

Evaluation of FORTA Fiber-Reinforced Asphalt Mixtures Using Advanced Material Characterization Tests – Evergreen Drive, Tempe, Arizona.

Prepared by

Kamil E. Kaloush, Ph.D., P.E.

Associate Professor

**Krishna P. Biligiri, Waleed A. Zeiada, Carolina Rodezno, Smita Dwivedi, Jordan
Reed, and Carlos Cary**

Graduate Research Associates

Submitted to

**FORTA Corporation
100 Forta Drive
Grove City, PA 16127-9990**

September 2008



ARIZONA STATE UNIVERSITY

**IRA A. FULTON SCHOOL OF ENGINEERING
Department of Civil and Environmental Engineering
Tempe, AZ 85287-5306**

Report # 200903AT101



VÝZKUM ASFALTOVÝCH SMĚSÍ VYZTUŽENÝCH VLÁKNY FORTA-FI

Arizona State University 2008

Závěry (Překlad)

11.2.1 Popis pojiva

- Pro získání informací, které doplní informace o vlastnostech asfaltových směsí jako jsou únavové trhliny a trvalé deformace byly provedeny zkoušky konzistence pojiva.
- Konvenční testy konzistence (penetrace, bod měknutí a viskozita) byly provedeny s čistým, novým pojivem a se dvěma modifikovanými pojivy FORTA (ekvivalent 0,5 a 1,0 kg vláken na tunu směsi) pro zjištění zda existují nějaké jedinečné charakteristiky nebo obtíže se zpracovatelností.
- Modifikační proces byl proveden pouze s použitím polypropylenových vláken. Byly provedeny testy v širokém rozsahu teplot podle obecně přijatých postupů ASTM (Americká společnost pro zkušebnictví a materiály – American Society for Testing and Materials).
- Nebyly zjištěny žádné problémy s manipulací při přidávání a míchání polypropylenových vláken. Na základě výsledků testů a analýzy lze říci, že citlivost viskozity na teplotu při nižších teplotách neprokázala proti původnímu čistému pojivu žádné změny, což je pozitivní a žádoucí.
- Při vysokých teplotách byly zjištěny zlepšené vlastnosti, zejména vyšší viskozita proto je modifikované pojivo méně náchylné ke změnám viskozity s rostoucí teplotou.

11.2.2 Triaxiální test smykové pevnosti

- Triaxiální testy byly provedeny při 54,4°C. Tyto testy poskytly standardní parametry koheze a vnitřního tření směsí.
- Při porovnání tří směsí, prokázaly směsi vyztužené vlákny ve srovnání s kontrolní směsí vyšší hodnoty „c“. Směs vyztužená 1,0 kg vláken na jednu tunu směsi měla nejvyšší hodnoty koheze díky vyztužujícímu vlivu vláken.
- Asfaltová směs s dávkou 0,5 kg vláken na 1 tunu směsi poskytla podle triaxiálního testu smykové pevnosti nejlepší užité vlastnosti.
- Obě vlákna vyztužené směsi prokázaly ve srovnání s kontrolní směsí vyšší zbytkovou energii. To ukazuje, že vlákna vyztužené směsi mají vyšší odolnost proti šíření trhlin než směsi bez vláken.

1.2.3 Testy trvalých deformací

Statické tečení / Flow Time Test

- Testy statického tečení byly provedeny pouze bez bočního tlaku a byly použity nejméně dva identické vzorky z každé směsi. Pro všechny vzorky byla použita zatěžovací síla 105 kPa. Testy byly provedeny při teplotě 54,4°C.
- Pro všechny testy byly použity válcové vzorky o průměru 100 mm a výšce 150 mm.
- Při srovnání s kontrolní směsí byly u vláken vyztužených směsí zjištěny dvě důležité charakteristiky. Jednou byla výdrž v sekundární fázi a druhou postupná (nižší) akumulace trvalého přetvoření za bodem terciárního tečení. Obě tyto charakteristiky jsou připisovány přítomnosti aramidových vláken ve směsi, protože takovéto chování není u konvenčních směsí obvykle pozorováno.

eMZet s.r.o.

Sídlo: Pod Beránkou 31, 160 00 Praha 6, Czech Republic

Kancelář / pošt. adresa / Office / Mailing address: Evropská 112, 160 00 Praha 6, Czech Republic

Tel. (+420) 233 32 14 28, 33 32 15 48 – 50, Fax (+420) 233 32 43 78, e-mail emzet@emzet.cz

www.emzet.cz



- Vlákny vyztužené směsi měly vyšší hodnoty doby tečení než kontrolní směs (více než 9x u směsi s 0,5 kg / t a 5x u směsi s 1,0 kg / t). To ukazuje, že vlákny vyztužená směs má potenciál lépe odolávat trvalým deformacím než kontrolní směs. Přesto byla u vlákní vyztužených směsí zjištěn velká variabilita hodnot doby tečení v rámci jedné směsi. Důvodem může pravděpodobně být nehomogenní rozmíchání a orientace vláken ve směsi.
- Výsledky parametru křivky tečení ukázaly, že kontrolní směs měla 7x strmější křivku tečení než směs s 0,5 kg / t a 3x strmější než směs s 1,0 kg / t. Vyšší hodnoty křivky ukazují vyšší náchylnost směsi ke vzniku trvalých deformací.

Test tečení při opakované zátěži

- Testy tečení při opakované zátěži byly provedeny pouze bez bočního tlaku a byly použity nejméně tři identické vzorky z každé směsi. Pro všechny vzorky byla použita zatěžovací síla 105 kPa. Testy byly provedeny při teplotě 54,4°C.
- Pro všechny testy byly použity válcové vzorky o průměru 100 mm a výšce 150 mm.
- Obdobně jako u testu Flow Time prokázaly i v testu Flow Numer směsi vyztužené vlákny ve srovnání s nevyztuženou směsí výdrž v sekundární fázi a postupnou (nižší) akumulaci trvalého přetvoření za bodem terciárního tečení. Obě tyto charakteristiky jsou připisovány přítomnosti aramidových vláken ve směsi, protože takovéto chování není u konvenčních směsí obvykle pozorováno.
- Číslo tečení (FN – Flow Number) směsi s 0,5 kg / t bylo 11,5x vyšší než u kontrolní směsi a u směsi s 1,0 kg / t 20x vyšší. Směsi s vlákny měly však vyšší variabilitu výsledků než nevyztužená směs, což může být pravděpodobně důsledkem nehomogenního rozmíchání vláken ve směsi.
- Výsledky křivky trvalého přetvoření ukázaly, že křivka kontrolní směsi je strmější než křivka směsí vyztužených vlákní. Vyšší strmost křivky ukazuje náchylnost směsi k trvalým deformacím. Obě směsi (0,5 kg / t a 1,0 kg / t) měly přibližně stejné hodnoty strmosti křivky.
- Kontrolní směs měla strmější křivku přetvoření v porovnání s vlákny vyztuženými směsmi. Směs s 0,5 kg / t měla strmější křivku přetvoření než směs s 1,0 kg / t. Nižší hodnoty křivky přetvoření v průběhu terciární fáze (když došlo k porušení vzorku v důsledku vyššího smykového napětí) znamenají že směs má vyšší potenciál odolat tomuto smykovému porušení a má nižší úroveň trvalých deformací v průběhu této fáze.
- Výztuž vlákny a zejména aramidovými vlákny poskytuje asfaltové směsi jedinečnou odolnost proti smykovým poruchám za bodem terciárního tečení. To bylo zjevné ze sledování chování vlákní vyztužených směsí v terciární fázi trvalých deformací. S plošší křivkou přetvoření jsou vlákny vyztužené směsi schopny absorbovat vyšší energie než konvenční směsi před i v průběhu terciárního tečení.

11.2.4. Test na Dynamický (komplexní) modul

- Pro test E* byla použita zkušební metoda NCHRP 1-37A. Z každé směsi byly pro test připraveny nejméně tři identické vzorky. Pro každý vzorek byl test E* proveden při teplotách -10, 4.4, 21.1, 37.8 a 54.4°C a zatěžovací frekvence 25, 10, 5, 1, 0,5 a 0,1 Hz.
- Pro referenční teplotu 21.1°C byly pro všechny směsi s použitím principy superpozice čas-teplota spočteny křivky E*
- Moduly směsi 0,5 kg / t byly vyšší než u kontrolní směsi, což ukazuje, že vlákna zvyšují modul směsi a tím i její odolnost proti trvalým deformacím. Naproti tomu směs s 1,0 kg / t neprokázala oproti směsi bez vláken žádné zlepšení. Tyto výsledky naznačují, že směs s 0,5 kg / t je nejlepší nebo optimální pro zlepšení modulu.

eMZet s.r.o.

Sídlo: Pod Beránkou 31, 160 00 Praha 6, Czech Republic

Kancelář / pošt. adresa / Office / Mailing address: Evropská 112, 160 00 Praha 6, Czech Republic

Tel. (+420) 233 32 14 28, 33 32 15 48 – 50, Fax (+420) 233 32 43 78, e-mail emzet@emzet.cz

www.emzet.cz



- Poměry modulu směsi 1,0 kg / t ve vztahu ke kontrolní směsi byly vždy nižší. Použití takové dávky vláken (1,0 kg / t) může být žádoucí pro podmínky nízkých teplot, ale nemusí poskytovat žádné dodatečné výhody pro chování za vyšších teplot.

11.2.5. Testy únavových trhlin

Pro vyhodnocení únavového chování směsí s vlákny FORTA FI byly provedeny testy ohybové pevnosti při konstantním přetvoření podle postupů AASHTO TP8 a SHRP M-009. Na základě analýzy výsledků testů byly učiněny následující závěry:

- Generalizované únavové modely poskytly výbornou přesnost pro kontrolní směs a směs s 0,5 kg / t zatímco přesnost pro směs s 1,0 kg / t byla jen přijatelná.
- Při porovnání počáteční tuhosti směsí s vlákny za všech zkušebních teplot bylo zjištěno, že vlákny vyztužené směsi vykazovaly ve srovnání s kontrolní směsí mírně vyšší hodnoty tuhosti při teplotách 4,4°C a 21,1°C zatímco při teplotě 37,8°C měly směsi s vlákny počáteční tuhost 1,7x vyšší než kontrolní směs.
- Porovnání únavové životnosti směsí s vlákny FORTA při nižších a vyšších úrovních přetvoření: Při úrovni 150 mikro přetvoření (nižší úroveň přetvoření) prokázaly obě vlákny vyztužené směsi při různých zkušebních teplotách vyšší únavovou životnost než kontrolní směs. To platí zejména pro směs s 0,5 kg / t. Při úrovni 200 micro-strain prokázala nejvyšší únavovou životnost směs s 1,0 kg / t.

11.2.6 Test pevnosti v tahu za ohybu (Flexural strength)

- Zlepšení pevnosti v tahu za ohybu a upravené pevnosti v tahu za ohybu u směsi 0,5 kg / t bylo 14%, resp. 25%. Opačný efekt byl zjištěn u směsi s 1,0 kg / t, kde obě hodnoty poklesly, patrně v důsledku přílišného množství vláken ve směsi. Závěr je, že optimální dávka vláken ve vztahu k vlastnostem při ohybovém namáhání je 0,5 kg / t.
- U výsledků byla zjištěna vysoká variabilita, zejména u směsí s vlákny. Tato variabilita je důsledkem variabilní distribuce a orientace vláken ve vzorcích.

11.2.7. Nepřímá příčná tahová pevnost

- Oba testy nepřímých tahových trhlin (pevnost a tečení) byly provedeny podle postupu popsaného v návrhu protokolu pro testy nepřímé příčné tahové pevnosti pro Mechanisti Empirical Pavement Design Guide. Testy byly provedeny při třech teplotách: 10, 0 a -10°C.
- Při porovnání kontrolní a vlákny vyztužených asfaltových směsí zhutněných na stejnou mezerovitost bylo zjištěno, že směs s 1,0 kg / t měla při vyšší teplotě větší odolnost tečení než směs s 0,5 kg / t i než směs kontrolní. I v oblasti nejnižších teplot měla směs s 1,0 kg / t vyšší odolnost tečení než směs s 0,5 kg / t a směs bez vláken byla nejnižší.
- Pevnost v tahu se u všech směsí s poklesem teploty zvyšovala. Při porovnání výsledků tahové pevnosti kontrolní směsi s oběma vlákny vyztuženými směsmi bylo zjištěno, že vlákny vyztužené směsi měly 1,5x vyšší pevnost než kontrolní směs. Tradičně se u směsí s nižší tahovou pevností očekává vyšší vznik mrazových trhlin. Vlákna ve směsi mají pro odolnost proti mrazovým trhlinám zcela zásadní roli. Mezi oběma směsmi vyztuženými vlákny (0,5 kg / t a 1,0 kg / t) nebyl významný rozdíl.

- Při 50°F (nejvyšší teplota) byla u směsi s 1,0 kg / t zjištěna vyšší tahová pevnost než u směsi s 0,5 kg vláken a u kontrolní směsi. Bylo zjištěno, že přetvoření u směsi s 1,0 kg vláken bylo asi o 35% vyšší než u druhých dvou směsí. Při teplotě 0°C nebyl rozdíl mezi vlákny vyztuženou a kontrolní směsí významný (okolo 15%). Při nejnižší zkušební teplotě (-10°C) byl rozdíl mezi směsmi okolo 10%. Obecně lze říci že čím vyšší byla tahová pevnost naměřená při selhání vzorku, tím méně je směs náchylná ke vzniku mrazových trhlin.
- Obě vlákny vyztužené směsi vykazovaly velmi podobné trendy vztahu teplota – energie. Špičková energie při selhání byla naměřena při nejvyšší teplotě a nejnižší energie byla zjištěna při teplotě -10°C. Při nejvyšší teplotě 24,4°C vykazala nejvyšší energii směs s 1,0 kg vláken, následovaná směsí s 0,5 kg vláken. Při nižších teplotách (0°C a -10°C) byly rozdíly energie u obou vláken vyztužených směsí nevýznamné. Při porovnání vláken vyztužených směsí s kontrolní směsí měly směsi s vlákny v průměru dvojnásobnou energii než směs kontrolní.
- Lomová energie se s růstem teploty u všech směsí snižovala. Při nejvyšší teplotě vykazala nejvyšší lomovou energii směs s 2,0 kg vláken, následovaná směsí s 0,5 kg vláken a teprve poté kontrolní směsí. Při nejbližší nižší teplotě 0°C měly obě směsi s vlákny velmi podobné celkové lomové energie ale asi 2x vyšší než kontrolní směs. Stejný trend výsledků lomové energie jaký byl zjištěn při teplotě 0°C byl zjištěn i při nejnižší teplotě -10°C. Při této teplotě (-10°C), kde náchylnost ke vzniku a šíření mrazových trhlin je nejvyšší, bylo zjištěno, že směsi vyztužené vlákny měly vyšší hodnoty energie než kontrolní směs. Obecně, při vyšší lomové energii nebo energii při selhání vzorku lze očekávat menší vznik mrazových trhlin.

11.2.8 Šíření trhlin – C* Integral

Pro všechny tři směsi byly zjištěny vztahy mezi rychlostí šíření trhlin a hodnotami C* i sklony křivky šíření trhlin. Bylo zjištěno, že vlákny vyztužené směsi a zejména směs s 1,0 kg vláken měly vyšší C* a hodnoty sklonu než kontrolní směs. To znamená, že vlákny vyztužené asfaltové směsi mají vyšší potenciál odolávání šíření trhlin díky vyztužovacímu efektu aramidových vláken. Zároveň, čím vyšší obsah vláken, tím lepší odolnost směsi proti šíření trhlin.

11. 2. 9 Extrakce vláken z asfaltových směsí

- Tato omezená speciální studie prokázala úspěšný proces zpětné extrakce vláken ze asfaltové směsi.
- Obsah asfaltového pojiva pro obě směsi s 0,5 kg vláken byl téměř identický, ale nižší než obsah podle receptury (asi o 6%). Složení a poměry složek kameniva bylo v mezích tolerance dané předpisem směsi.
- Obsah vláken ve směsi č. 2 byl asi o 0,3 g vyšší. Tento rozdíl byl považován za příčinu velkých rozdílů v testu Tokového čísla. Tokové číslo vzorku č. 2 bylo téměř o 100 000 zatěžovacích cyklů vyšší než u vzorku 1
- 0,3 g vláken může být malá hodnota z pohledu váhy, ale rozdíl v počtu vláken na daný objem je významný.
- Rozdíl množství vláken mezi vzorky s 0,5 kg a 1,0 kg / t byl při procesu extrakce pozorovatelný.