rekonstrukci vozovky za účelem zvýšení její únosnosti. Další, často se vyskytující poruchou zejména vozovek krajských komunikací, jsou poklesy okrajů vozovky a s nimi spojené trhliny. Vznik těchto poruch je zapříčiněn nedokonalým provedením rozšířením vozovky v minulosti a současným vysokým dopravním zatížením pojezdy těžkých nákladních vozidel. Pro oddálení

šíření trhlin do nových asfaltových vrstev existuje několik způsobů sanace poruch vozovek, které jsou popsány v TP 115 [1]. Při běžném způsobu překrytí trhlin asfaltovou vrstvou však postupem času dochází k jejich dalšímu prostupování na povrch vozovky. Zajímavou možností pro omezení vývoje a šíření trhlin v asfaltových vozovkách je použití výztužných geomříží či geokompozitů vkládaných mezi asfaltové vrstvy. V současné době je k dispozici celá řada geosyntetických sklovláknitých výrobků vhodných pro použití v silničním stavitelství.

Na Fakultě stavební VUT v Brně byl v letech 2020–2023 řešen výzkumný projekt TA ČR CK 01000033 s názvem „Prodloužení životnosti vozovek krajských a místních komunikací pomocí inovativních asfaltových vrstev s využitím vysokopevnostních kompozitních materiálů“ [2]. Tento projekt byl orientován mj. na vývoj inovativních sklovláknitých geosyntetických materiálů a ověření použití těchto materiálů v asfaltových vozovkách. Na předchozích konferencích Asfaltové vozovky byly publikovány výsledky citovaného projektu zaměřené na spojení vrstev se sklovláknitými geosyntetiky. Zatímco příspěvek z roku 2021 se

orientuje na posouzení jednotlivých faktorů, které mají vliv na kvalitu spojení vyztužených vrstev [3], příspěvek z roku 2023 [4] je zaměřen na výsledky spojení vrstev ze zkušebního úseku v Soběslavi, kde byly geosyntetické materiály použity pod tenkou obrusnou vrstvou tl. 30 mm. Jedním ze zajímavých zjištěných přínosů byl nárůst smykové síly na spojení vrstvy vyztužené sklovláknitou geomříží v průběhu času, ke kterému mohlo dojít vlivem účinků dopravního zatížení.

Hlavním cílem tohoto příspěvku je, na základě výsledků funkčních zkoušky odolnosti vůči únavě, dokumentovat přínos použití vyztužené sklovláknité geomříže v asfaltové vozovce a její vliv na omezení šíření trhlin a možné prodloužení životnosti vozovky.

Použití sklovláknitých vyztužných materiálů mezi asfaltovými vrstvami

Používání vyztužných materiálů vyžaduje jak pochopení základních principů jejich působení v konstrukci vozovky, tak i dodržování přesných zásad a technické kázně při jejich aplikaci na stavbách. Bez toho nelze dosáhnout ideálních výsledků. Rozdílný přístup je třeba zvolit již při instalaci geosyntetik. Samolepicí geomříže se aplikují na hladký asfaltový povrch nové či mírně opotřebované asfaltové vrstvy (obrázek 1) a následně se na geomříž provede spojovací postřik. Geokompozity se používají zejména na frézované povrchy a aplikují se do čerstvě naneseného spojovacího postřiku. Dalším, v současnosti používaným materiálem, jsou geokompozity s integrovanou asfaltovou vrstvou, které lze instalovat zcela bez použití spojovacího postřiku, a to jak na nové asfaltové vrstvy, tak i na frézované povrchy.

V ČR se používání geosyntetik řídí technickými podmínkami MD TP 147 „Užití asfaltových membrán a vyztužných prvků v konstrukci vozovky“ [5]. Vzhledem k tomu, že tento dokument je v platnosti již od roku 2010, probíhá v současné době revize předpisu, která zohlední aktuální poznatky z oblasti geosyntetik a v současnosti používané materiály a způsoby jejich použití ve vozovce.

Dalším materiálem, který je možné využít při použití geosyntetik, je certifikovaná metodika: „Metodika k využití vysokopev-

nostních kompozitních materiálů pro opravy a zesilování netuhých vozovek asfaltovými vrstvami a pro údržbu tenkovrstvými opatřeními“ [6]. Tento dokument řeší zejména způsob instalace, specifikaci sklovláknitých vyztuží, doporučení na dávkované množství a druh spojovacího postřiku a další důležité aspekty při realizaci oprav silnic nižších tříd s maximálním dopravním zatížením do 500 TNV/24 hodin. Nedílnou součástí metodiky jsou vzorové technologické listy pro návrhy oprav vozovek s použitím vyztužných materiálů. Vzorové technologické listy s návrhy oprav jsou obsaženy také v inovovaných TP 87 „Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek“ připravených k vydání v tomto roce [7].

Použité zkušební metody

Smyková zkouška pevnosti spojení vrstev

Běžně používanou metodou pro ověření spojení vrstev v ČR je tzv. Leutnerova smyková zkouška, která se provádí dle normy ČSN EN 12697-48 [8]. Pomocí této metody je posuzována odolnost souvrství proti účinkům vodorovných smykových napětí na styku dvou konstrukčních vrstev vozovky. Zkouška se provádí na jádrovém vývrtnu, který se umístí do speciálního přípravku v zatěžovacím lisu, kde je zatěžován silou působící kolmo na vývrt v místě rozhraní vrstev, při konstantní rychlosti posunu čelistí 50 mm/min a při zkušební teplotě 20 °C. Jsou zaznamenávány narůstající smyková síla a posun vrstvy, výsledkem zkoušky je maximální smyková síla, resp. smyková pevnost na rozhraní mezi vrstvami.

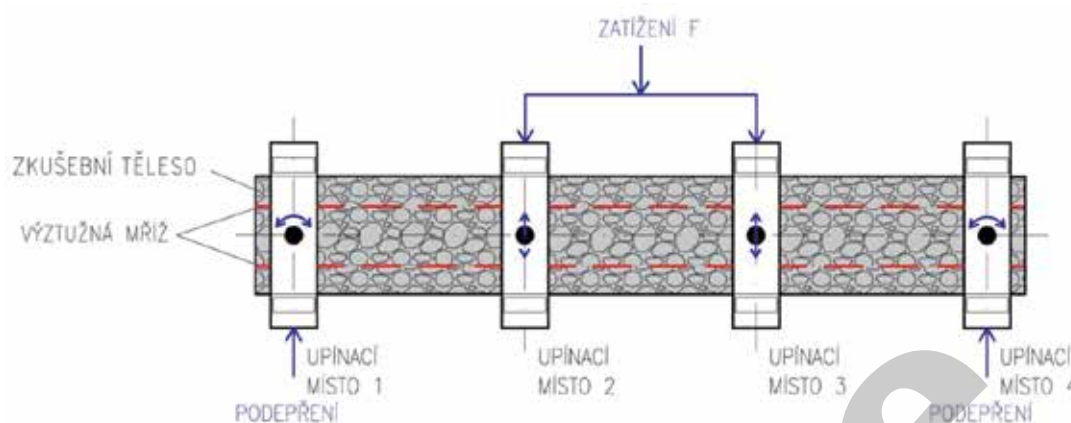
Vzhledem k použití geomříží bylo posouzení spojení vrstev prováděno na jádrových vývrtech průměru 150 mm, které zajišťují dostatečně velkou plochu obsahující vyztužný prvek. Minimální požadovaná hodnota spojení mezi obrusnou a ložní vrstvou je 15 kN (0,85 MPa), dle normy ČSN 73 6121 [9].

Stanovení odolnosti asfaltových souvrství vůči únavě

Pro posouzení únavové odolnosti asfaltového souvrství s vyztužnou geomříží či referenčních souvrství byla použita čtyřbo-



Obrázek 1: Vlevo – pohled na instalovanou samolepicí geomříž na povrchu vozovky, vpravo – detail pokládky asfaltové vrstvy na geomříž



Obrázek 2: Schematický náčrt umístění zkušebního trámce v upínacím přípravku při provádění zkoušky odolnosti vůči únavě metodou 4PB

dová zkouška ohybem na tělesech tvaru trámečků – metoda 4PB, dle normy ČSN EN 12697-24 [10].

Během zkoušky jsou ve vertikálním směru periodicky zatěžovány dva střední zatěžovací body trámečku ohybem (aplikované sinusové zatížení) za současného upnutí konců trámečku (obrázek 2), přičemž zatížení působí ve třetinách vzdálenosti mezi body upnutí 1 a 4. Tím je vytvořen konstantní ohybový moment ve střední třetině zkušební tělesa. Při zkoušce se zaznamenává síla působící na trámec, průhyb uprostřed trámce a fázový úhel mezi silou a průhybem. Z těchto veličin se stanovuje komplexní modul tuhosti. Zkouška byla provedena při zkušební teplotě 10 °C a zatěžovací frekvenci 10 Hz, v souladu s normou ČSN EN 13108-20 ed. 2 [11]. Zatěžování probíhalo v módu „strain control“, tedy za řízeného konstantního přetvoření zkušebních trámců s postupně se snižující silou z důvodu porušování trámců. Zkouška byla ukončena při poklesu počáteční hodnoty modulu tuhosti na 50 %, čímž se považuje zkušební trámec za unavený. Relativní přetvoření ε_i zkušebních trámečků a počty cyklů N_i , při kterých došlo k poklesu modulu tuhosti trámečků na polovinu, se zobrazují v logaritmickém měřítku ve Wöhlerově diagramu. Počáteční přetvoření jednotlivých těles byla nastavována tak, aby finální hodnoty počtu cyklů N_i při dosažení 50 % modulu tuhosti pokryly celý rozsah Wöhlerova diagramu, tj. od 10 000 do 10 000 000 počtu zatěžovacích cyklů. Následně lze pomocí lineární regrese mezi dekadickými logaritmy N_i a ε_i vykreslit únavovou křivku. Výsledkem zkoušky stanovení odolnosti

vůči únavě je parametr poměrného přetvoření ε_6 při 1 000 000 zatěžovacích cyklů.

Je nutno uvést, že použitý způsob vyhodnocení zkoušky (dle normy ČSN EN 12697-24 [10]), se standardně používá pro trámce bez vyztužení. V případě vložení výztužného prvku lze předpokládat, že při poklesu modulu tuhosti na polovinu počáteční hodnoty není zcela dosažen celkový potenciál působení výztuže [12]. Ve světové literatuře je tato zkouška rozšířena o vyhodnocení zohledňující vyšší míru únavy, při které jsou zkušební tělesa více poškozena mikrotrhlinami a výrazněji se projevují funkce vyztužení: metody „Energy ratio“ nebo Simplified Flex Point (SFP) [13].

Použité materiály

Asfaltová směs

Pro výrobu zkušebních těles byla použita asfaltová směs typu asfaltový beton pro obrusné vrstvy ACO 8, resp. v případě zkušebních těles pro stanovení spojení vrstev byla použita také směs asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 11+. Vlastnosti asfaltových směsí jsou uvedeny v tabulce 1.

Samolepicí sklovláknitá výztužná geomříž

Ve zkušebních souvrstvích byla použita sklovláknitá výztužná geomříž TAV 1 SAM, od firmy SAINT-GOBAIN ADFORS CZ s.r.o.

Tabulka 1: Vlastnosti použitých asfaltových směsí

Vlastnost asfaltové směsi	Jednotka	Asfaltový beton pro obrusné vrstvy	
		ACO 8	ACO 11+
Obsah asfaltu	%	6,1	5,9
Objemová hmotnost	kg/m ³	2434	2401
Maximální objemová hmotnost	kg/m ³	2532	2476
Mezerovitost	%	3,87	3,03

Hlavní funkcí této geomříže je zajištění výztužné funkce ve vozovce, kdy je působící napětí absorbováno a distribuováno v ploše jednotlivými filamenti mříže.

Matrice výrobků je tvořena z pletené mřížkové struktury vyrobené z vysokopevnostního skelného vlákna dle ČSN EN 15381 [14] s polymerním povlakem pokrývajícím všechny pramence (tzv. coating). Tento polymerní povlak je způsob povrchové úpravy chránící jednotlivá skelná vlákna výrobku proti poškození během instalace výrobku a při pokládce a hutnění asfaltové vrstvy, zároveň však zajišťuje lepší přilnavost asfaltu ke skelným vláknům. Mříž má na spodní straně samolepicí vrstvu citlivou na tlak, umožňující snadnou aplikaci na nově položenou asfaltovou vrstvu, resp. na starší asfaltové povrchy. Lepidlo se aktivuje tlakem válce na položenou mříž, čímž se zajistí fixace na povrchu a urychlí se celkový proces pokládky. Podrobné vlastnosti použité geomříže TAV 1 SAM jsou uvedeny v tabulce 2.

Asfaltová emulze pro spojovací postřík

Do spojovacího postříku zkušebních těles pro zkoušku spojení vrstev a odolnost vůči únavě byla použita kationaktivní modifikovaná asfaltová emulze C60BP4 s 60% obsahem asfaltu, od výrobce VIALIT Soběslav spol. s r.o. Pro výrobu asfaltové emulze byl použit silniční asfalt gradace 70/100.

Použitá zkušební tělesa

Při přípravě zkušebních těles bylo třeba nejprve vyrobit zkušební desky, které byly zhutněny v laboratoři pomocí segmentového zhutňovače dle normy ČSN EN 12697-33 [20]. Z vyrobených desek byly následně odvrtny jádrové vývrtky, resp. byly vyřezány a zabroušeny zkušební trámce.

Zkušební tělesa pro zkoušku spojení vrstev

Souvrství zkušebních desek sestávalo z následujících vrstev:

- ▶ spodní vrstva z asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 11+ tl. 40 mm;
- ▶ samolepicí sklovláknitá geomříž TAV 1 SAM, resp. v příp. referenčního souvrství bez geomříže;
- ▶ spojovací postřík z kationaktivní asfaltové emulze C60BP4, v množství 0,3 kg/m² zbytk. asfaltu;
- ▶ horní vrstva z asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 11+, resp. ACO 8, tl. 40 mm, položená a zhutněná po vyštěpení asfaltové emulze.

Z takto vyrobených desek byly následně odvrtny jádrové vývrtky průměru 150 mm (3 vývrtky z jedné desky). Pro každé souvrství bylo vyrobeno a odzkoušeno celkem 6 jádrových vývrtů. Míra zhutnění vrstev jádrových vývrtů se pohybovala v rozmezí $(100 \pm 1) \%$.

Zkušební tělesa pro zkoušku stanovení odolnosti vůči únavě

Souvrství zkušebních desek se skládalo ze tří asfaltových vrstev:

- ▶ spodní vrstva (asfaltová vrstva 1) z asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 8, tl. 30 mm;
- ▶ samolepicí sklovláknitá geomříž TAV 1 SAM (v příp. referenčního souvrství bez geomříže);
- ▶ spojovací postřík z kationaktivní asfaltové emulze C60BP4, v množství 0,3 kg/m² zbytk. asfaltu;
- ▶ střední vrstva (asfaltová vrstva 2) z asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 8, tl. 30 mm, položená po vyštěpení asfaltové emulze;
- ▶ samolepicí sklovláknitá geomříž TAV 1 SAM (v příp. referenčního souvrství bez geomříže);
- ▶ spojovací postřík z kationaktivní asfaltové emulze C60BP4; v množství 0,3 kg/m² zbytk. asfaltu;

Tabulka 2: Vlastnosti použité samolepicí sklovláknité geomříže

Vlastnosti	Jednotka	TAV 1 SAM (samolepicí sklovláknitá mříž)	Zkušební metoda
Velikost ok mříže (osově)	mm	25 × 25	-
Plošná hmotnost	g/m ²	205	ČSN EN ISO 9864 [15]
Bod tání ochranného povlaku svazku skelných vláken	°C	> 220	ČSN EN ISO 3146 [16]
Síla v tahu do porušení (MD × VMD) ¹⁾	kN/bm	≥ 50 × 50	ČSN EN ISO 10319 [17]
Síla v tahu při protažení 2 % (MD × VMD) ¹⁾	kN/bm	≥ 36 × 36	ČSN EN ISO 10319 [17]
Protažení do porušení (MD × VMD) ¹⁾	%	2,5 ± 0,5 × 2,5 ± 0,5	ČSN EN ISO 10319 [17]
Zbytková síla v tahu do porušení po poškození při hutnění (MD × VMD) ¹⁾	kN/bm	≥ 40 × 40	ČSN EN ISO 10722 [18]
Přilnavost k povrchu v tahu	N	≥ 150	ČSN EN 13596 [19]

Poznámky: ¹⁾MD – ve směru pokládky geomříže (podélný směr), VMD – kolmo ke směru pokládky geomříže (příčný směr)

- ▶ horní vrstva (asfaltová vrstva 3) z asfaltového betonu pro obrusné vrstvy ACO 8, tl. 30 mm, položená po vyštěpení asfaltové emulze.

Z vyrobených desek byly následně vyřezány a zabroušeny zkušební trávce (vždy 3 ks z jedné desky, obrázek 3) o rozměrech 70 mm (šířka) × 60 mm (výška) × 395 mm (délka), přičemž finální tloušťka asfaltových vrstev v trávcích po zabroušení byla: 15 mm/30 mm/15 mm (viz obrázek 4 vlevo). Původní krajní vrstvy (horní a spodní vrstva) byly zhutněny v tl. 30 mm z důvodu zajištění minimální požadované tl. hutněné vrstvy. Detail aplikované výztužné geomříže na asfaltové vrstvě 2 je zachycen na obrázku 4 vpravo. Výztužené zkušební trávce obsahovaly 2 výztužné geomříže umístěné symetricky vzhledem ke středové ose trávce. Důvodem je cyklické namáhání trávců střídavým tahem a tlakem se sinusovým průběhem (obě krajní asfaltové vrstvy jsou při zkoušce střídavě namáhány tahovými účinky). Podobný způsob symetrického umístění 2 geosyntetik ve zkušebních trávcích při zkoušce 4PB používala ve své dizertační práci také I. M. Arsenie [21] a byl použit také v rámci francouzského projektu SolDuGri [22].

Celkový počet vyrobených a zkoušených trávců byl 18 ks, přičemž u výztuženého souvrství byla odolnost vůči únavě vyhodnocena z výsledků 16 trávců z důvodu poškození 2 trávců vlivem aplikace vysoké počáteční zatěžovací síly (na počátku měření vznikly problémy se zkušebním přístrojem). Míra zhutnění zkušebních těles se pohybovala ve většině případů v rozmezí $(100 \pm 1) \%$, s výjimkou 2 zkušebních těles z referenčního sou-

vrství, na kterých byla dosažena nepatrně vyšší míra zhutnění, a to konkrétně 101,3 %, resp. 101,6 %. Průměrná mezerovitost zkušebních těles se pohybovala v rozmezí od 3,0 % do 4,6 %.

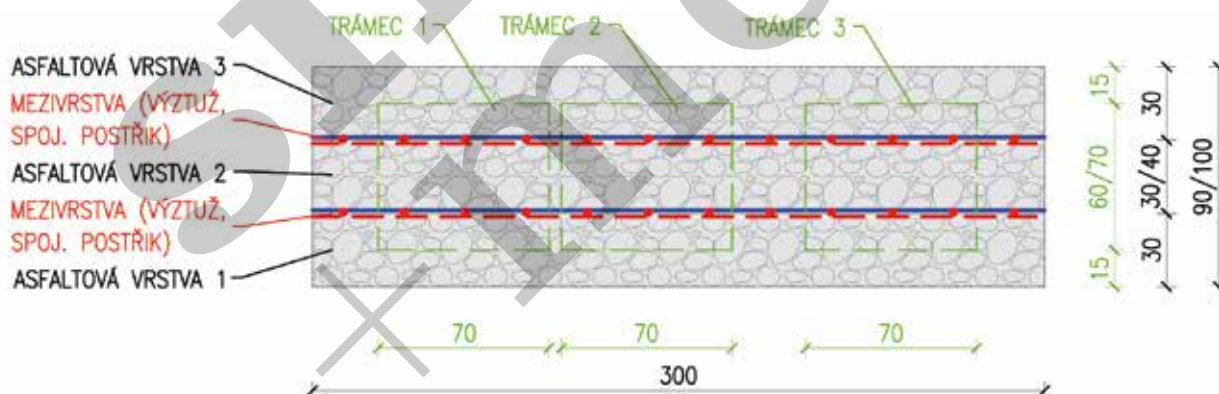
Výsledky provedených zkoušek

Spojení vrstev

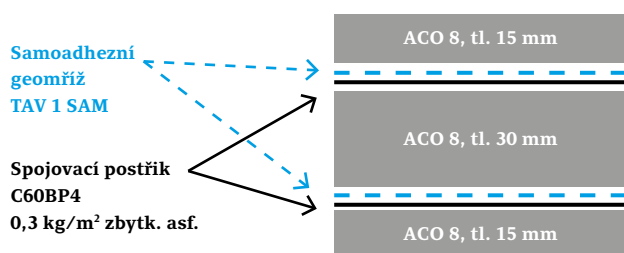
Kvalitní spojení vrstev je vždy důležitým parametrem pro zajištění správné funkce výztužných mříží v asfaltových vozovkách. První část výzkumné práce tak byla zaměřena na zkoušení spojení jádrových vývrtů z vrstev výztužených samolepicí geomříží TAV 1 SAM a porovnání výsledků s výsledky vývrtů z referenčních souvrství, tedy bez výztužné geomříže. Důležitým úkolem také bylo ověřit spojení vrstev při použití tenké obrusné vrstvy tl. 30 mm z asfaltové směsi ACO 8, která byla použita ve zkušebních tělesech pro stanovení odolnosti vůči únavě. Průměrné hodnoty stanovených smykových sil na spojení vrstev jsou graficky uvedeny na obrázku 5.

Z uvedených výsledků vyplývají tyto dílčí závěry:

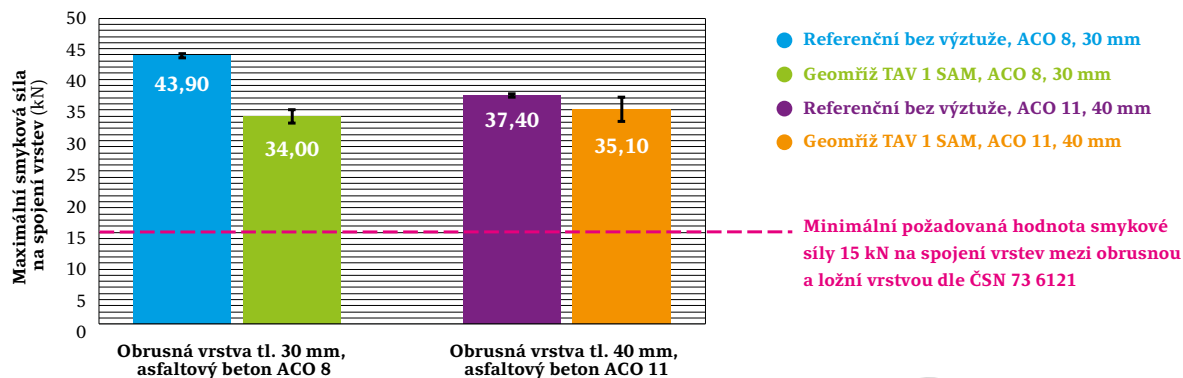
- ▶ Použití tenké obrusné vrstvy ze směsi ACO 8 tl. 30 mm nemělo negativní vliv na spojení vrstev se samolepicí geomříží TAV 1 SAM a posuzované souvrství dosáhlo téměř srovnatelných hodnot smykových sil jako souvrství s obrusnou vrstvou ACO 11+ tl. 40 mm.
- ▶ Vlivem použití samolepicí výztužné geomříže TAV 1 SAM došlo oproti referenčním souvrstvím k mírnému snížení smykové



Obrázek 3: Schematický příčný řez zkušební deskou s výztužnou sklovláknitou geomříží s vyznačením jednotlivých trávců



Obrázek 4: Vlevo – schematický příčný řez zkušebního trávce pro zkoušku stanovení odolnosti vůči únavě, vpravo – samolepicí mříž TAV 1 SAM instalovaná na střední asfaltovou vrstvu 2



Obrázek 5: Vliv odlišné zrnitosti a tloušťky asfaltové obrusné vrstvy na spojení vrstev

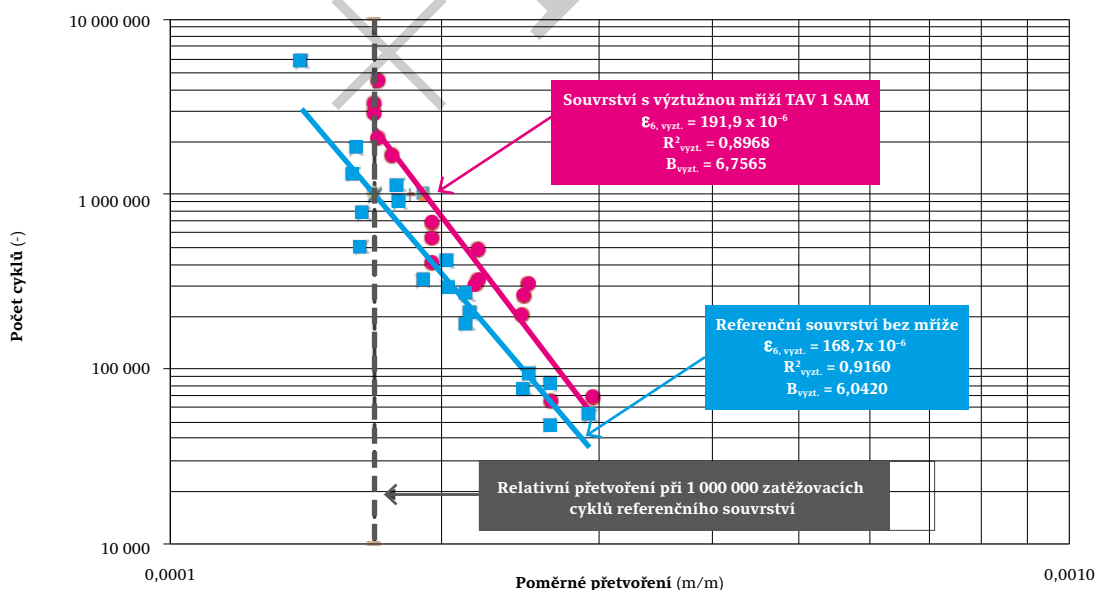
síly, a to o cca 6 % v případě horní vrstvy tl. 40 mm ze směsi ACO 11+, resp. o cca 23 % v příp. horní tenké vrstvy tl. 30 mm ze směsi ACO 8. Směrodatné odchylky jednotlivých výsledků vyztužených souvrství se samolepicí geomirří jsou však větší než směrodatné odchylky dílčích výsledků referenčních souvrství bez výztužné mříže.

- ▶ V rámci všech posuzovaných souvrství zhuťněných v laboratoři bylo dosaženo velmi kvalitního spojení vrstev, kdy nejenže minimální požadovaná hodnota spojení vrstev mezi obrusnou a ložní vrstvou dle ČSN 73 6121 [9] byla splněna, ale byla také výrazně překročena.
- ▶ Potvrdily se již dříve publikované výsledky na konferenci Asfaltové vozovky 2023 [4] ze zkušebního úseku v Soběslavi, kde bylo dokumentováno, že i při použití sklovláknitých geosyntetik pod tenkou asfaltovou vrstvou tl. 30 mm, v kombinaci s asfaltovou emulzí s vyšším podílem asfaltu, lze dosáhnout velmi kvalitního spojení asfaltových vrstev. V případě sekce se samolepicí geomirří TAV 1 SAM byla průměrná smykavá síla 26,1 kN (vývrty odebrány 1 měsíc po realizaci), resp. 35,9 kN (vývrty odebrané 22 měsíců po realizaci úseku), což bezpečně přesáhlo minimální požadovanou hodnotu spojení vrstev 15 kN.

Odolnost asfaltových souvrství vůči únavě

Za účelem ověření účinku použití výztužné sklovláknité mříže na omezení šíření trhlin a prodloužení životnosti prováděných oprav byly provedeny únavové zkoušky zkušebních trámců. Výsledky provedených zkoušek odolnosti vůči únavě jsou zobrazeny graficky ve Wöhlerově diagramu na obrázku 6. Uvedené výsledky dokumentují:

- ▶ Přínos použití výztužné sklovláknité geomirře na zvýšení odolnosti vůči únavě – zatímco u referenčního nevyztuženého souvrství bylo dosaženo hodnoty poměrného přetvoření $\epsilon_{6, \text{ref}} = 168,7 \times 10^{-6}$ (při 1 milionu zatěžovacích cyklů), u souvrství s geomirří TAV 1 SAM byla hodnota $\epsilon_{6, \text{vyzt.}} = 191,9 \times 10^{-6}$. Použitím výztužné geomirře tak došlo ke zvýšení parametru ϵ_6 o hodnotu $\Delta\epsilon_6 = 23,2$, tedy přibližně o 14 %.
- ▶ Nárůst počtu zatěžovacích cyklů souvrství s výztužnou geomirří – na základě porovnání počtu cyklů obou posuzovaných souvrství při relativním přetvoření ϵ_6 referenčního souvrství lze vyvodit jednoduchý závěr: pokud by zkušební těleso při daném zatížení dosáhlo konce zkoušky únavy po 1 milionu zatěžovacích cyklů, vyztužené těleso s geomirří TAV 1 SAM by pak dosáhlo konce zkoušky únavy po 2,39 milionech zatěžovacích cyklů.



Obrázek 6: Wöhlerův diagram s výsledky prováděné zkoušky odolnosti vůči únavě

- Byla dosažena poměrně silná korelace měřených hodnot, přičemž koeficienty determinace výsledků obou posuzovaných souvrství jsou téměř shodné: $R^2 \approx 0,9$.
- Sklony únavových přímků obou posuzovaných souvrství jsou velmi podobné: u referenčního souvrství je $B_{ref.} = 6,0420$, u souvrství s geomříží TAV 1 SAM je $B_{vyzt.} = 6,7565$.

Na fotografiích (obrázek 7) je dokumentován povrch zkušebních těles po ukončení zkoušky odolnosti vůči únavě. Z těchto fotografií je patrný rozdíl mezi povrchem boční stěny vyztuženého a nevyztuženého zkušebního trámce, kdy u vyztuženého trámce došlo k zastavení trhliny na rozhraní asfaltových vrstev u výztužné mříže, zatímco u nevyztuženého trámce došlo k prostupu trhliny po celé výšce trámce.

Přínos použití sklovláknité výztužné geomříže

Výsledky zkoušky odolnosti vůči únavě lze přímo aplikovat při návrhu vozovky: stanovené parametry poměrných přetvoření

souvrství s geomříží TAV 1 SAM $\varepsilon_{6,vyzt.}$ a referenčního souvrství $\varepsilon_{6,ref.}$ byly poníženy o dílčí součinitele rozptylu γ_{up} na hodnoty $\varepsilon_{6,5}$ (tabulka 3). Následně byly tyto hodnoty $\varepsilon_{6,5}$ dosazeny do rovnice 1 pro výpočet mezního počtu opakování zatížení dle TP 170 [23]. Je nutno uvést, že byl použit základní vztah, který neuvažuje dílčí součinitele spolehlivosti, tyto součinitele však je možno při vzájemném porovnání laboratorně stanovených výsledků zanedbat. Vypočtené teoretické zvýšení hodnoty mezního počtu opakování zatížení uvádí tabulka 3. Na základě uvedených hodnoty mezního počtu opakování zatížení (v rovnici 1) lze konstatovat, že použití samolepicí sklovláknité geomříže TAV 1 SAM umožňuje zvýšit počet přejezdů o cca 144 %. Tento výsledek znamená, že vyztužené asfaltové souvrství, při stejném přetvoření a stejné tloušťce vrstev, je teoreticky schopno při použití ve vozovce odolat účinkům více než dvojnásobného počtu přejezdů nákladních automobilů. To je velmi přínosný výsledek z hlediska hospodárnosti návrhů vozovek a jejich oprav.



Obrázek 7: Vlevo – zkušební trámce po provedení zkoušky odolnosti vůči únavě (nahore trámec s výztuží, dole trámec bez výztuže s trhlinou přes celou výšku), vpravo – detail trhliny vyztuženého trámce

Tabulka 3: Vypočtené parametry ze zkoušky odolnosti vůči únavě

	Jednotka	Referenční souvrství bez výztuže	Souvrství s mříží TAV 1 SAM
Poměrné přetvoření ε_6 při 1×10^6 zatěžovacích cyklů ¹⁾	$\times 10^{-6}$ m/m	168,7	191,9
Koeficient determinace R^2	-	0,9160	0,8968
Sklon únavové přímky B	-	6,0420	6,7565
Koeficient rizika Kr	-	0,8977	0,9006
Dílčí součinitel rozptylu únavové zkoušky γ_{up}	-	1,1140	1,1104
Poměrné přetvoření $\varepsilon_{6,5}$ při 1 milionu zatěžovacích cyklů snížené o součinitel rozptylu γ_{up} ¹⁾	$\times 10^{-6}$ m/m	151,4	172,8
Teoretické zvýšení hodnoty mezního počtu opakování zatížení N při použití geomříže TAV 1 SAM	$\times 10^6$ m/m	1,00	2,44

Poznámky: ¹⁾Zkouška odolnosti vůči únavě byla prováděna při teplotě $t = 10$ °C a frekvenci $f = 10$ Hz.

$$N = 10^6 \cdot \left(\frac{\varepsilon_6}{\varepsilon_{ij}}\right)^B \quad \Delta N = 10^6 \cdot \left(\frac{\varepsilon_{6,5,\text{mříž TAV 1 SAM}}}{\varepsilon_{6,5,\text{referenční}}}\right)^B \quad \Delta N = 10^6 \cdot \left(\frac{172,8}{151,4}\right)^{6,7565} = 2,44 \cdot 10^6$$

Kde je: N mezní počet opakování zatížení (-),

ΔN teoretické zvýšení mezního počtu opakování zatížení vlivem použité geomříže,

$\varepsilon_{6,5}$ poměrné přetvoření při 10^6 zatěžovacích cyklů snižené o součinitel rozptylu (m/m),

B sklon únavové přímky: $B = -1/b$ (-).

Rovnice 1: Mezní počet opakování zatížení vozovky dle [23] s dosazením stanovených hodnot poměrného přetvoření ε_6

Závěr

Příspěvek shrnul část poznatků získaných v rámci výzkumného projektu TA ČR CK01000033 [2]. Na základě výsledků provedených zkoušek je možné formulovat tyto hlavní závěry:

- ▶ V laboratoři a také in situ byla ověřena aplikace a funkčnost sklovláknité samolepicí geomříže TAV 1 SAM pod tenkou asfaltovou vrstvou ACO 8 tl. 30 mm:
 - Bylo dosaženo velmi kvalitního spojení vrstev zkušebních těles zhutněných segmentovým zhutňovačem v laboratoři. Posuzovaná souvrství nejenže splňují minimální požadovanou hodnotu normy ČSN 73 6121 [9], ale tento požadavek také výrazně překračují.
 - Průměrná smyková síla na spojení vrstev vývrťů s geomříží při použití tenké obrusné vrstvy ACO 8 tl. 30 mm byla téměř totožná se smykovou silou na vývrtech s obrusnou vrstvou ACO 11 tl. 40 mm.
 - Byla potvrzena dřívější pozitivní zkušenost s použitím geomříže pod tenkou asfaltovou vrstvou ACO 8 ze zkušebního úseku v Soběslavi, kde bylo dosaženo vysokých hodnot smykové síly na spojení vrstev [19].
 - Souvrství s výztužnou geomříží dosáhla v porovnání se souvrstvími referenčními (bez výztuže) horšího spojení vrstev.
- ▶ Byl prokázán pozitivní účinek použití sklovláknité samolepicí geomříže TAV 1 SAM na zvýšení odolnosti souvrství vůči únavě:
 - Vlivem vyztužení došlo k nárůstu poměrného přetvoření ε_6 o hodnotu $\Delta\varepsilon_6 = 23,2$, tedy přibližně o 14 %.
 - Lze vyjádřit, že pokud by zkušební referenční těleso (bez výztužné mříže) při daném zatížení dosáhlo konce únavové zkoušky po 1 milionu zatěžovacích cyklů, těleso s geomříží TAV 1 SAM by dosáhlo konce zkoušky po cca 2,39 milionu cyklů.
- ▶ Přínos vyztužení byl dokumentován výpočtem mezního počtu opakování zatížení: použití samolepicí sklovláknité geomříže TAV 1 SAM teoreticky umožňuje zvýšení počtu přejezdů až o 144 %. Tento výsledek znamená, že asfaltová vozovka vyztužená geomříží může být schopna při stejném přetvoření a při stejných tloušťkách vrstev odolat více než dvojnásobnému počtu přejezdů těžkých nákladních automobilů.
- ▶ Je nutno zdůraznit, že kritickým momentem při používání výztužných geomříží v reálných podmínkách je jejich aplikace. Nesprávně provedená instalace těchto materiálů může vést k následným technologickým problémům a ke zhoršení spojení vrstev, což může v konečném důsledku technologii vyztužo-

vání zbytečně poškozovat. V současné době je dokončována revize technických podmínek TP 147 [5], ve kterých budou všechny aktuální poznatky o geosyntetikách zapracovány, a jak správci pozemních komunikací, tak i projektanti a zhotovitelé dopravních staveb získají aktuální nástroj pro návrh a použití výztužných prvků v konstrukci vozovky.

Závěrem je třeba dodat, že v rámci výzkumného projektu TA ČR CK01000033 [2] bylo realizováno několik zkušebních úseků s instalovanými výztužnými sklovláknitými prvky. Stav těchto úseků je nadále předmětem monitoringu a reálný přínos výztuží je tak nadále in situ ověřován.

Poděkování:

Příspěvek vznikl s finanční podporou Technologické agentury České republiky v rámci programu DOPRAVA 2020+ v rámci projektu CK01000033 „Prodloužení životnosti vozovek krajských a místních komunikací pomocí inovativních asfaltových vrstev s využitím vysokopevnostních kompozitních materiálů“ [2].

Ing. Pavel Šperka, Ph.D., VUT v Brně,

Fakulta stavební

prof. Ing. Jan Kudrna, CSc., VUT v Brně,

Fakulta stavební

Ing. Karel Spies, VUT v Brně, Fakulta stavební

Ing. Štěpán Bohuš, Ph.D.,

SAINT-GOBAIN ADFORS CZ s.r.o.

Jana Kalášková, SAINT-GOBAIN ADFORS CZ s.r.o.

Ing. Jakub Valenta, VIALIT SOBĚSLAV spol. s.r.o.

Literatura:

- [1] TP 115 Opravy trhlin na vozovkách s asfaltovým krytem. Ministerstvo dopravy Odbor infrastruktury, 2009.
- [2] TA ČR CK01000033 Prodloužení životnosti vozovek krajských a místních komunikací pomocí inovativních asfaltových vrstev s využitím vysokopevnostních kompozitních materiálů: příjemce VUT v Brně, další řešitelé Saint-Gobain Adfors s.r.o., Vialit Soběslav spol. s.r.o. (doba řešení 2020–2023).
- [3] Šperka P., Sadil D., Kudrna J., Holomek J., Bohuš Š., Valenta J. a Stoklásek S. Faktory ovlivňující kvalitu vyztužených asfaltových vrstev. Sborník Konference asfaltové vozovky 2021. Praha: PRAGOPROJEKT, a.s., 2021. ISBN 978-80-906809.
- [4] Šperka P., Kudrna J., Veselý P., Spies K., Bohuš Š. a Jakub VALENTA. Asfaltové vrstvy s výztužnými

- sklovláknitými mřížemi. Sborník Konference asfaltové vozovky 2023. Praha: PRAGOPROJEKT, a.s., 2023. ISBN: 978-80-906809-9-9.
- [5] TP 147 Užití asfaltových membrán a výztužných prvků v konstrukci vozovky. Ministerstvo dopravy, Odbor silniční infrastruktury, 2010.
- [6] Kudrna J., Šperka P., Spies K., Bohuš Š., Kalášková J. a Valenta J. Metodika k využití vysokopevnostních kompozitních materiálů pro opravy a zesilování netuhých vozovek asfaltovými vrstvami: Návrh a provedení oprav netuhých vozovek krajských a místních komunikací s využitím výztužných mezivrstev. 2024, 29 s. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací, Veveří 95, 602 00, Brno. (metodika certifikovaná uplatněná).
- [7] TP 87 Navrhování údržby a oprav netuhých vozovek. Ministerstvo dopravy, 2010.
- [8] ČSN EN 12697-48. Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 48: Spojení vrstev. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [9] ČSN 73 6121. Stavba vozovek – Hutněné asfaltové vrstvy – Provádění a kontrola shody. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [10] ČSN EN 12697-24. Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 24: Odolnost vůči únavě. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2019.
- [11] ČSN EN 13108-20 ED.2. Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 20: Zkoušky typu. Praha: Česká agentura pro standardizaci, 2018.
- [12] ŠPERKA, Pavel. Asfaltové vozovky vyztužené sklovláknitými mřížemi. Brno, 2024. Dizertační práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav pozemních komunikací. Vedoucí prof. Ing. Jan Kudrna, CSc.
- [13] Oreškovič M., Bohuš Š., Virgili A. a Canestrari F. Simplified Methodology for Fatigue Analysis of Reinforced Asphalt Systems. Online. Materials and Structures. 2024, roč. 57, č. 34, s. 1-15. ISSN 1871-6873. Dostupné z: <https://doi.org/10.1617/s11527-024-02305-1>. [cit. 2025-07-28].
- [14] EN 15381:2008. Geotextiles and geotextile-related products – Characteristics required for use in pavements and asphalt overlays. Brussels: European committee for standardization, 2008.
- [15] ČSN EN ISO 9864. Geosyntetika – Metody zkoušení pro zjišťování plošné hmotnosti geotextilií a výrobků podobných geotextiliím. Praha: Český normalizační institut, 2005
- [16] ČSN EN ISO 3146. Plasty – Stanovení tavného chování (teplota tání nebo rozsah teplot tání) semikrystalických polymerů kapilární trubici a polarizačním mikroskopem. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2022.
- [17] ČSN EN ISO 10319. Geosyntetika – Tahová zkouška na širokém proužku. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
- [18] ČSN EN ISO 10722. Geosyntetika – Indexová metoda zkoušení pro vyhodnocení mechanického poškození při opakovaném zatěžování – Poškození způsobené zrnitým materiálem (laboratorní zkušební metoda). Česká agentura pro standardizaci, 2020.
- [19] ČSN EN 13596. Hydroizolační pásy a fólie – Hydroizolace betonových mostovek a ostatních pojižděných betonových ploch – Stanovení přilnavosti v tahu. Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [20] ČSN EN 12697-33 +A1. Asfaltové směsi – Zkušební metody – Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2023.
- [21] Arsenie, I. M., Chazallon C., Duchez J.-L. a Hornych P. Laboratory characterisation of the fatigue behaviour of a glass fibre grid-reinforced asphalt concrete using 4PB tests. Road Materials and Pavement Design [online]. 2016, 18(1), 168-180 [cit. 2021-02-15]. Dostupné z: [doi:https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1163280](https://doi.org/10.1080/14680629.2016.1163280)
- [22] Fiedler J. Poznatky z vyztužování asfaltových vozovek geosyntetiky ve Francii. Silnice mosty. Praha: Sdružení pro výstavbu silnic, 2021, 2021(4), 31–35. ISSN 1804-8684.
- [23] TP 170 Navrhování vozovek pozemních komunikací. Ministerstvo dopravy České republiky, 2024.

Inzerce



Hradec Králové

18. září 2026



 RoadFest2026
 roadfest2026
www.roadfest.cz