

Prodloužení životnosti asfaltových vrstev vyztužením vlákn

CN MacDonald

KE Kaloush

TH Lang

J Zednicek

KP Biligiri

Synopsis: Vlákn

vyztužený asfaltobeton (FRAC) nabízí trojrozměrné vyztužení. Na základě pokročilých způsobů testování provedených při této studii lze potvrdit, že vlákna poskytují asfaltové směsi lepší vlastnosti, jak ukazuje prodloužená životnost a únavová odolnost. Navíc směsi FRAC prokázaly lepší odolnost proti smykovým deformacím, vyšší hodnoty modulu při vysokých teplotách a lepší odolnost proti šíření trhlin než konvenční směsi. Analýza návrhu vozovek prokázala, že při použití směsi FRAC lze dosáhnout snížení tloušťky vrstvy o 30 až 40%. Poslední případové studie se zabývají těmito přínosy a popisem použití vláken.

Klíčová slova: vlákny vyztužený asfalt, životnost, snížení tloušťky, pokročilé zkoušky materiálu

ÚVOD

Zlepšení chování asfaltových směsí je obvykle dosahováno modifikací pojiva, zvýšením tloušťky nebo nějakým typem dvojrozměrného vyztužení jako například textilie ve styku zhutněných vrstev. Některé z těchto změn pojiva ovlivňují pevnost pojiva nebo "adhezní pevnost" mezi pojivem a kostrou. Změna tloušťky ovlivňuje celkovou únosnost konstrukční vrstvy resp. vozovky. Textilie na rozhraní vrstev je dvourozměrná výztuž, která udržuje pohromadě "průběžně se zhoršující" asfaltobeton s účinností závisící na postupu trhlin vrstvou "shora dolů nebo zdola vzhůru". The fabric at the lift interface is a two-dimensional reinforcement holding the "continuing to deteriorate" asphalt concrete together with efficiency dependant upon top-down or bottom-up cracking through the thickness.

Zatímco textilie působí jako anizotropní výztuž, přidání vláken tvoří izotropické vyztužení neboli stejnou pevnost ve všech třech rozměrech. Jakmile ve konstrukční vrstvě vznikne trhlina v kterémkoliv směru, je pozlomová pevnost zvýšena díky vláknům překlenujícím trhlinu ve všech směrech. Trojrozměrné vyztužení eliminuje potřebu rozhodovat se mezi chováním vzniku trhlin shora dolů nebo zdola vzhůru nebo rozhodování o umístění výztuže.

Tajemství vyztužení téměř jakéhokoliv stavebního materiálu je historické a jednoduché; přidejte vlákna do celé hmoty materiálu a zvýšíte pevnost, houževnatost a životnost. Vlákna těží z této trojrozměrné jistoty, protože jsou pevná a chemicky inertní a jsou materiálem, který se v asfaltových směsích rozmíchává rychle a rovnoměrně v celé hmotě. Jakmile jsou rozmíchána, vlákna působí jako výztuž pro pojivo a směs a poskytují zlepšení při odstraňování problémů stability, ke kterým u konvenčních asfaltových povrchů často dochází.

DATA Z TESTŮ A APLIKACÍ

Vlákna byla od počátku historie tohoto produktu v roce 1982 podrobena rozsáhlému výzkumu. Ačkoliv bylo získáno značné množství dat z konvenčních laboratorních výzkumných programů, množství cenných informací pochází i ze zkoušek vzorků vyrobených z materiálu odebraného ze skutečných aplikací. Navíc, pokroky ve zkouškách charakteristik materiálů v silničářském oboru si vyžádaly provést komplexní laboratorní zkušební program vlákný vyztužených asfaltových směsí.

VÝZKUM ARIZONA STATE UNIVERSITY 2008

Ve spolupráci mezi FORTA Corporation a City of Tempe, Arizona, byl položen v Evergreen Drive (East of the Loop 101 and North of University Drive) v Tempe, Arizona povrch z asfaltové směsi. Na vybraném úseku stavby byly použity dvě hlavní asfaltové směsi: kontrolní směs bez přidání vláken a směs, která obsahovala 0,45 kg vláken

na 907 kg směsi (1 libru na jednu tunu směsi). Směsi pro zkoušky byly odebrány v průběhu stavby a dodány do laboratoří Arizona State University (ASU). Příprava směsi zahrnovala zhutnění rotačních vzorků o průměru 150 mm pro trojrozměrné testování a výrobu trámeků připravených a zhutněných dle předpisu protokolu AASHTO TP8. Požadovaná úroveň mezerovitosti ve zkušebních vzorcích odpovídala úrovni typicky dosahované na stavbách (asi 7%). Maximální objemová hmotnost (nezhutněná objemová hmotnost) byla stanovena pro směs stejně jako tloušťka a zhutněná objemová hmotnost změřená při přípravě zkušebního programu. Laboratorní program zkoušek a experiment zahrnoval: trojrozměrnou smykovou pevnost, dynamický (komplexní) modul a opakovanou zátěž pro charakterizování trvalých deformací; stanovení ohybové pevnosti a tuhosti na trámečku s vlivem na únavové chování; pevnost v přímém tahu na válcových tělesech pro stanovení vzniku teplotních (mrazových) trhlin; zkouška hodnotící šíření trhlin. Získaná data byla použita pro porovnání chování vláknky vyztužené směsi s kontrolní směsí. Tento dokument pro stručnost pojednává pouze o trojrozměrové smykové pevnosti, dynamickém modulu a šíření trhlin.

LABORATORNÍ ZKOUŠKY, VÝSLEDKY A ANALÝZA

Test trojrozměrové smykové pevnosti

Testy trojrozměrové smykové pevnosti byly provedeny pro směs FRAC I pro kontrolní směs. Testy byly prováděny na válcových vzorcích o průměru 100 mm a výšce 150 mm při 54,4°C (129,9°F) (NCHRP 465, 2002).. Vzorky byly zatěžovány osově až do destrukce nárůstem rychlosti zatěžování 1.27 mm/mm/minuta (0.05 in./in./minute). Na obrázku 1 je příklad srovnání testů provedený pro obě směsi při 138-kPa (20 psi) bočního tlaku. Na grafech jsou hodnoty před a po špičkovém zatížení. U směsi FRAC bylo zjištěno, že maximální zatížitelnost a doba, kdy k ní došlo, byly vyšší ve srovnání s hodnotami u kontrolní směsi, chování připisované vlivu vláken ve směsi. Toto dodatečné vyztužení asfaltové směsi při odolávání vzniku trvalých deformací a oddálení smykové destrukce poskytla směsi vlákna. Navíc celkové plochy pod křivkou testovaných směsí naznačují zbytkovou energii směsi při odolávání šíření trhliny po špičkovém zatížení. Při všech testech vykazovala vlákny vyztužená směs vyšší zbytkovou energii než kontrolní směs. Viz Obr. 1 – Porovnání Zatížení – Čas při 138 kPa (20 psi) bočního tlaku.

E* Dynamic Modulus Test

Dynamický Modul E* kontrolní směsi a směsi s vlákny byl určen podle normy AASHTO TP 62-03 (AASHTO TP 62-03). Pro každou směs byly testovány tři vzorky o průměru 100 mm (4-in.) a výšce 150 mm (6-in.) při -10, 4.4, 21, 37.8 a 54.4 °C (°F), a zatěžovacích frekvencích 25, 10, 5, 1, 0.5, a 0.1 Hz. Na Obrázku 2 jsou přímá srovnání hodnot E* pro vybrané zkušební teploty 4.4, 37.8 a 54.4 °C (14, 40, 70, 100, 130 °F) a zatěžovací frekvenci 10 Hz. Bylo zjištěno, že modul směsi s vlákny byl vyšší než modul kontrolní směsi a proto hraje pozitivní roli při odolávání deformacím. Viz Obrázek 2. Porovnání naměřených hodnot dynamického modulu při 10 Hz.

Šíření trhliny - C* Line Integral Test

C* is an energy rate or power integral test property. C* can be calculated using a power rate interpretation as follows (Abdulshafi, 1983, Abdulshafi and Kaloush, 1988):

$$C^* = - \frac{\partial U^*}{\partial a}$$

Where U* is the power or energy rate defined for a load p and displacement u by:

$$U^* = \int_0^u p du$$

Z rotačních válců byly připraveny diskové vzorky. Do každého vzorku byla vyříznuta pravoúhlá drážka do níž byl vtláčen zatěžovací nástroj, jak je vidět na Obr. 3 (a). Testy byly prováděny při teplotě 21.1 °C (70 °F). Zatížení bylo aplikované při konstantní rychlosti pohybu a u každého vzorku byla měřena délka trhliny v závislosti na čase. Pro FRAC I pro kontrolní směs byla použita rychlost zatěžování 0.127, 0.254, 0.381, 0.508, a 0.635 mm/min. Data byla použita pro stanovení zátěže jako funkce rychlosti pohybu pro různé délky trhliny. Velikost deformační energie byla stanovena jako plocha pod deformační křivkou. Deformační energie, pak byla vyhodnocena v závislosti na délce trhliny pro různé rychlosti zatěžování. C*-integral byl zakreslen jako funkce rychlosti posunu a konečně hodnoty C* integral byly vyneseny v závislosti na rychlosti šíření trhliny jak je naznačeno na Obrázku 3 (b). Z tohoto obrázku je zřejmé, že hodnoty C* u směsi s vlákny jsou ve srovnání s kontrolní směsí o mnoho vyšší. To naznačuje, že směs FRAC má mnohem vyšší odolnost proti šíření trhliny. Zcela jedinečné bylo pozorování, že u směsi FRAC nikdy nedošlo k úplnému roztržení vzorku a bylo velmi obtížné je po vyjmutí z přístroje roztrhnout ručně. Většina vzorků z kontrolní směsi se na konci testu roztrhla. Typické uspořádání testu C* je klínová výseč vyříznutá do vzorku a měření šíření trhliny ve vrcholku výseče jako hrubá forma zkoušky tuhosti pro vlastnosti mechaniky trhlín.

NÁVRHOVÁ TLOUŠŤKA OBRUSNÉ VRSTVY

Výsledky laboratorních testů byly použity jako vstupy do počítačového programu Mechanistic Empirical Pavement Design Guide (MEPDG) (Guide for MEPDG, 2004). Cílem bylo předpovědět skutečné chování směsi podle MEPDG a vyhodnotit jeho dopady na různé návrhové tloušťky obrusné vrstvy. Pro každou z kontrolních a FRAC směsí bylo provedeno 10 simulací při následujících podmínkách:

- Dvě úrovně zátěže, 1500 a 7000 průměrných denních pohybů (Annual Average Daily Traffic AADT), představujících střední a vysokou úroveň provozu.
- Pět tlouštěk vrstvy asfaltobetonu (Asphalt Concrete AC), od 50 do 150 mm (2 to 6 in.) na podkladové vrstvě o konstantní tloušťce 200 mm (8 in.).
- Klimatické podmínky: Phoenix, Arizona, USA
- Návrhová životnost: 10 let

Poškození vyhodnocované na výstupu bylo vyjíždění kolejí a únavové trhliny. Trendy vztahu mezi vznikajícími poškozeními a tloušťkou byly pro obě tloušťky velmi podobné ale v různé velikosti. Na Obr. 4 (a) je vztah mezi celkovým vyjetím kolejí a tloušťkou pro obě směsi při 7000 AADT (~50 milion ESALs). Je zřejmé, že pro dosažení stanoveného kritéria - hloubka kolejí nepřesahující 10 mm za návrhovou dobu životnosti 10 let byla potřebná tloušťka obrusné vrstvy z kontrolní směsi 140 mm, zatímco pro směs FRAC

by byla pouze 90 mm; úspora celkové tloušťky asfaltobetonu o 50 mm.. Na Obr. 4 (b) je vznik únavových trhlin propočtený MEPDG. Výsledky ukazují podobné trendy v tom, že pro směs FRAC je předpovídán nižší vznik únavových trhlin. Výsledky jsou, jak je ukázáno, rovněž závislé na tloušťce vrstvy AC. To souhlasí s informací v manual MEPDG, kde pro velmi tenké systémy obrusných vrstev AC nejsou únavové trhliny považovány za problém v důsledku tlačného charakteru namáhání ve vrstvě AC (Guide for MEPDG, 2004). Viz Obr. 4 (a) Vyhodnocení deformací vozovky s použitím Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, (b) Vyhodnocení únavových trhlin Pavement s použitím Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide. Tyto výsledky byly zveřejněny a jsou využívány zákazníky při projekci.

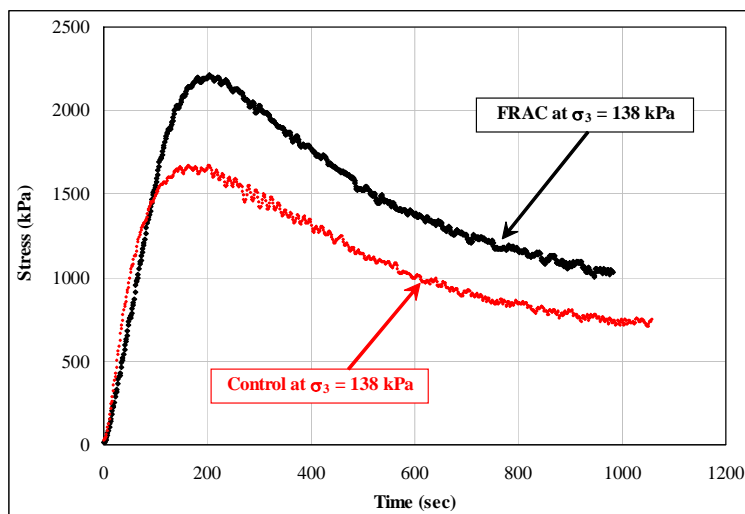
ZÁVĚRY

Výsledky laboratorních testů v této studii ukázaly, že použití vláken v asfaltové směsi zlepšuje chování několika jedinečnými způsoby. Směsi FRAC prokázaly lepší odolnost proti vzniku smykových deformací. Naměřené hodnoty Dynamického modulu E^* byly pro směs FRAC vyšší. Při teplotě 54.4 °C (130 °F), byl nárůst modulu 50%. Vztah mezi rychlostí šíření trhliny a hodnotami velikosti integrálu C^* ukázal, že směs FRAC měla asi 40x vyšší odolnost proti šíření trhliny než kontrolní směs. Analýza návrhu vozovky prokázala, že s použitím FRAC směsi lze dosáhnout snížení tloušťky asfaltového betonu o asi 30 až 40%. Tato hodnota se mírně měnila v závislosti na hustotě provozu použité v analýze.

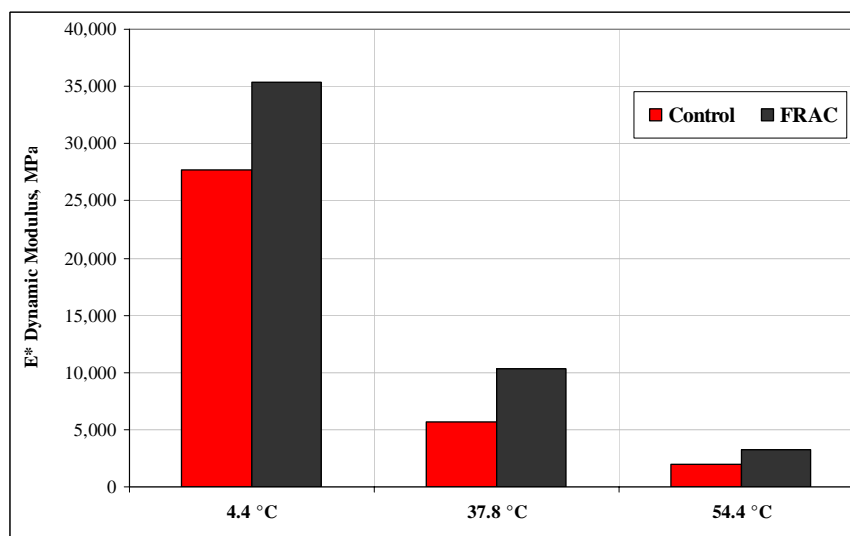
Sledované aplikace (pokusné úseky) byly provedeny na letištích, komunikacích v obytné zástavbě, vzletových a přistávacích drahách a také jako preventivní opatření na rampách podzemních parkovišť.

Reference

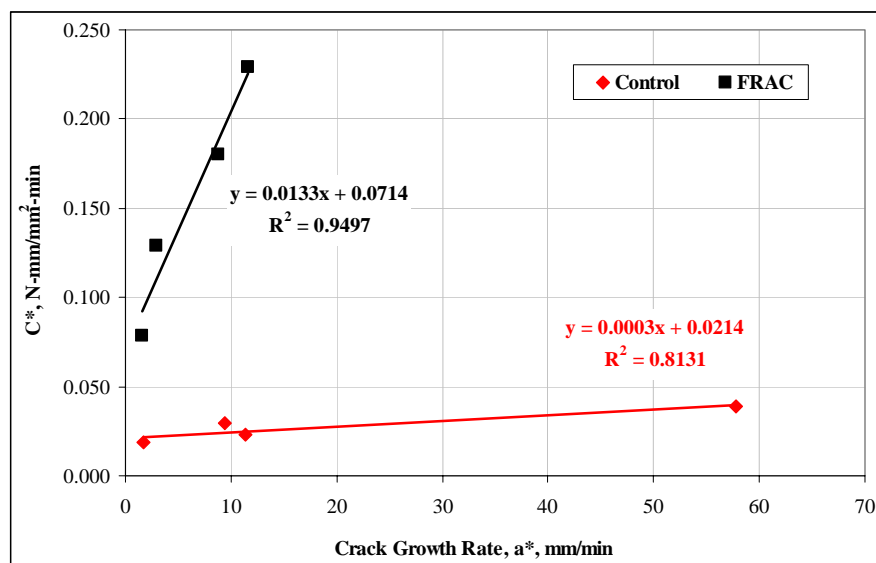
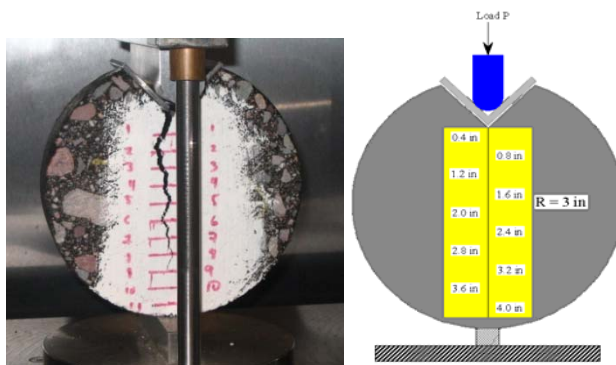
1. AASHTO Designation: TP 62-03 (2006). Determining Dynamic Modulus of Hot-Mix Asphalt Concrete Mixtures, AASHTO Provisional Standards, July 2006 Edition.
2. Abdulshafi, O., (1983). "Rational Material Characterization of Asphaltic Concrete Pavements," Ph.D. Dissertation, the Ohio State University, Columbus, OH, 1983.
3. Abdulshafi, A. and K.E. Kaloush (1988). "Modifiers for Asphalt Concrete", ESL-TR-88-29, Air Force Engineering and Services Center, Tyndall Air Force Base, Florida, 1988.
4. Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Final Report. NCHRP, National Research Council, Washington, D. C., March 2004.
5. Witczak, M. W., Kaloush, K. E., Pellinen, T., El-Basyouny, M., & Von Quintus, H. (2002). Simple Performance Test for Superpave Mix Design. NCHRP Report 465. Transportation Research Board. National Research Council. Washington D.C.



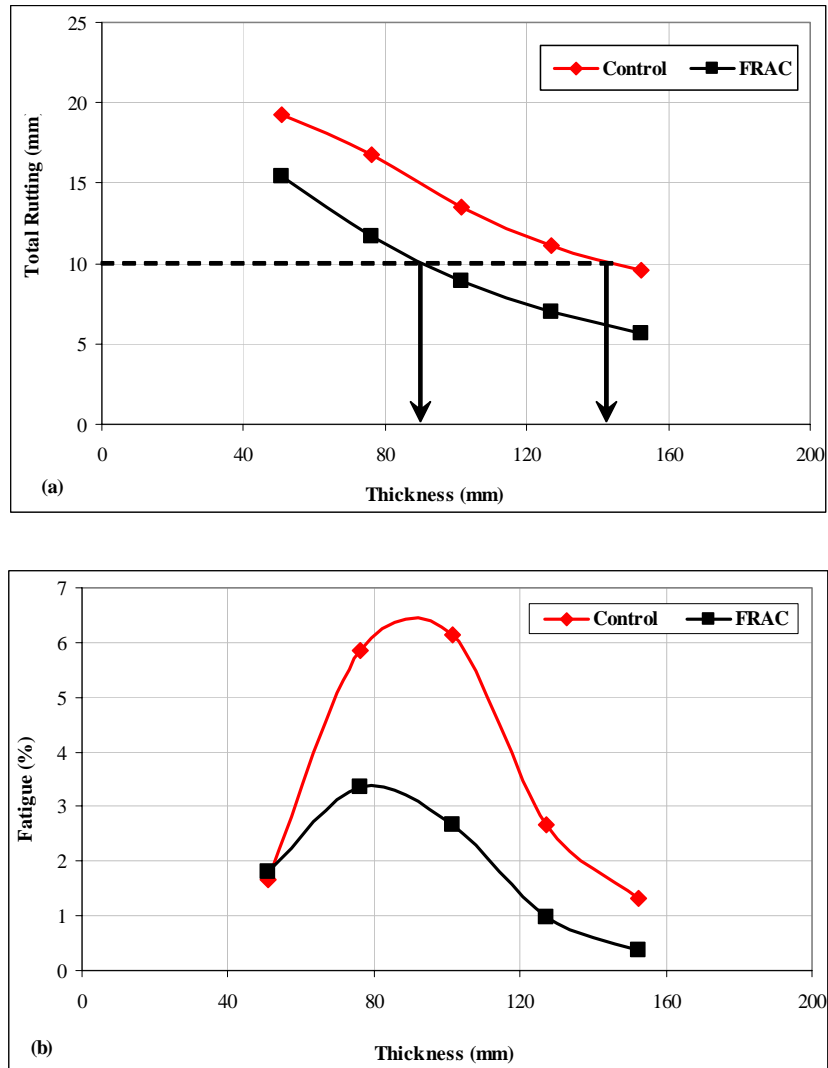
Obrázek 1. Porovnání grafů zatížení – čas při bočním tlaku 138 kPa (20 psi)



Obrázek 2. Porovnání naměřených hodnot dynamických modulů při 10 Hz.



Obrázek 3. (a) Typické uspořádání testu C^*
 (b) porovnání C^* Line Integral s rychlostí šíření trhliny



Obrázek 4 (a) Vyhodnocení deformací vozovky pomocí Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide
 (b) Vyhodnocení únavových trhlin vozovky pomocí Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide.