

České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební

Czech Technical University in Prague, Faculty of Civil Engineering

Doc. Ing. Jan Krňanský, CSc.

Perspektivy využití nanotextilií na bázi polymerů ve stavebnictví

Prospects of using polymer based nanotextiles in building industry

Summary

The building industry is very conservative branch of industry. But, we can see start of nanotechnology applications within a last ten years. One of hopeful application is using nanotextile materials (non-woven textiles made from polymer based nanofibres). It is possible to produce these materials in the industrial scale now. The special technology for these purposes (version of electrospinning) called Nanospider was developed on TU Liberec by the Prof. Jirsák team.

Based on present known applications and experiences, utilization of well known barrier properties of nanotextiles can be expected (the barrier properties can be driven in large scale). Another field of possible application appears at surface protection of materials, based on the silicate bonds. Very fine nanotextile structure enables to slow down the surface drying. That process has fundamental meaning for quality of the surface hydration, e.i. durability these layers. In addition, it is possible some micro inclusions incorporate into nanofibrous web, bond particles for example. Very soft nanofibrous structure enables then to organize by certain way the nucleation geometry. At last, the microparticles of some anti-corrosive substances can be incorporated into nanofibrous web. The web itself serves as a carrier of the substance only. The nanofibres can be produced from water-soluble material (gelatin for example). After application of nanotextile (with particles) on the surface of fresh material (concrete, plaster etc) the web disappears and incorporated particles creates 2D anti corrosive layer on the material surface. So, we can actively protect surfaces of silica bond materials against aggressive components of ground water, city atmosphere etc.

The nanotextiles are - in some fields - the materials with extremely high output/mass ratio. The typical square weight is several grams or several tenths of grams. So, it can be expected the nanotextiles achieve not only due to their specific technical properties, but also due to relatively good price position.

Souhrn

V posledním desetiletí začínají i do tak konzervativního oboru jako je stavebnictví pronikat nanotechnologie a jejich produkty. Jednou z nadějných aplikací ve velkém stavebnictví se ukazuje i používání nanotextilních materiálů. Nanotextilní materiály je nyní možné průmyslově vyrábět elektrostatickým zvlákňováním (elctrospinning) polymerů. Autorem technologie použitelné pro průmyslovou výrobu je kolektiv prof. Jirsáka z TU v Liberci (technologie Nanospider).

Na základě dosavadních známých aplikací a zkušeností se dá očekávat, že ve stavebních konstrukcích budou využitelné velmi dobře ovlivnitelné bariérové vlastnosti nanotextilních struktur. Jako další možná oblast využití se ukazuje být ochrana povrchů konstrukcí na bázi silikátových pojiv. Jemná struktura nanotextilie umožňuje řídit (zpomalovat) časový průběh vysychání povrchů, což zásadně ovlivňuje kvalitu hydratace povrchových vrstev a tím přeneseně i jejich životnost. Do struktury nanotextilie lze navíc zabudovat i mikročástice pojiva (např. cementu). Velmi jemná struktura nanotextilie potom nabízí možnost jistým způsobem „organizovat“ geometrii nukleace a tím aktivně ovlivňovat i samotnou kvalitu povrchů materiálů na bázi silikátových pojiv. Konečně, do struktury nanotextilie nebo přímo do samotného vlákna lze integrovat mikro resp. nanočástice různých kovů nebo jejich oxidů. Pokud se použije vodorozpustná polymerní báze (např. želatina), lze pomocí nanotextilie dopravit na povrchy konstrukcí částice, které po rozpuštění nanotextilie vytvoří „pokovení“ povrchu. Při vhodné volbě kovů nebo jejich oxidů je možné tímto způsobem ochránit povrchy proti agresivním složkám prostředí.

Nanotextilie jsou v určitých směrech materiály s extrémně vysokým výkonem v porovnání s neobyčejně malou spotřebou materiálu. Běžná plošná hmotnost nanotextilií na bázi polymerů se totiž pohybuje v řádech jednotek až desítek gramů na metr čtvereční. Lze proto očekávat, že se tyto materiály prosadí do stavební praxe nejen díky svým specifickým technickým vlastnostem, ale také díky relativně příznivé ceně.

Klíčová slova: nanovlákná, nanotextilie, elektrostatické zvlákňování, elektrostatické rozprašování, bariérové vlastnosti, filtrace, inkluze v nanotextilii, kompozitní struktury, ochrana povrchů hmot na bázi silikátových pojiv

Key words: nanofibres, nanotextiles, electrospinning, electrospraying, barrier properties, filtration, nanotextile inclusions, composite structures, surface protection of silica bond based materials

České vysoké učení technické v Praze

Název: Difúzně otevřené konstrukce dřevostaveb

Autor: Doc. Ing. Jan Krňanský, CSc.

Počet stran: 22

Náklad: 150 výtisků

© Jan Krňanský, 2009

ISBN

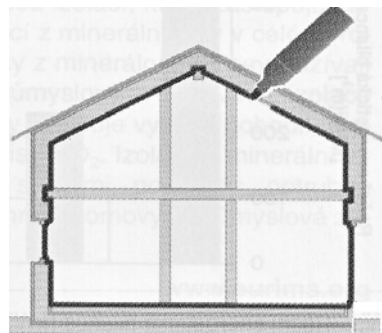
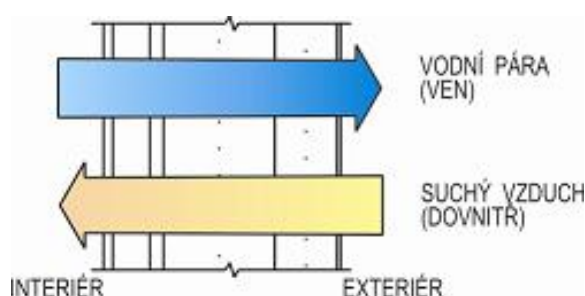
OBSAH

1. KONSTRUKČNÍ CESTA K NANOTEXTILIÍM	6
PROBLÉM KONSTRUOVÁNÍ DIFÚZNĚ OTEVŘENÝCH PLÁŠŤŮ	6
TECHNOLOGIE VÝROBY BARIÉROVÝCH MEMBRÁN	6
EKVIVALENTNÍ DIFÚZNÍ TLOUŠTKY MATERIÁLŮ DOSTUPNÝCH NA TRHU	7
2. NANOTEXTILIE NA BÁZI POLYMERŮ	8
TECHNOLOGIE VÝROBY	8
TECHNOLOGIE NANOSPIDER	9
SOUČASNÉ APLIKACE NANOTEXTILIÍ	11
3. PERSPEKTIVNÍ SMĚRY VÝVOJE NANOTEXTILIÍ	12
KOMPOZITNÍ VLÁKNA	12
KOMPOZITNÍ STRUKTURY	12
KOMBINOVÁNÍ TECHNOLOGIÍ ELEKTROSTATICKÉHO NANÁŠENÍ	13
SPECIFICKÉ POLYMERNÍ BÁZE	14
4. PERSPEKTIVY APLIKACE VE VELKÉM STAVEBNICTVÍ	15
PERSPEKTIVNÍ APLIKACE	15
SPECIFICKÁ OMEZENÍ PRO STAVEBNÍ PRŮMYSL	15
ZÁKLADNÍ ARGUMENTY PRO VYUŽITÍ POLYMERNÍCH NANOTEXTILIÍ	15
5. VYUŽITÍ BARIÉROVÝCH VLASTNOSTÍ	16
BARIÉROVÉ MEMBRÁNY NA OBALOVÝCH KONSTRUKCÍCH	16
PRINCIPIÁLNÍ MOŽNOST ŘÍZENÍ BARIÉROVÝCH VLASTNOSTÍ	16
FILTRACE	17
6. OŠETŘOVÁNÍ POVRCHŮ	18
7. AKTIVNÍ OCHRANA POVRCHŮ	19
INKLUZE TVOŘENÉ POJIVOVÝMI ČÁSTICEMI	19
INKLUZE TVOŘENÉ ČÁSTICEMI ANTIKOROZNÍ OCHRANY	20
KOMBINOVANÉ OCHRANNÉ VRSTVY	21
8. VÝZKUMU APLIKACÍ VE STAVEBNICTVÍ	22
9. LITERATURA:	23
10. ODBORNÝ ŽIVOTOPIS	24

1. Konstrukční cesta k nanotextiliím

Problém konstruování difúzně otevřených pláštů

V oblasti stavebnictví je jasně patrný trend konstruovat obalové konstrukce (střechy, obvodové pláště) jako do jisté míry prodyšné, difúzně otevřené. Základním prostředkem pro takto koncipované obalové konstrukce je zvládnutí jejich vlhkostního režimu, tj. zejména možnost řízení toků vodní páry tak, aby nedocházelo k její kondenzaci v konstrukci (riziko degradace materiálů apod.). Protože asi 9 měsíců v roce směřuje tok páry z interiéru do exteriéru, umisťují se ze strany interiéru bariérové membrány.



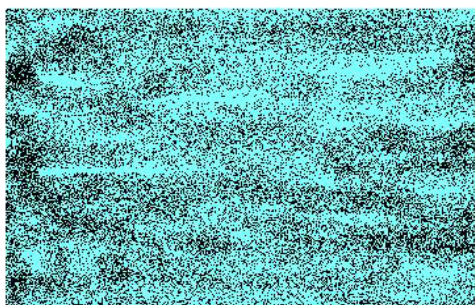
Mít možnost optimalizovat konstrukci z hlediska toku vodní páry představuje v konstrukční praxi disponovat škálou materiálů (membrán) s dostatečně jemně odstupňovanými hodnotami bariérových vlastností (zejména difúzního odporu). V tomto okamžiku právě nastává problém, a to ze dvou hledisek :

- běžně vyráběné difúzní bariéry nabízejí jen velmi omezené spektrum hodnot difúzních odporů,
- hodnoty bariérových vlastností nejsou příliš stabilní.

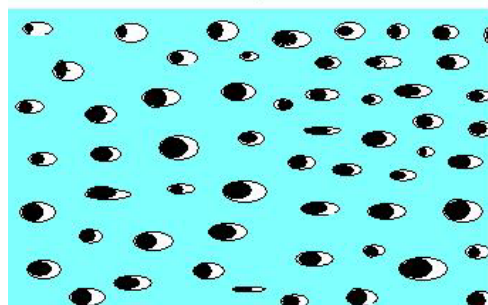
Technologie výroby bariérových membrán

Důvodem obou omezení je stávající technologie výroby.

Při prvním výrobním postupu se docílí vytvoření mikropórů v kompaktní makromolekulární membráně (zpravidla polyetylén) mechanickou cestou. Do vyráběné fólie se nejprve provede vsyp jemně mletého minerálu (nejčastěji vápence), obrázek vlevo. Poté se fólie mechanicky vypne, čímž se poruší styk zrna minerálu a fólie a vznikne mikrootvor, obrázek vpravo.



Detail aktivní PE vrstvy



Četnost těchto otvorů na jednotce plochy a jejich velikost potom rozhoduje o velikosti difúzního odporu bariérové membrány.

Je nasnadě, že jak rovnoměrnost vsypu minerálů, tak i rovnoměrnost vzniku mikrootvorů a jejich velikostí jsou omezené. V důsledku toho jsou (alespoň pro účely tvorby difúzně otevřených konstrukcí) makroskopické bariérové vlastnosti jednak nedostatečně říditelné, jednak nepříliš stabilní.

Druhý výrobní postup vyvinula společnost DuPont. Jde o technologii vysokotlakého odstředování HD polyetylénu. Tato technologie produkuje vysoce kvalitní membrány o stabilních bariérových vlastnostech. Problémem z pohledu difúzně otevřených konstrukcí je, že se dodávají pouze tři membrány s odlišnými (ale relativně velmi blízkými) hodnotami difúzních odporů.

Pro technickou praxi se používá jako významový ekvivalent difúzního odporu pojem ekvivalentní difúzní tloušťka s_d .

Ekvivalentní difúzní tloušťky materiálů dostupných na trhu

Ve stavební fyzice pojmáme vlhký vzduch jako binární směs, mající za složky suchý vzduch a vodní páru. Jako výchozí přenosovou rovnici pro výpočet hustoty difúzního toku složek se zavádí výraz

$$j_i = -D \frac{dc_i}{dx}$$

kde D je součinitel vzájemné difúze obou složek směsi, c_i je příslušná koncentrace složky. Uvažujeme tedy pouze tzv. koncentrační difúzi, kdy je hnací silou difúze gradient molární nebo hmotové koncentrace složek.

Jako výchozí přenosovou rovnici pro výpočet hustoty difúzního toku složek pórovitým materiálem se analogicky zavádí výraz

$$j_i = -\frac{D}{\mu} \frac{dc_i}{dx}$$

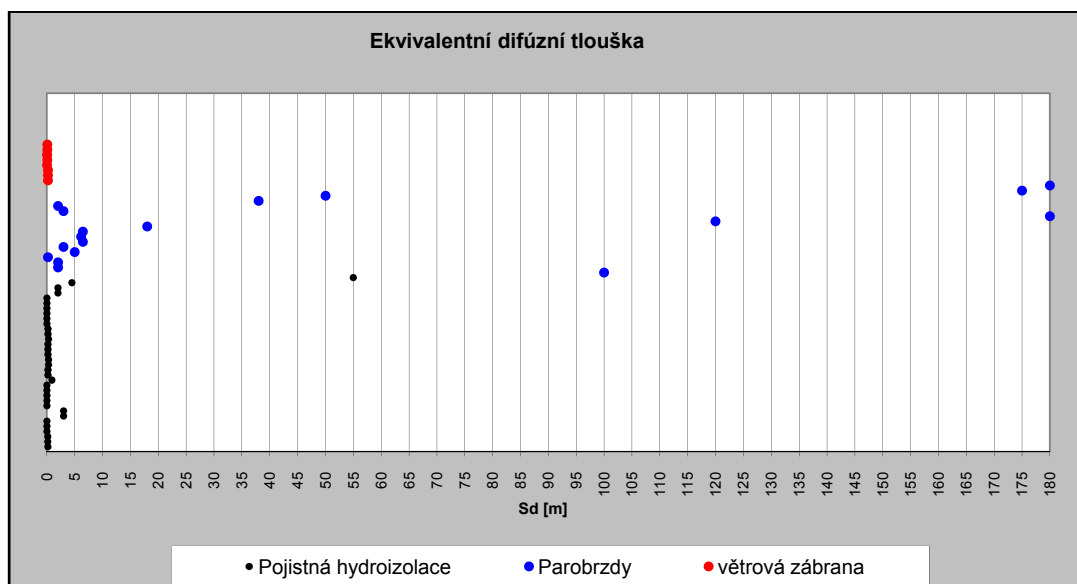
kde μ je tzv. faktor difúzního odporu materiálu (materiálová charakteristika). Pro velmi tenké vrstvy tloušťky t potom upravujeme poslední vztah z praktických důvodů na tvar

$$j_i = -\frac{D}{\mu} \frac{\Delta c_i}{t} = -\frac{D}{s_d} \cdot \Delta c_i$$

kde Δc_i je rozdíl koncentrací na obou stranách tenké vrstvy a s_d je právě výše uvedená ekvivalentní difúzní tloušťka. Tato hodnota se také běžně u tenkých materiálů (membrány, nátěry, povlaky atd.) měří a následně uvádí jako charakteristika výrobku (vrstvy) namísto faktoru difúzního odporu (charakteristika materiálu).

Pro ilustraci dostupných hodnot ekvivalentních difúzních tloušťek na trhu v ČR (a podobně i v Evropě) je uvedena následující tabulka. Je z ní ihned patrné, že z intervalu hodnot s_d , které jsou ve stavebnictví potřebné (řádově od centimetrů

do desítek metrů) je k dispozici jen velmi malé množství hodnot. Vzniká tedy objektivní potřeba – zejména v souvislosti s novým trendem difúzně otevřených konstrukcí – doplnit nabídku materiálů o další výrobky, které nabídku hodnot bariérových vlastností rozšíří. V tomto smyslu je použití nanotextilií nadějně, neboť svým charakterem výroby umožňují bariérové vlastnosti spojitě regulovat.



2. Nanotextilie na bázi polymerů

Technologie výroby

Nanotextilie je netkaná textilie, vznikající pokládkou ultrajemných vláken (horní hranice průměru asi 1000 nm = 1 μm) na rovinnou podložku. Vlákná jsou kladena chaoticky (neusměrněno, žádná převládající směrová orientace). Vzniká tak ultratenká vrstva s 3D až planoparalelní strukturou. V současnosti je možné připravovat nanotextilie (nikoliv jednotlivá vlákna!) pouze zvlákňováním polymerů. V laboratorních měřících bylo vyzkoušeno řada technologií; mezi nejznámější patří

- Dloužení (drawing)

Vytahování vláken z taveniny mechanickou cestou. Přednost: velmi dlouhá vlákna. Nevýhoda hranice 1000 nm (tenčí vlákna se trhají, nelze docílit stabilní kontinuální proces). Průmyslová technologie nebyla nikdy vyvinuta.

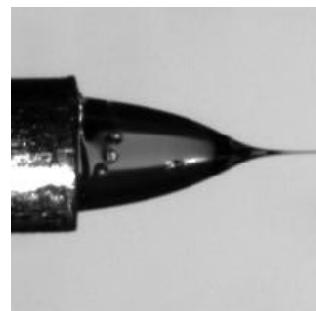
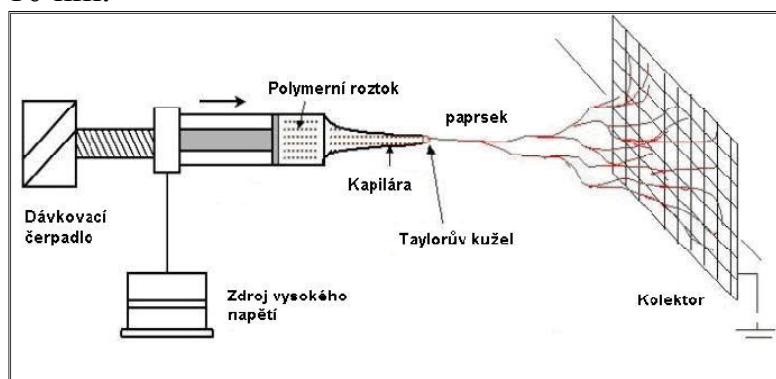
- Centrifugální zvlákňování (centrifugal spinning)

Vysokou rychlostí rotující, po obvodě perforovaný kotouč vytváří z taveniny vlákna, která jsou pomocí elektrostatického pole přitahována na kolektor. Hranice možností asi 500 nm. Průmyslová technologie nebyla nikdy vyvinuta.

- Elektrostatické zvlákňování (electrospinning)

Zvlákňovaný materiál: polymer (tavenina) nebo jeho roztok. Elektroda VN je spojena přímo s polymerem (polymerním roztokem), který je vháněn do pipety. Elektrické pole mezi ústím pipety a kolektorem vytahuje proud polymeru do prostoru, dluží jej, štěpí a ukládá na kolektor.

Uvádí se, že touto technologií je možné dosáhnout průměrů vlákna až na hranici 10 nm.



Technologie Nanospider

Tato technologie byla vyvinutá na TU v Liberci kolektivem Prof. Jirsáka. Je založena na poznatku, že Taylorovy kužele je možno vytvořit i na tenké vrstvě polymerního roztoku (taveniny). Elektroda je nyní váleček. Velké množství Taylorových kuželů po celé délce válečku tak vytváří dostatečně hustý „tok“ nanovláken proti podložce (kolektoru). Uvedený postup skýtá i principiální možnost kontinuální výroby. Vlákná jsou ukládána na posouvající se nosnou podkladovou textilií, přiváděnou na uzemněný kolektor. Podkladová textilie má funkci mechanického nosiče a ochrany nanotextilní vrstvy (problém adheze).

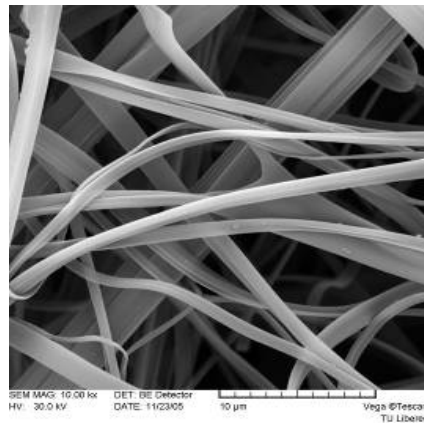
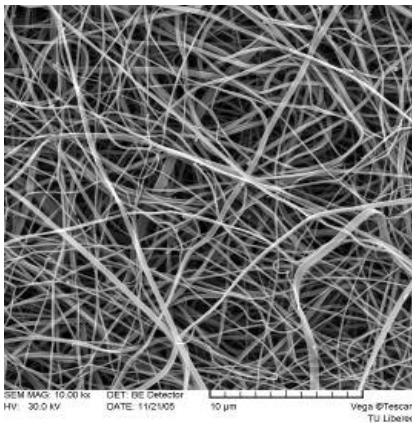


Uvedený technologický princip je realizovaný v komerčně dodávaných zařízeních liberecké společnosti Elmarco, která má s libereckou univerzitou těsnou spolupráci a která na trh dodává zařízení jak pro laboratorní, tak i průmyslovou výrobu nanotextilních materiálů.

Samotný zvlákňovací proces je ovlivňován celou řadou parametrů, které dosaženou výslednou strukturu ve větší či menší míře ovlivňují. Mezi hlavní parametry patří:

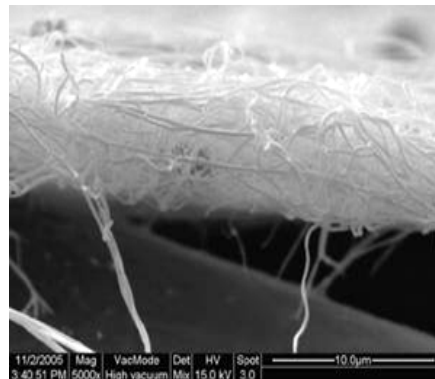
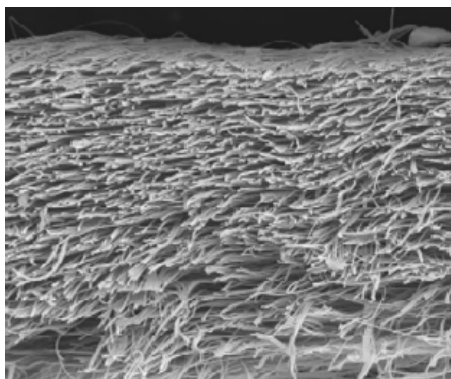
- molekulová hmotnost a prostorové uspořádání molekuly (lineární, rozvětvené,...)
- koncentrace roztoku (viskozita taveniny)
- povrchové napětí polymerního roztoku
- zvlákňovací napětí (elektrostatické pole)
- elektrická vodivost roztoku
- vzdálenost kolektor-váleček
- rychlost odpařování rozpouštědla
- typ a rychlost pohybu nosné textilie
- parametry prostředí (atmosféra, teplota....)
- a další parametry, příslušející konkrétnímu výrobnímu procesu.

Konkrétní volbou soustavy nastavitelných parametrů potom můžeme docílit různých průměrů vláken od desítek až po stovky nanometrů.



Přitom narážíme na různá omezení plynoucí z podstaty technologie; např. při usilování o velmi jemná vlákna potřebujeme relativně vysoké hodnoty zvlákňovacího napětí, což naráží na elektrickou pevnost vzduchu. Potom je třeba uvažovat o zvlákňování v jiné atmosféře (ve světě se již realizovalo i zvlákňování ve vysokém vakuu).

Výsledné uspořádání vláken v prostoru může mít charakter jak spíše planoparalelní struktury (spíše větší průměry vláken), tak i 3D vláknité struktury (spíše velmi jemná vlákna).



Současné aplikace nanotextilií

Existuje celé široké spektrum užití nanotextilií; zde se zmíníme pouze o těch, které doznaly do současnosti většího rozšíření.

Filtrace vzduchu, kapalin...

Nanotextilie je schopná zachytit až submikroskopické částice

- HEPA filtry (high efficiency particulate air, částice do 0,3 μm)
- UHE filtry (ultra high efficiency filter, částice do 0,1 μm).

Biomedicína

- Tkáňové inženýrství
- Systémy cíleného doručování léčiv (rychlost rozpouštění léčiva roste s rostoucí plochou jeho povrchu)
- Obvazoviny (biodegradabilní polymery)

Absorbce zvuku

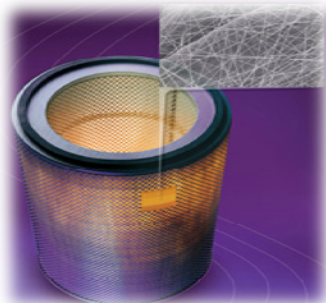
Materiály na bázi nanotextilií se vyznačují schopností absorbovat ve zvýšené míře zejména zvuky o nízkých frekvencích (v porovnání s ostatními materiály). Unikátní materiály byly v této souvislosti vyvinuty TU v Liberci a společností Elmarco. Očekávané aplikace

- Automobilový průmysl
- Letectví
- Nahrávací studia apod.

Hygiena a kosmetika

- Plenky, kapesníky, ...
- Péče o pleť

Z uvedeného výčtu je zřejmé, že aplikace nanotextilií do velkého stavebnictví dosud chybí. Přitom je třeba říci, že z pohledu výrobců nanotextilií by aplikace v tomto odvětví byla klíčová, neboť spotřeby materiálů v případě nalezení úspěšné aplikace by se zde neudávaly v metrech, ale kilometrech čtverečních.



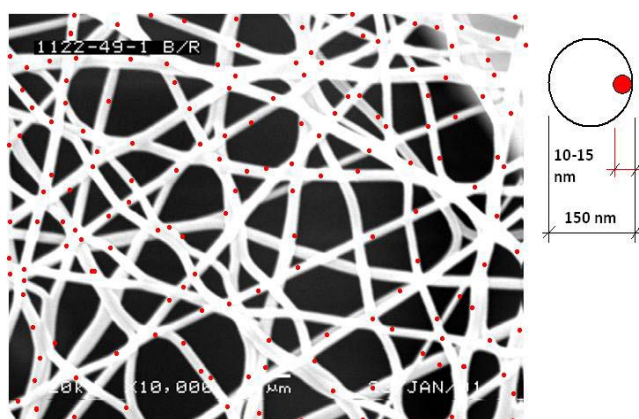
3. Perspektivní směry vývoje nanotextilií

Pro nanotextilie existuje ohromné množství potenciálních aplikací. Zejména s možností usměrňování vláken (paralelní struktury) se připravují a očekávají aplikace v elektronice (vodivá vlákna), optice (senzory), fotovoltaice i v oblasti mechanických výztuží ultratenkých kompozitních materiálů.

V tomto textu se omezíme na perspektivy vývoje pro účely velkého stavebnictví.

Kompozitní vlákna

Přímo do samotného nanovlákná je možné zabudovat vhodnými technologickými postupy nanočástice různých látek (např. na TU v Liberci se podařilo zabudovat do vlákna o průměru 150-200 nm nanočástice stříbra o rozměru cca 10-15 nm).



**Nanočástice stříbra uložené
v polymerním nanovlákně - schema**

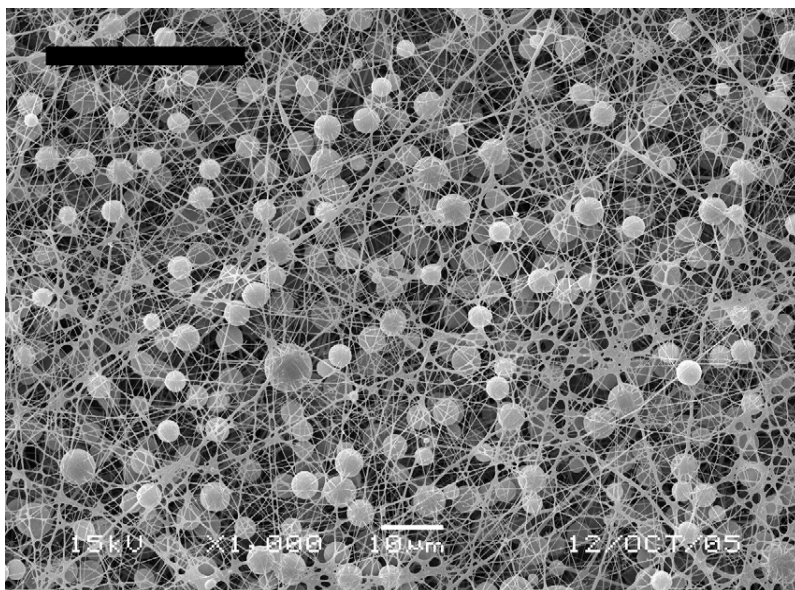
Nanotextilie se tak stává nosičem nejrozličnějších látek, které mohou být jejím prostřednictvím vhodně aplikovány. V literatuře je možné najít celou řadu nanočástic, které byly úspěšně do nanovláken zapouzdřeny. Jde například o částice Ag, Au, SiO₂, Al₂O₃, ZnO, TiO₂, ZrO₂ ale také o karbonová nanovlákna, pyl, živé buňky a (léčiva a jejich doprava do organismu).

Kompozitní struktury

Principem tohoto pojetí je, že nanotextilie slouží jako „pavučina“, do které jsou vloženy inkluze v rozměrech řádu mikronů. Inkluze mohou být tvořeny jak kapičkami polymerů (technologie elektrospraying), tak mechanickými částicemi, například kovů (technologie práškového nanášení).

Kompozitní struktury jsou využitelné ve dvou směrech:

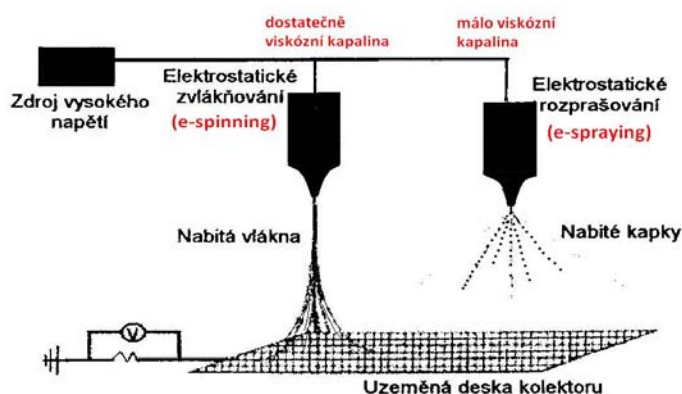
- inkluze fungují jako regulátory bariérových vlastností (snižuje se tím citlivost bariérových vlastností na přesnost nastavení parametrů electrospinningu),
- inkluze jsou tvořeny látkami, které mají po zabudování do stavební konstrukce aktivní roli s ohledem na fungování konstrukce (nanotextilie jako dopravní médium).



Kapičky makromolekulární látky jako inkluze v nanotextilním materiálu

Kombinování technologií elektrostatického nanášení

Pro dále uvedené perspektivní aplikace nanotextilií je ještě užitečné zmínit potřebu kombinovat více typů nanášení, které využívají jednotný postup s využitím vlastností elektrostatického pole. Jde o kombinování technologie elektrostatického zvlákňování (electrospinning), elektrostatického rozprašování polymerů (electrospraying) a elektrostatického nanášení pevných částic.



Přibližně lze říci, že electrospinning i electrospraying lze provádět na stejném zařízení, neboť vlákno vzniká za předpokladu, že příslušný roztok polymeru má vhodnou viskozitu. Při nižších viskozitách k vytahování vlákna nedochází a proces přechází v electrospraying, tj. dochází k emitování polymerních kapek vesměs o velikosti mikronů. Technologie práškového nanášení pracuje na podobném principu, elektrostatickým polem jsou však unášeny přímo pevné částice (používáno široce například u technologie práškového lakování, známé jako komaxit).

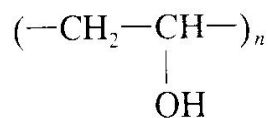
Kombinováním uvedených technologií pak lze dosáhnout výše zmíněných kompozitních struktur.

Specifické polymerní báze

Pro aplikace ve stavebnictví se jeví jako zajímavé dvě báze polymerů.

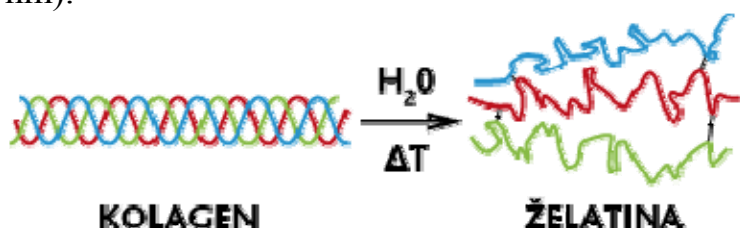
PVA (polyvinylalkohol)

Rozpouštědlem pro roztok polymeru je voda. Tento polymer vzniká polymerací základní jednotky, která obsahuje OH skupinu. Již dříve prováděné experimenty naznačují, že tato OH skupina je schopná navázat se na hydratující produkty cementového slínku. Vzniká tak možnost přímé integrace nanotextilie do struktury hydratujícího materiálu.



Želatina

Želatina vzniká z kolagenu jeho reakcí s vodou za současně vyšší teploty. Sám kolagen je živočišná bílkovina (popsáno 27 typů, střední průměr řetězce asi 75 nm).



Pro aplikace je tato báze zajímavá tím, že ve styku s vodou dojde k jejímu rozpuštění. Nanotextilie, vybudovaná na této bázi, má tedy schopnost chovat se jako nosné médium pro určité látky, přičemž v kontaktu s vodou vymizí a na povrchu materiálu zůstanou pouze přenášené materiály.

4. Perspektivy aplikace ve velkém stavebnictví

Perspektivní aplikace

V současnosti se jeví jako perspektivní tři základní oblasti:

- a) Bariérové membrány (volitelné bariérové vlastnosti)
 - Parobrzdy
 - Větrové zábrany
 - Pojistné hydroizolace
 - Vysoce účinné antibakteriální filtry vzduchu z kompozitních nanovláken (vzduchotechnika)
 - Jemná filtrace vody (zelené střechy, geotechnické aplikace, vodní hospodářství)
- b) Ošetřování povrchů konstrukcí prováděných mokkými procesy (omítky, betony, mazaniny, potěry)
 - Řízené vysychání (ošetřování volných povrchů), prostá pokládka nanotextilie (s požadovanou hodnotou permeability)
 - Omezení vzniku povrchových trhlin v plastickém stavu pomocí vhodné nosné textilie (spunbond typu PVA)
- c) Ochrana povrchů konstrukcí proti působení agresivních složek prostředí
 - „Utažení“ povrchů nukleací pojiva v nanotextilii (princip sádrového fáče, kombinace NANOSPIDER a práškového lakování)
 - Princip kompozitního vlákna (zabudování částic pro budoucí hydrataci do vlákna), jen taveniny
 - Zabudování nanočástic kovu do vlákna, které má pouze funkci nosiče, umožňujícího umístění „pokovovací vrstvy“ na požadované místo v konstrukci.

Specifická omezení pro stavební průmysl

Je třeba vidět, že nanotextilie na bázi polymerů vždy budou mít pro stavebnictví dvě principiální omezení:

- malou odolnost vůči teple, tedy v zásadě nulovou resp. zanedbatelnou požární odolnost,
- slabou UV stabilitu (vysoké měrné povrchy, polymerní báze), tj. pro určité aplikace nedostatečnou trvanlivost.

Základní argumenty pro využití polymerních nanotextilií

Při hledání argumentů proč by se mělo velké stavebnictví orientovat na aplikaci nanotextilních materiálů je v současné době patrně vhodné zmínit následující důvody:

- možnost „spojité“ regulace bariérových vlastností
- existence aplikací, pro které lze jen těžko hledat srovnatelná alternativní řešení

- v určitých směrech vynikající poměry
výkon / hmotnost
výkon / cena

Využití bariérových vlastností je již jasně prokázáno a otázka aplikace je spíše v rovině ekonomické, související s výší investice do zcela nové technologie a se zavedením nového výrobku na trh. Pro další možné aplikace, tedy především ochranu povrchů, je třeba doplnit další experimentální poznatky a zkušenosti.

5. Využití bariérových vlastností

Bariérové membrány na obalových konstrukcích

Principiálně se ve stavebnictví při konstrukci plášťů staveb používají tři typy membrán s odlišným posláním. Označujeme je jako parobrzdy, parozábrany a pojistné hydroizolace. Lze je specifikovat následovně.

Parobrzdy

Primární účel: regulace difúzního toku

Další požadavky: odolnost proti protržení

Zatížení: pouze mechanické namáhání

Větrové zábrany

Primární účel: zabránit proudění vzduchu v tepelné izolaci

Další požadavky: maximální difúzní otevřenost, hydrofobní povrch, odolnost proti protržení

Zatížení: teplota, UV záření, mechanické namáhání

Pojistné hydroizolace

Primární účel: pojistka proti zatékání vody do podkrovní

Další požadavky: maximální difúzní otevřenost, hydrofobní povrch, sloupec vody ($\approx 0,75$ m), odolnost proti protržení

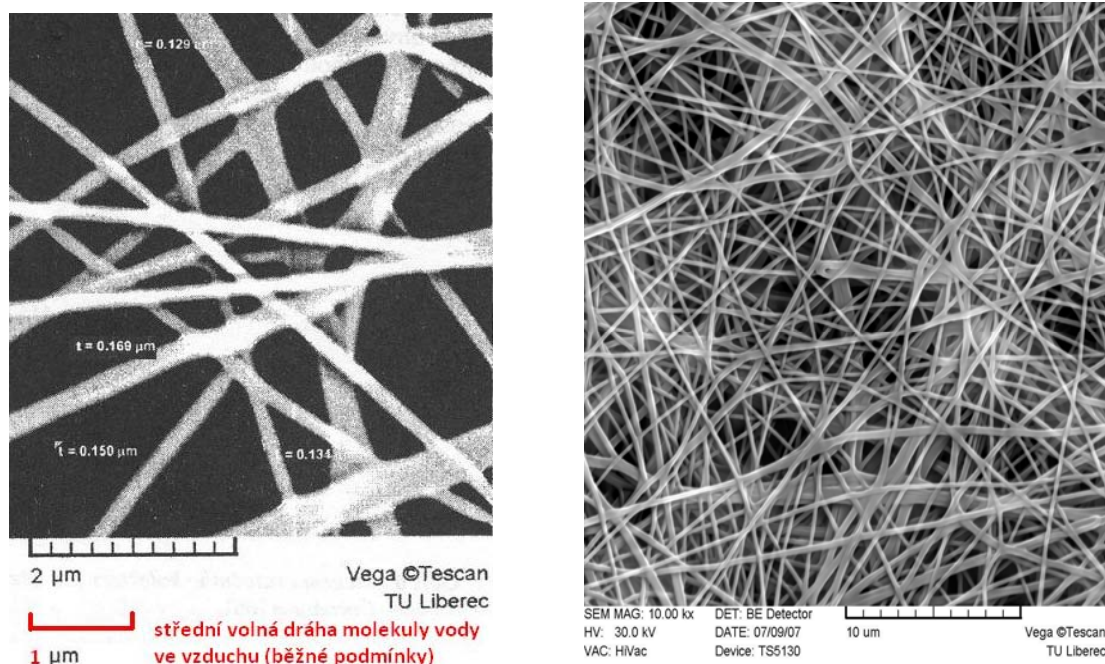
Zatížení: teplota, UV záření, mechanické namáhání



Principiální možnost řízení bariérových vlastností

Tato možnost automaticky vyplývá z mikrostruktury nanotextilie. Na následujícím obrázku je znázorněna typická struktura vláken z technologie Nanospider (střední hodnota průměru vláken 150 – 200 nm). Současně je patrné,

že velikost „oka“ sítě v nanotextilii je srovnatelná se střední dráhou molekuly vodní páry (za obvyklých podmínek řádově 1000 nm).



Vhodnou volbou průměru vlákna (do značné míry určuje velikost „oka“ struktury) a gramáže (tloušťka vrstvy) můžeme v širokých mezích řídit i bariérové vlastnosti. V zásadě platí pro konvektivní i difúzní odpor vztah

$\text{odpor} = f(\text{velikost oka nanotextilie, tloušťka struktury})$

Při manipulaci s ultrajemnými vlákny je možné „znecitlivět“ technologii nanospiningu tím, že se do struktury zabudují inkluze (např. nanosprayingem), takže výsledná bariérová vlastnost bude lépe regulovatelná.

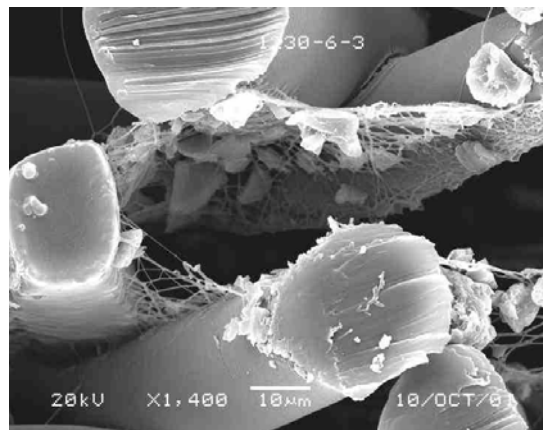
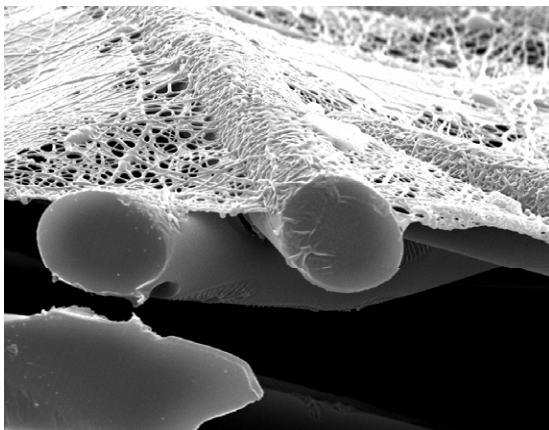
Určitým problémem může být problém hydrofobizace povrchu resp. požadavek na udržení sloupce vody určité výšky (vodonepropustnost). Jedním ze způsobů, jak toho lze efektivně dosáhnout, je úpravou povrchu prostřednictvím studeného plasmu. Technologií lze dosáhnout jak hydrofobicitu, tak i vodonepropustnost (u nanotextilií na bázi PU sloupec vody bezmála 2 m).

Filtrace

Je známá celá řada aplikací v oblasti ultrajemné filtrace vzduchu (klimatizace operačních sálů, filtry strojů aj.) i kapalin (voda, oleje atd). Kromě submikroskopického rozměru částic vystupuje do popředí i několik dalších předností, a to zejména:

- snadné čištění povrchu nanotextilního filtru pulsním „oklepáváním“ proudem vzduchu,
- možnost zabudování antibakteriálních látek do vlákna (kompozitní vlákna).

Lze očekávat brzké rozšíření těchto materiálů do klimatizačních soustav budov, ale i jako materiálů pro jemnou filtraci částic. Zde se bude patrně jednat o aplikace ve spojení se zeminami. Lze si představit nanotextilní filtry např. jako poslední filtrační vrstvu u vegetačních střech či např. u melioračních systémů.

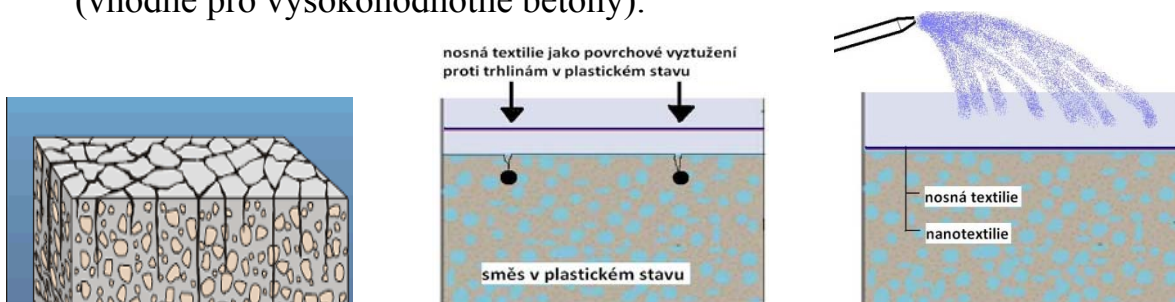


Obrázky znázorňují tenkou nanotextilní vrstvu (nízká gramáž) na nosné textilií spunbond před filtrací (vlevo) a po filtraci, se zachycenými částčkami prachu (vpravo).

6. Ošetřování povrchů

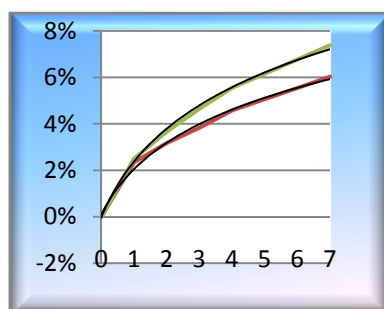
Na povrch čerstvého betonu se umístí dvouvrstvý systém nanotextilie-nosná textilie (nanotextilií na povrch betonu). Vzniká tím kombinovaný efekt.

- Funkce nanotextilie: výrazné omezení odpařování a tedy i „drying shrinkage“ povrchových vrstev (zejm. prvních 48 hodin).
- Funkce nosné textilie: omezení vzniku povrchových trhlin u betonů v důsledku „bleedingu“ čerstvé směsi (nad výztužnými vložkami apod.).
- Pijákový efekt: ochrana čerstvých povrchů proti vymývání cementového tmelu při ošetřování klopením, přitom ale hydrofilní chování textilie (vhodné pro vysokohodnotné betony).



Nosnou textilií je v případě potřeby možné po zatuhnutí betonové směsi (malty, omítky) s povrchu odstranit. Nanotextilie zůstane součástí struktury. Její působení se pozná tím, že vysychání konstrukce bude probíhat pomaleji (podle nastavených hodnot bariérových vlastností).

Provedené experimenty v laboratorním měřítku efekt zpomaleného odpařování potvrzují (obrázek vpravo, pomalejší hodinová ztráta hmotnosti přikrytého vzorku).

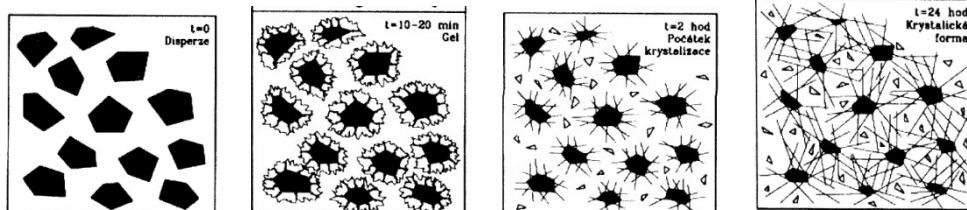


7. Aktivní ochrana povrchů

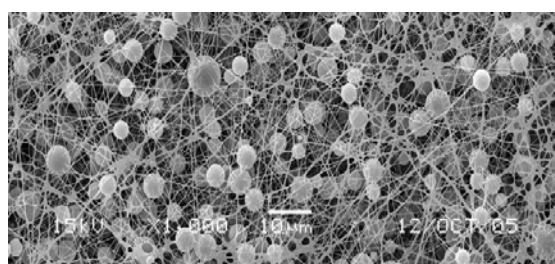
Myšlenka aktivní ochrany povrchů spočívá v tom, že pomocí nanotextilie vytvoříme metodou elektrosprayingu nebo práškového nanášení kompozitní strukturu. Nanotextilie je vytvořena buďto z polymeru typu PVA (schopnost integrovat se do produktů hydratace), nebo na bázi želatiny (vodorozpustná matrice). Inkluze (v rozměru mikronů) mohou být v principu dvojího typu.

Inkluze tvořené pojivovými částicemi

Kompozitní struktura je jako obvykle nanесena na nosné textilií (spunbond). Přiložením předem zvlhčené kompozitní struktury na povrch čerstvého betonu (potěru, omítky) vytvoříme na povrchu konstrukce analogii sádrového obvazu. Základní představa je podřídít geometrii nukleace pojivových částic jemné mikrostruktury nanotextilie.



Jednotlivé fáze „volné“ hydratace cementových zrn v průběhu času.

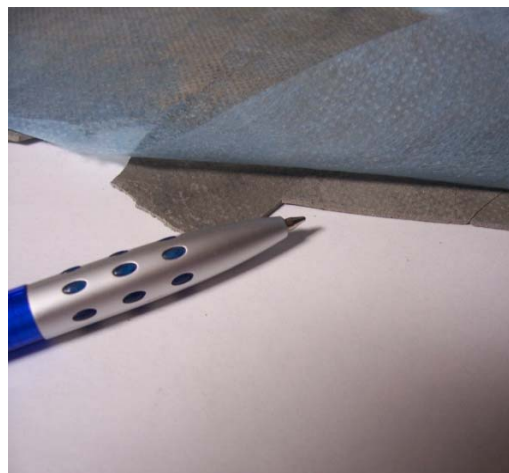


Nanotextilie vytvoří jemnou geometrii pro nukleaci.

Cílem je tedy vytvořit na povrchu hydratujícího materiálu kompaktní povrch s co nejmenším počtem mikrotrhlin, což přímo ovlivňuje trvanlivost materiálu a jeho odolnost proti napadení chemickými látkami jejich průnikem do nitra struktury. Současně se uplatní následující efekty:

- parobrzdný účinek nanotextilie (zamezení rychlého odparu)
- „hustá“ nukleace podle geometrie nanotextilie
- vyztužení povrchu proti plastickým trhlinám
- odolnost povrchu proti mechanickým účinkům zkrápění (+pijákový efekt)

Po zatvrdnutí materiálu je v případě potřeby nosnou textilií odstranit; nanotextilie zůstane integrovaná ve hydratovaném materiálu.

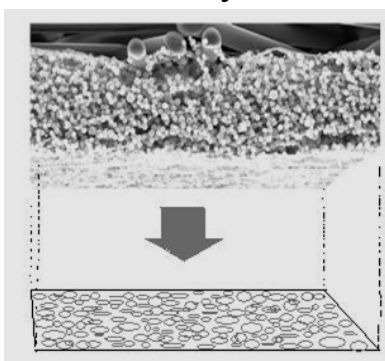


Obrázek vlevo ukazuje „prosáknutí“ pojivových složek hydratujícího materiálu textilií. Po zatvrdnutí je možné nosnou textilií odstranit, obrázek napravo.

Inkluze tvořené částicemi antikorozní ochrany

Existuje řada situací, kdy je nutné ochránit povrchy betonů či omítek proti působení různých specifických látek (hladové podzemní vody, agresivní látky chemických provozů, smogová atmosféra velkým měst atd.).

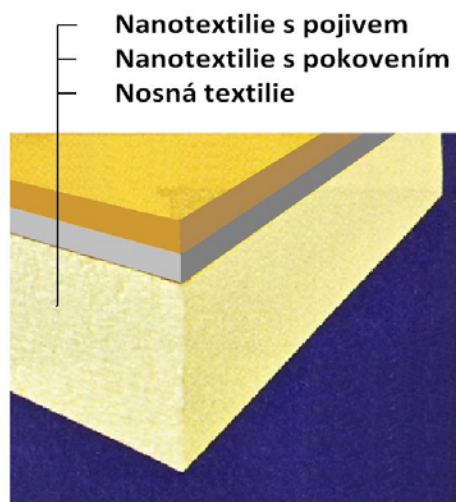
Pokud známe látku, která může povrch materiálu proti agresivním složkám prostředí ochránit, můžeme ji integrovat do nanotextilie ve formě kompozitní struktury. Vytvoříme-li vlákna nanotextilie z vodorozpuštného polymeru (želatina), přejde původně 3D struktura po rozpuštění vláken na víceméně 2D útvar, který vytvoří spojitě „pokovení“, povrchový povlak proti působení škodlivé látky.



Částice antikorozní ochrany integrované do sítě nanotextilie (nahore) přecházejí po rozpuštění nanotextilie na pseudo 2D strukturu (dole), která může vytvořit „pokovení povrchu“, tj. ochranný povlak na hydratujícím materiálu.

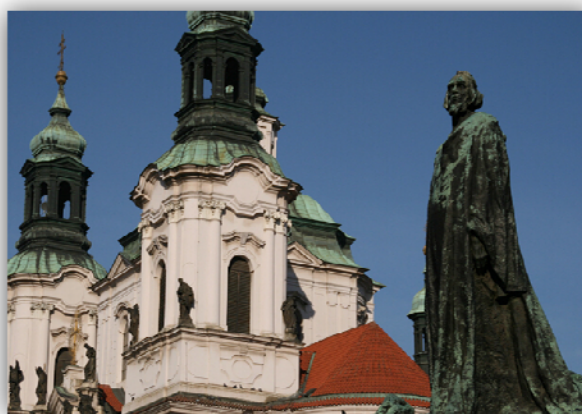
Kombinované ochranné vrstvy

Základní idea této aplikace spočívá v kombinaci obou předchozích postupů. Příslušnými technologiemi se nejprve připraví dvouvrstvý nanotextilní kompozit (samozřejmě na nosné textilii). Přímo na nosné textilii je umístěna vrstva s antikorozními inkluzemi, na ní je uložena vrstva s částicemi pojiva. Výsledný produkt se opět po zvlhčení přikládá nanotextilními vrstvami na čerstvý beton (omítku). Vzniká tak kombinovaný efekt, viz předchozí dva odstavce.



Nosnou textilii je po zatvrdnutí materiálu možné samozřejmě sejmut.

Kombinované ochranné vrstvy by mohly najít široké uplatnění v památkové péči, jmenovitě pak při sanacích fasád historických objektů. Je skutečností, že například barokní fasády obsahují řadu plasticky vyčnívajících zdobných prvků, které nabyly nikdy oplechovány.



Přitom je zřejmé, že z hlediska namáhání klimatem (zejména vlhkostí) jde o extrémně namáhané části fasád. Péče o tyto památky je velice svízelná, neboť z hlediska památkové péče je nepřijatelné dodatečně tyto prvky – alespoň tradiční formou – oplechovat. Použití kombinovaných ochranných vrstev, které vede na jakési „skryté pokovení“, by mohlo uvedený problém pomoci vyřešit. Tento přístup by byl patrně velmi efektivní u částí staveb, které jsou přímo, celoročně a „velkoplošně“ vystaveny působení klimatických vlivů.



Často s vysokými finančními náklady prováděné rekonstrukce musejí nutně mít bez adekvátní ochrany povrchů, zejména pak v agresivní atmosféře velkých měst, relativně krátkou trvanlivost.

8. Výzkumu aplikací ve stavebnictví

Vývoj aplikací nanotextilií do stavebnictví svým rozsahem přesahuje rámec stavebního inženýrství. Je to typická úloha materiálového inženýrství a jako taková musí být řešena.

Úlohou stavebního inženýra je vytvoření základní představy o potenciální aplikaci a elementární ověření funkčnosti této představy. Potom je nutné sestavit skupinu odborníků, která pro danou úlohu musí zahrnovat zejména pracovníky z oboru fyziky, makromolekulární chemie, chemie (degradační procesy), experimentálního ověřování a numerické simulace. Specifickou roli rovněž musí sehrát odborník na technologie electrospinningu a electrosprayingu a dále práškového nanášení.

FSv ČVUT se rozhodla této problematice se ve spolupráci s dalšími pracovišti věnovat. Protože základní potřebou pro zahájení experimentálních prací je možnost přípravy vlastních vzorků nanotextilií, bude fakulta do poloviny roku 2009 disponovat laboratorní verzí zvláknovacího stroje v technologii Nanospider od společnosti Elmarco Liberec.



V široce založeném výzkumu a ve spolupráci s Technickou univerzitou v Liberci tak bude možné jednak ověřit aplikace v tomto textu naznačené a případně i nalézt aplikace nové.

9. Literatura:

- 1) Jirsák O., Kalinová K.: skripta TUL 2003, ISBN 80-7083-746-2
- 2) Jirsák, O., Růžicková J., Lukáš, D.: Production of properties of Polymeric nanofibres, In: NANO 03
- 3) Růžicková, J.: Elektrostatické zvlákňování nanovláken, TUL 2006, ISBN 80-7372-066-3
- 4) Krňanský, J.: Building Structures: Engeneering Physical Analysis, monografie, vydavatel TU Liberec s finanční podporou programu Erasmus, Liberec 2007
- 5) Krňanský, J.: Nano Applications in the Building Industry. Sborník konference „ITW-new technologies“, srpen 2007
- 6) Electrospinning:
www.che.vt.edu/wilkes/electrospinning/electrospinning.html
- 7) Taylor, G.: Proceedings of the Royal Society London, series A 313 (1969), pp. 453-475. Huang, Z.M., Zhang, Y.Z., Kotaki, M., Ramakrishna S.: A review on polymer nanofibres by electrospinning and their application in nanocomposites, Composite science and Technology, vol. 63, issue 15, November 2003, p. 2223-2253
- 8) Grafe T., Graham K.: Polymeric Nanofibres and Nanofibre Webs: A new class of nonwovens. Sborník konf. INTC 2002, Atlanta 2002
- 9) Hutcheon, B. N., Handegord G.O.P.: Building Science for cold climate, John Wiley and Sons, Toronto 1980
- 10) Mrlík F.: Vlhkostné problémy stavebných materiálů a konstrukcí, Alfa, Bratislava 1985
- 11) Cabicar J.: Fyzikální chemie II (Kinetická teorie látek), skr. FJFI ČVUT Praha
- 12) De Wiest R.J.M. and contributors: Flow through porous media, Academic Press, New York and London 1969
- 13) Propagační materiály společnosti Elmarco, ČR
- 14) Propagační materiály společnosti Donaldson, USA
- 15) Propagační materiály společnosti DuPont (výrobek Tyvek)
- 16) Hošek, J.: Materiály a technologie pro rekonstrukci staveb. Skr. ČVUT Praha, 2001
- 17) Nováková M.: Vlastnosti polyuretanových nanovláknenných vrstev. Diplomová práce KNT TU Liberec, 2007, vedoucí práce O. Jirsák
- 18) www.rossete.cz. Fotografie rekonstrukce kostela Sv. Bartoloměje a Zvonařky

10. Odborný životopis

Doc. Ing. Jan Krňanský, CSc.

*** 17.10.1956 Praha**

Vzdělání, kvalifikace

- 1976 Střední průmyslová škola stavební Mělník, zaměření na konstrukce pozemních staveb
- 1981 Stavební fakulta ČVUT Praha, obor Pozemní stavby, individuální diferencované studium zaměřené na staticko-konstrukční analýzu
- 1983 postgraduál Metoda konečných prvků, VUT Brno
- 1987 kandidát technických věd v oboru Teorie a konstrukce pozemních staveb,
- 1989 docent pro obor Pozemní stavby

Zaměstnání a další odborná činnost

- 1982 projektant statik Konstruktiva Praha
- 1983-1993 FSv ČVUT Praha, asistent a odborný asistent na katedře Konstrukcí pozemních staveb,
- 1988-1993 odborný asistent a docent na Katedře konstrukční fyziky budov
- 1993- společník, jednatel a ředitel firmy air hammer s.r.o. (cca 15 zaměstnanců) zaměřené na technické poradenství a obchodní činnost, zejména v oblasti dřevěných stavebních konstrukcí. Od roku 2008 pouze ředitel a jednatel této společnosti.
- 1997-2007 společník a jednatel a ředitel firmy air hammer - haubold s.r.o. (společný česko-německý podnik, cca 50 zaměstnanců) zaměřené na výrobu spojovacích prostředků pro dřevěné stavební konstrukce.
- 2003- FA TU v Liberci, vedoucí katedry pozemního stavitelství (člen vědecké a umělecké rady, předseda senátu).
- 2005-2006 Předseda zkušební autorizační komise ČKAIT pro obor Pozemní stavby
- 2006- odborný poradce firmy Insowool s.r.o., zaměřené na vývoj materiálů a technických řešení pro difúzně otevřené stavební konstrukce.
- 2008- senior technical consultant pro společnost Illinois Tool Wools
- 2008- FSv ČVUT Praha, zavedení nového předmětu, přednášky

Odborná výzkumná činnost

- 1987 Vliv časového faktoru na namáhání stěnových konstrukčních systémů vícepodlažních budov, kandidátská disertační práce
- 1988- Technicko-fyzikální analýza stavebních konstrukcí. Řešení dlouhodobého vlivu nepřímých zatížení, vyvolávajících objemové změny materiálů, na životnost a trvanlivost stavebních konstrukcí (s důrazem na konstrukce tvořené kombinací více materiálů).

- 2000- Difúzně otevřené obalové konstrukce dřevostaveb, rizika související s organickou materiálovouází.
- 2003 Vývoj tepelné izolace na bázi ovčí vlny, spolupráce na vývoji výrobní technologie (společnost Jilana a.s.).
- 2004 Vývoj aplikací pro nelisované dřevovláknité desky v oblasti progresivních konstrukcí dřevostaveb (pro společnost Hofatex Smrečina a.s.)
- 2005- Modifikace tenkovrstvých omítkových materiálů pro aplikace na difúzně otevřené obalové konstrukce staveb (pro společnost JUB a.s.)
- 2005- Vývoj tepelné izolace na bázi skleněných vláken pro difúzně otevřené konstrukce, spolupráce na vývoji výrobní technologie (se společností Union Lesní brána a.s.).
- 2006- Vývoj aplikací polymerních nanotextilních materiálů do stavebnictví (spolupráce s kolektivem Prof. Jirsáka, technologie Nanospider).
- 2008 Certifikovaný difúzně otevřený systém na bázi dřeva

Výsledkem výzkumné odborné činnosti jsou technická řešení chráněná Užitnými vzory, která na smluvním základě (Licenční smlouvy nebo Smlouvy o využití know-how) využívá k datu 10/2008 celkem 37 realizačních stavebních společností a 16 projektových organizací.

Odborná činnost pro praxi

- 1995- návrhy průmyslových výrobních linek pro výrobu dřevostaveb panelového typu (např. pro společnosti Allstav Chotýšany, RD Rýmařov, Bučina Zvolen, Axxe Nitra, OÚ Křižany aj., asi pro 15 společností).
- 1995- návrhy technologie upevňování při výrobě stěnových, stropních a střešních dílců s ohledem na jejich staticko-konstrukční působení (asi pro 25 společností v ČR a SR).
- 1995- konzultační poradenská činnost v oblasti statického a stavebně-fyzikálního návrhu obytných staveb převážně na bázi dřeva (asi 50 společností).
- 2006- vývoj a následná spolupráce na technologii výroby tepelných izolací na bázi ovčí vlny, související konzultační a poradenská činnost.
- 2006- vlhkostní vlastnosti dřevoštěpových desek (OSB), pro společnost Kronospan Jihlava
- 2007- ukončen vývoj difúzně otevřeného konstrukčního systému „diffuwall®“ pro dřevostavby (pro společnost Insowool), konzultační a poradenská činnost v souvislosti s distribucí systému mezi stavební společnostmi.

- 2008- vývoj difúzně otevřené stěny na bázi sádrovláknitých materiálů (pro společnost Rigips).
- 2008- vývoj difúzně otevřené stěny na bázi vícevrstevných masivních desek (SWP) (pro společnost Agrop).

Publikační činnost

Vysokoškolská skripta :

- Rojík, Jettmar, Krňanský : Statická analýza konstrukčních systémů vícepodlažních budov, FSv ČVUT Praha, 1984
- Pánek, Rojík, Krňanský : Technicko-fyzikální analýza staveb, FSv ČVUT Praha, 1989
- Pánek, Krňanský : Technicko-fyzikální analýza staveb, FSv ČVUT Praha, 1990
- Krňanský a kolektiv: Technicko-fyzikální analýza staveb-pomůcka pro cvičení, FSv ČVUT Praha, 1991
- Witzany, Krňanský, Firbas : Konstrukce pozemních staveb-rekonstrukce a poruchy staveb, FSv ČVUT Praha, 1990
- Krňanský J.: KPS pro architekty I, FA TU v Liberci, 2004
- Krňanský J.: KPS pro architekty II, FA TU v Liberci, 2005
- Krňanský, J.: Technicko-fyzikální analýza staveb, FA TU v Liberci, 2006
- Krňanský, Košťálová: KPS: Pomůcka pro cvičení, 2007

Monografie:

- Krňanský, J.: Engineering Physical Analysis, FUA TU v Liberci, 2007

Časopisy (posledních 10 let): 24 článků v odborných profesních časopisech

Patenty:

- FÚ pro vynálezy, č. 264230 : Pánek, Hošek, Krňanský – Způsob přípravy pěnasilikátové stavební směsi, 1991

Užitné vzory:

- PUV 2008-19850, zápis č. 1854
- PUV 2008-19963, zápis č. 18739
- PUV 2008-19964, zápis č. 18740
- 2 užitné vzory podány v prosinci 2008