



evropský  
sociální  
fond v ČR



EVROPSKÁ UNIE



MINISTERSTVO ŠKOLSTVÍ,  
MLÁDEŽE A TĚLOVÝCHOVY



OP Vzdělávání  
pro konkurenceschopnost

INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ



## VÝVOJOVÉ TRENDY TEXTILNÍHO A ODĚVNÍHO OBORU - ODBORNÝ INSPIROMAT



Publikace pro skupinu oborů vzdělání 31 Textilní výroba a oděvnictví



## VÝVOJOVÉ TRENDY TEXTILNÍHO A ODĚVNÍHO OBORU - ODBORNÝ INSPIROMAT

Publikace pro skupinu oborů vzdělání 31 Textilní výroba a oděvnictví

Tato publikace byla vytvořena a vydána v projektu POSPOLU – Podpora spolupráce škol a firem, který je realizován v rámci Operačního programu Vzdělávání pro konkurenceschopnost. Tento projekt je spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

Více informací o projektu najdete na [www.projektpospolu.cz](http://www.projektpospolu.cz)

---

Autoři: Doc. Dr. Ing. Dana Křemenáková, Prof. Ing. Jiří Militký CSc., EUR ING

Oponentura: Mgr. Šárka Fléglová, Ing. Lenka Fuxová, Ing. Marta Chvojková, Ing. Luboš Svoboda, Jan Teplý

Editorka: PhDr. Helena Denková

Návrh obálky: Michaela Houdková

Redakce: Lucie Šnajdrová

2



Vydal Národní ústav pro vzdělávání, školské poradenské zařízení a zařízení pro další vzdělávání pedagogických pracovníků

Weilova 1271/6, Praha 10, 102 00

Praha 2015

ISBN 978-80-7481-107-4



## OBSAH

Předmluva .....	4
1. Úvod .....	5
2. Trendy rozvoje textilního a oděvního oboru .....	6
3. Textilní struktury .....	12
4. Inteligentní textilní struktury .....	15
5. Nanotechnologie a nanočástice .....	17
6. Optická vlákna pro aplikace v textiliích .....	25
7. Zlepšení elektrické vodivosti .....	28
8. Speciální efekty .....	35
8.1 Bariérové textilie pro ochranu vůči vandalismu a balistickou ochranu .....	35
8.2 Vysoce funkční textilie .....	36
8.3 Tepelně adaptivní textilie .....	37
8.4 Chameleonní textilie .....	38
8.5 Materiály citlivé na vnější podněty .....	39
8.6 Oděv jako informační systém .....	41
3 9. Technické textilie .....	44
10. Požadavky na textilní průmysl budoucnosti .....	48
11. Závěr .....	53



## PŘEDMLUVA

Předkládaná publikace je zaměřena na profesní přípravu žáků oborů vzdělání 31 Textilní výroba a oděvnictví. Jejím cílem je poskytnout přehled o vývojových trendech v textilním a oděvním oboru. Téma bylo vybráno v součinnosti s pedagogickými pracovníky z oboru. Příručka je určena učitelům odborných předmětů teoretických i praktických. Publikace zprostředkovává vhled do současných vývojových směrů, jejichž realizace se předpokládá v horizontu příštích let. Nabízí souhrn poznatků použitelných pro výuku žáků v současnosti i budoucnosti. Poznátky obsažené v publikaci mohou přispět ke konkretizaci RVP a jeho modernizaci na úrovni ŠVP a výuky. Zabývá se druhy textilních materiálů a textilií a způsoby jejich použití v závislosti na požadovaných vlastnostech oděvu. V textilních oborech se jedná především o vzdělávací oblast Textilní materiály a textilie, v oděvních oborech o vzdělávací oblasti Zbožiznalství a Technická, resp. Technologická příprava. Akcent je kladen na aktuálnost. Úvodní kapitola Trendy rozvoje textilního a oděvního oboru a závěrečná kapitola Požadavky na textilní průmysl budoucnosti vymezují rámec, kterým se bude textilní a oděvní odvětví v brzké době ubírat.

Příručka podporuje další vzdělávání učitelů odborných předmětů jako jednoho z nástrojů zvyšování kvality vzdělávání. Prohlubuje jejich teoretické znalosti a motivuje je k vyhledávání stáží ve firmách zaměřených na moderní materiály a technologie. Publikaci tak mohou učitelé využít nejen jako zdroj informací pro výuku žáků, ale také jako podklad pro navázání spolupráce se sociálními partnery. Popsané technologické novinky mohou sloužit jako jeden z parametrů k vytipování vhodného sociálního partnera pro praktické vyučování žáků i pro stáže učitelů, k rozšíření portfolia stávajících partnerů o subjekty nejen výrobního, ale také výzkumného charakteru. Informace uvedené v publikaci lze užít jako pomůcku při vymezování obsahu spolupráce školy a jejího sociálního partnera.

Publikaci je vhodné využít také jako prostředek pro motivaci žáků k práci v oboru po ukončení vzdělávání, protože jim ukazuje nejnovější perspektivy vývoje textilního a oděvního oboru. Tím přispívá k udržení kontaktu školní výuky s úrovní poznání v oboru a následně i s realitou v oblasti výrobní. Podporuje tak konkurenceschopnost budoucích odborníků textilních a oděvních oborů na trhu práce.

Helena Denková



## 1. ÚVOD

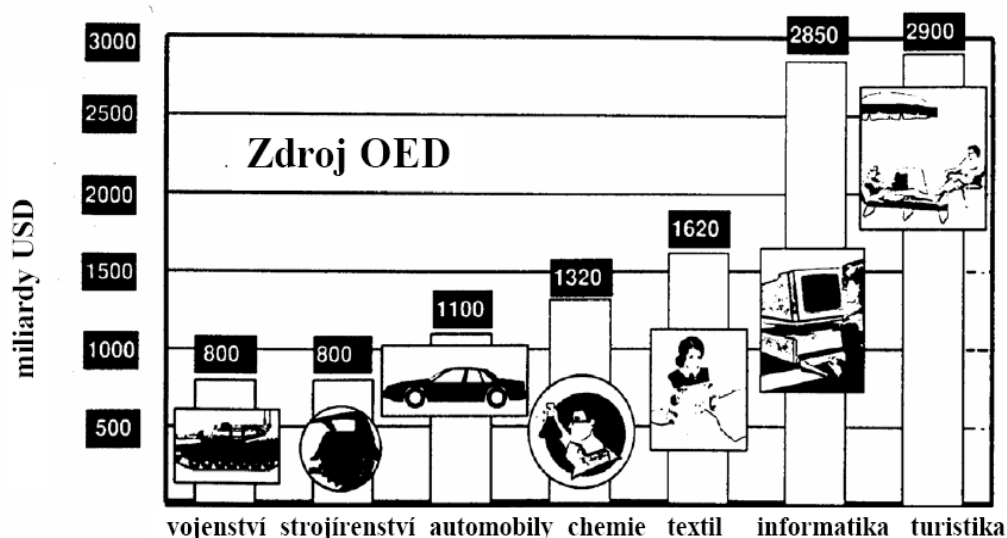
Tato práce vychází částečně z informací o současných výzkumných a vývojových směrech ve světě a v ČR, publikovaných v časopisech a na konferencích, a částečně z představ autorů o trendech v textilním oboru založených na dlouhodobém sledování stavu výzkumu a vývoje. Jsou zde shrnuty jak základní faktory ovlivňující rozvoj textilního průmyslu a přípravu textilních struktur, tak i základní výzkumné a vývojové aktivity, které v budoucnosti ovlivní textilní obor. Členění vývojových aktivit je orientováno především technologicky a materiálově a nikoliv podle konkrétních oblastí použití. Důvodem je fakt, že v textilním oboru se využívá prakticky stejných materiálů struktur a technologií pro diametrálně odlišné aplikace. Většina informací je založena na výsledcích dosavadního vývoje, které v řadě případů teprve budou realizovány v praxi. Některé trendy vycházejí z konkrétních potřeb uživatelů textilních produktů, resp. výrobců textilií.

Až na výjimky zde nejsou obsaženy futuristické vize bez návrhu způsobu, jak je realizovat. Lze očekávat, že zejména v delším časovém horizontu může dojít k nalezení přelomových řešení, ale dosavadní zkušenosti indikují, že tato řešení jsou v textilním oboru výsledkem mnohaletých aktivit. Práce je tedy především přehledem možností budoucího transferu již částečně teoreticky a výzkumně ověřených a očekávaných výsledků do praktických aplikací. Detaily a podrobnější informace o jednotlivých tématech a aktivitách lze nalézt v citované literatuře.



## 2. TRENDY ROZVOJE TEXTILNÍHO A ODĚVNÍHO OBORU

Textilní a oděvní obor tvoří důležitou část zpracovatelského průmyslu zemí EU. Zaměstnanost zde činí kolem 6,2 milionů osob (přibližně 9,3 % všech pracovních míst ve zpracovatelském průmyslu). Počet firem je kolem 250 000 a celkový obrat představuje zhruba 4 % celkové přidané hodnoty ve zpracovatelském průmyslu zemí EU . Polovina z toho je tvořena textilním průmyslem. Zhruba 68% zaměstnanců textilního a oděvního oboru tvoří ženy. V celosvětovém měřítku je textilní a oděvní obor na třetím místě podle důležitosti vyjádřené finanční částkou ročního zisku (viz obr. 1).

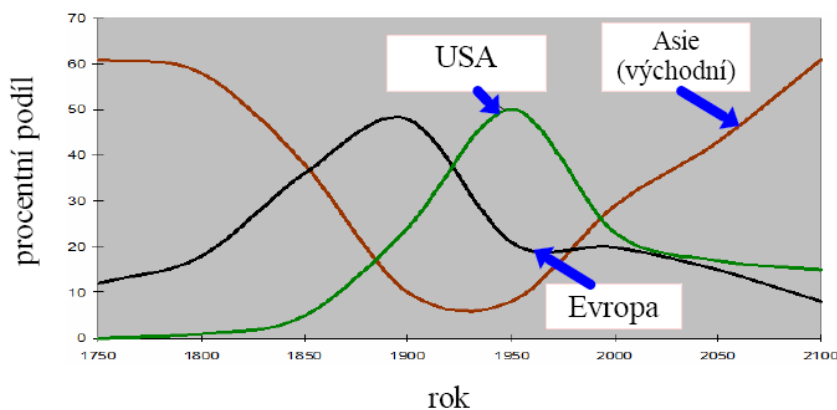


Obr. 1  
Ekonomicky  
nejvýznamnější  
odvětví průmyslu

6

To vše indikuje, že jde o obor, který váže poměrně značný počet zaměstnanců. S růstem konkurence na světovém trhu se výrazně posunuje struktura textilních výrobků produkovaných ve vyspělých zemích od standardních masově vyráběných ke speciálním, zákaznický orientovaným. To vede ke snižování počtu zaměstnanců při zachování, příp. zvýšení obratu z prodeje. Podle prognóz se bude relativní nárůst spotřeby textilií v příštích letech postupně snižovat. Prognóza pro rok 2020 naznačuje snížení relativního růstu spotřeby na 1,6 %. Celková spotřeba textilií v roce 2020 se předpokládá 67573 milionů tun.

Podle současného stavu vývoje se předpokládá, že v budoucnu se převážná část masové výroby standardních oděvních textilií přesune do asijských zemí, jak je naznačeno na obr. 2.



Obr. 2 Procentní podíl na  
výrobě textilií



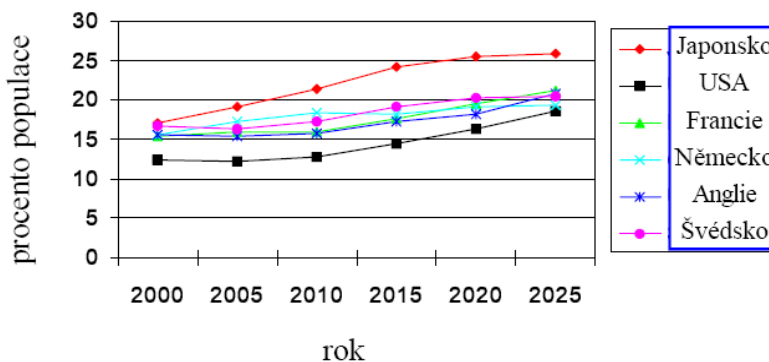
Tato prognóza však vychází ze zjednodušených předpokladů, že v asijských zemích bude žít převážná část obyvatel, pracovní síla bude laciná, ekologické faktory zde nebudou hrát významnou roli a cena za transport do Evropy a USA bude zlomkem ceny textilií. Nelze tedy vyloučit i scénáře, že se textil stane opět výhodným oborem pro zajištění lokální spotřeby v jednotlivých státech.

Objektivní příčiny rozvoje textilnictví a oděvnictví souvisí úzce jak s lidským faktorem, tak i s vlivem civilizace. Vlivy související s lidským faktorem lze rozdělit do těchto skupin:

- Růst počtu obyvatel světa: předpokladem je, že v roce 2050 bude počet obyvatel planety 8,9 miliard. Při očekávané spotřebě 20 kg textilií na osobu a rok to činí celkem 178 miliard tun textilií ročně v roce 2050.
- Prodloužení délky života: předpokládaná délka života bude v roce 2050 v rozmezí 80–83 let (USA), resp. 83–91 let (Japonsko) [1]. S tím souvisí také zvýšení relativního podílu seniorů ve společnosti. Kategorie seniorů bude mít jiné požadavky na řadu textilií souvisejících zejména se zajištěním jejich bezpečnosti při omezené pohyblivosti (např. lepší viditelnost předmětů, identifikovatelnost jejich okrajů atd.).
- Růst podílu volného času, který bude možno strávit také aktivitami vyžadujícími speciální textilie (FITNESS, WELLNESS).
- Životní styl, který mění výrazně velikostní sortiment oděvních textilií a ovlivňuje i způsob jejich nákupu.
- Civilizační vlivy na člověka, které působí negativně na jeho zdraví a vyžadují zajištění speciálních bariérových funkcí (proti mikroorganismům, alergiím, znečištění životního prostředí atd.).
- Ochrana a prevence zdraví (kondiční sporty, rehabilitace), které vyžadují speciální textilie jak v oděvech, tak i v některých výrobcích (zejména kompozita).

7

Na obr. 3 je znázorněna tendence růstu počtu obyvatel starších 65 let ve vybraných státech. Již kolem roku 2020 bude např. v Japonsku zhruba 1/4 obyvatel starších 65 let. Tento posun věkové struktury bude výrazně ovlivňovat celou společnost a povede zřejmě k nutnosti řešit problémy související se zajišťováním všech potřeb seniorů. S lidským faktorem úzce souvisí i změny v dostupnosti a získávání informací, virtualizace prakticky všeho (včetně nabídky zboží) a globalizace společnosti.



Obr. 3 Růst počtu obyvatel starších 65 let ve vybraných státech



Civilizační faktory souvisí přímo s rozvojem úrovně lidské společnosti a odpovídající spotřebou. Lze je rozdělit do následujících skupin:

- **Energie:** půjde jak o způsoby snižování spotřeby různých typů energií při výrobě a údržbě textilií, tak i o hledání nových energetických zdrojů využívajících obnovitelné suroviny a ekologicky šetrné technologie.
- **Suroviny pro výrobu textilií:** budou hledány cesty, jak nahradit suroviny z neobnovitelných zdrojů surovinami ze zdrojů obnovitelných. Samostatným problémem bude efektivní využití textilních odpadů pro recyklaci, resp. získávání surovin.
- **Transport:** se snižováním zásob fosilních paliv dojde ke zvýšení nákladů na transport od výrobce k zákazníkovi, což se v budoucnu zřejmě projeví oživením lokální výroby textilií standardní kvality.
- **Bydlení:** se vzrůstající úrovní komfortu bydlení vzrůstá a nadále bude vzrůstat nejen objem textilií používaných v obytných místnostech, ale také textilií jako součástí staveb a architektonického řešení jejich okolí.
- **Kvalita životního prostředí:** textilie jako materiály s řadou předností budou sloužit ke zlepšování podmínek životního prostředí jak přímo (filtry, ochranné vrstvy atd.), tak i zprostředkovaně (geo-textilie, agro-textilie, umělé trávníky atd.).

Kromě objektivních faktorů ovlivňujících rozvoj textilu se pochopitelně projevují i faktory subjektivní. Subjektivní faktory rozvoje textilu souvisí se dvěma základními přístupy. Zejména pro asijské země je typická touha po novém (netradičním). Příkladem jsou např. textilie s novými funkcemi, inteligentní struktury a speciální vlákna umožňující např. převod sluneční (světelné) energie na elektrickou. V řadě západních zemí se projevuje tendence věřit v tradiční (tedy staré) techniky a produkty. Příkladem je např. obliba materiálů vyrobených z viskózy, kde surovinou je bambus. Tato vlákna se dodávají pod zavádějícím názvem bambusová vlákna a přisuzují se jim léčebné a zdraví podporující účinky. Subjektivní faktory jsou často příčinou toho, že se výrobci vrací k starým technikám a postupům (např. barvení přírodními barvivy, využívání vláken z mléčného kaseinu), které někdy kombinují s moderními postupy pro zajištění praktické použitelnosti.

Výhledově lze očekávat, že převažujícím dlouhodobým trendem bude integrace výsledků vývoje v oblasti materiálů, chemie, fyziky a inženýrství pro výrobu nových textilních struktur pro výrobu **oděvních textilií**, schopných adaptace na změny podmínek okolí, a speciálních **technických textilií** s unikátními vlastnostmi požadovanými pro jejich aplikace.

U textilií pro oděvní účely převažovalo tradičně hledisko módnosti, stylu a komfortu. U těchto textilií bude z hlediska spotřebitele třeba zajistit:

- Optimální řízení vlhkosti.
- Řízení tepelných toků.
- Řízení prodyšnosti vzduchu.
- Zlepšené tepelně izolační vlastnosti.
- Propustnost pro vodní páry (0,4 nm), ale nepropustnost pro kapalnou vodu (100 μm).
- Ochrana proti nebezpečným vlivům z okolí (mikroorganismy, UV záření).
- Ekologická výroba a likvidace použitých textilií (biodegradabilitu).





- Samočisticí efekty a odpuzování prachových částic.
- Zlepšení odolnosti proti opotřebení (oděru).
- Podpora péče o zdraví (životní funkce, hojivé procesy).
- Podpora kosmetických projevů (regenerační procesy na kůži).
- Snadná údržba, včetně čištění a žehlení.
- Zlepšený omak, estetické vjemy a vzhled i po několika cyklech užití a údržby.

Řízená aktivní identifikovatelnost textilií v podmínkách omezené viditelnosti.

Již dnes existují dílčí řešení umožňující realizaci některých z těchto požadavků. V budoucnu budou převažovat polyfunkční efekty a řešení zajišťující trvanlivost po celou dobu plánované životnosti textilií. Lze také očekávat využití oděvních textilií jako informačních systémů pro monitorování stavu nositele.

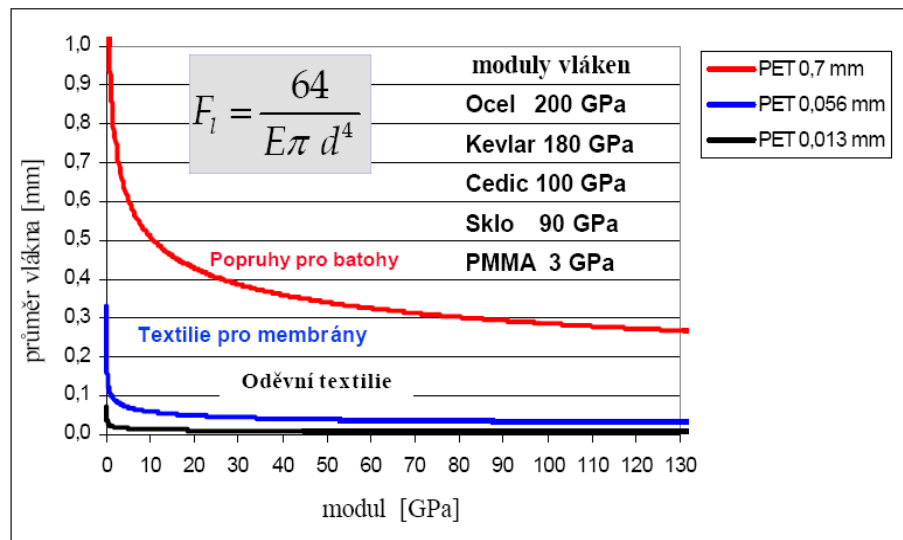
V oblasti technických textilií je situace obvykle jednodušší, protože lze podle požadovaného účelu použití často přesně specifikovat požadavky na jejich vlastnosti. Mezi obecné požadavky na technické textilie pro průmyslové použití a kompozita patří:

- Vysoká pevnost a modul (tah, ohyb, krut).
- Nízká deformovatelnost do přetrhu.
- Nízké tečení pod zatížením (creep).
- Odolnost vůči působení okolí (UV, vlhkost, hnití).
- Odolnost vůči oděru.
- Absorpce rázů (šokových zatížení).
- Odolnost vůči dlouhodobému tepelnému působení.
- Odolnost vůči cyklickému namáhání.
- Nízká degradace v podmínkách skladování.
- Pomalé stárnutí v podmínkách užití.
- Nízká tepelná roztažnost.

U ochranných oděvů a bariérových textilií je požadavkem také postačující komfort, což často vyžaduje speciální řešení.

Textilie se v čím dál větší míře uplatňují jako speciální flexibilní konstrukční materiály a kompozitní struktury. Pro tyto účely a pro speciální aplikace (světlovodivé systémy, elektricky vodivé systémy atd.) se využívá jak polymerů, tak i kovů, resp. keramických materiálů. Samostatným problémem je v těchto případech možnost tvorby vlákných struktur textilními technikami. Řada speciálních materiálů se dá převést do formy tenkých tyčinek, ale pro účely tkaní nebo pletení nemají tyto struktury často potřebnou ohebnost  $F_t$ . Tato veličina souvisí počátečním modulem v tahu  $E$ , plochou příčného řezu  $S$  a hustotou vláken  $\rho$ . Pro vlákna kruhového průřezu platí, že plocha příčného řezu souvisí s průměrem vlákna  $d$  známým vztahem  $S = \pi d^2/4$ .

Obr. 4 Průměr vlákna s počátečním modulem  $E$  zajišťující postačující ohebnost pro různé typy textilních struktur (odpovídá ohebnosti polyesterových vláken používaných pro popruhy, textilie pro membrány a oděvní textilie)



Maximální průměr vlákna s počátečním modulem  $E$ , který zajišťuje postačující ohebnost pro různé typy textilních struktur (odpovídá ohebnosti polyesterových vláken používaných pro popruhy, textilie pro membrány a oděvní textilie), je znázorněn na obr. 4. Je patrné, že pro materiály s vysokým modulem bude nutné pro zajištění postačující ohebnosti použít např. pro oděvní aplikace vlákna s průměrem pod  $10 \mu\text{m}$ .

V textilních aplikacích se jemnost vyjadřuje jako délková měrná hmotnost, tj. hmotnost na jednotku délky. Používá se veličina titr  $T_v$  [tex], definovaná vztahem

$$T_v = \frac{g}{m} = S \rho$$

Zde  $m$  [g] je hmotnost lineárního textilního útvaru,  $l_v$  [km] je délka a  $\rho$  [ $\text{kg m}^{-3}$ ] je objemová měrná hmotnost (hustota) materiálu. Platí, že jemnost vláken je v jednotkách desetiny tex a jemnost příze je v desítkách tex. Je poněkud zvláštní, že hrubší materiály (s větším průměrem) mají větší hodnoty jemnosti (vyšší tex).

Pokud nahradíme vlákno (monofilament) jemnosti  $T_M$  a ohybové tuhosti  $FR_M$  (reciproká hodnota ohebnosti  $F$ ) svazkem  $N$  jemnějších vláken (multifilament) o jemnostech  $T_v = T_M/N$ , dojde k poklesu ohybové tuhosti tohoto svazku  $FR_v$  na hodnotu

$FR_v = FR_M/N$ . Náhrada tlustšího monofilamentu pomocí  $N$  tenčích vláken tedy sníží ohybovou tuhost multifilamentu a zlepší jeho zpracovatelnost textilními technikami při zachování stejné vnější geometrie. Snižování jemnosti (snižování průměru) je tedy nezbytné zejména u vláken s vysokým modulem  $E$ . Při použití jemnějších vláken dojde také k navýšení počtu vláken v jednotce objemu, resp. hmotnosti.

Pro textilií ze staplových vláken konečné délky  $l_v$  [mm] a jemnosti  $T_v$  [tex] je počet vláken  $N_v$  v 1 g textilie roven

$$N = \frac{10^6}{T_v l_v}$$

Tedy např. pro bavlněná vlákna délky  $l_v = 25$  mm a jemnosti  $T_v = 0,13$  tex vyjde jejich počet v jednom gramu textilie cca  $N_v = 308\,000$ .

Růst počtu vláken se projeví zvýšením relativní povrchové plochy textilií, která hraje významnou roli např. při konstrukci kompozit nebo při aplikaci nánosů.

Tyto jednoduché úvahy demonstrují, že vlákenné struktury mají unikátní chování již díky své geometrii (dlouhé tenké útvary) a mohou se s výhodou využít v technických aplikacích. Řada dalších unikátních vlastností plyne z toho, že polymerní vlákna jsou dloužena a polymerní řetězce jsou poměrně dobře orientovány do směru jejich osy. To vede např. až k 100násobnému zvýšení počátečního tahového modulu  $E$  oproti tyčinkám ze stejného materiálu a stejné geometrie. Textilní vlákna jsou tedy výrazně tužší a pevnější [2].



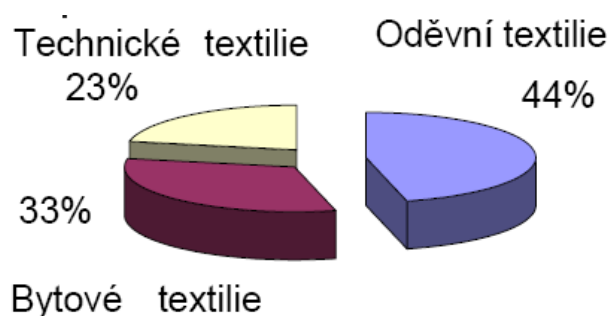
### 3. TEXTILNÍ STRUKTURY

Textilní struktury současnosti a budoucnosti mají duální roli. Jsou typickým spotřebním zbožím, ale také speciálním konstrukčním materiálem se specifickými projevy. Základní výhody textilních struktur jako konstrukčních materiálů jsou:

- Možnost přípravy na míru dle požadavků zákazníka, resp. výrobce.
- Snadná tvarovatelnost, která se dá podle potřeby upravit s vynaložením slabých silových polí.
- Dostatečná ohebnost i tuhost, která se dá snadno měnit konstrukcí struktur.
- Jednoduché spojování a dělení umožňující přípravu tvarů „na míru“.
- Přirozená síť, která se dá použít pro speciální účely (počítače, elektronika).
- Hierarchické struktury umožňující změny vlastností v širokém rozmezí.
- Jednoduchá modifikace povrchu umožňující změny řady vlastností souvisejících s chováním na rozhraní mezi vlákny a okolím.
- Možnost vrstvení a kombinování do struktur s řízenou anizotropií geometrie a vlastností.
- Snadná údržba, čištění a opravy.

Typickým rysem klasických textilních struktur je, že se jejich užitnost projevuje až při praktickém používání. Velkou roli tedy hrají zkušenosti uživatele s podobnými výrobky. Přetrvávají zde klasické principy výroby, inovace se projevují především v produktivitě a ekonomice. Potřeba prosadit se na trhu vede často k využívání rychlých inovací bez detailní analýzy skutečného přínosu, resp. významu nového efektu. Stále existuje značný rozdíl mezi laboratorní realizací a výsledky z průmyslové výroby. To způsobuje, že vlivem reklamy a kampaní podporujících prodej jsou občas používány nepřesné a často zkreslené informace sloužící jen pro přilákání zákazníka. Na druhé straně se řada průlomových řešení prosazuje pomalu, protože na ně nejsou zákazníci připraveni. Je tedy třeba zajistit jak přípravu struktur s novými, resp. výhodnějšími vlastnostmi, tak i ověřit jejich použitelnost v praxi a zajistit jejich akceptování zákaznickou komunitou.

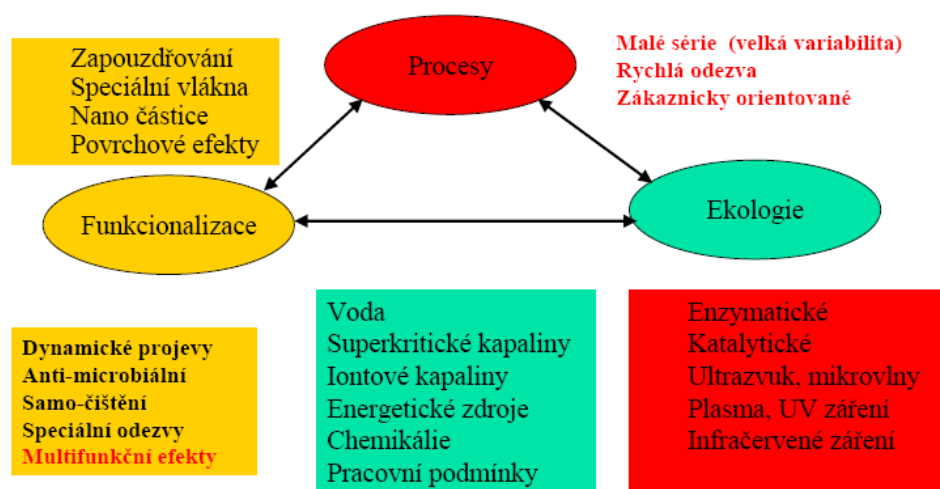
Budoucnost rozvoje textilních struktur je úzce spjata s rozvojem polymerní chemie, materiálového inženýrství, strojírenství, elektroniky a dalších odvětví. Lze očekávat změnu podílu výroby různých typů textilií oproti současnému stavu (obr. 5) ve prospěch technických a bytových textilií.



Obr. 5 Základní typy textilií v současnosti

Většina textilních vláken a vláknenných struktur se dá bez problémů použít také pro konstrukci nových nebo výrazně inovovaných textilií. Pro speciální použití je možné získat požadované efekty zušlechťováním, jako jsou zátěry, nánosování, laminace, roubování a speciální techniky v kombinaci s vhodnou konstrukcí textilií. Speciálně pro docílení vysokých pevností a modulů, resp. extrémní tepelné stability, jsou nezbytná speciální vlákna.

Při konstrukci textilií lze v budoucnosti očekávat, že budou řešeny simultánně problémy související s optimalizací technologických procesů, dále konstrukce a funkcionalizace textilních struktur se zohledněním ekologických požadavků. Na obr. 6 jsou uvedeny některé funkce, technologie a procesy umožňující komplexně výrobu textilních struktur s požadovanými efekty.



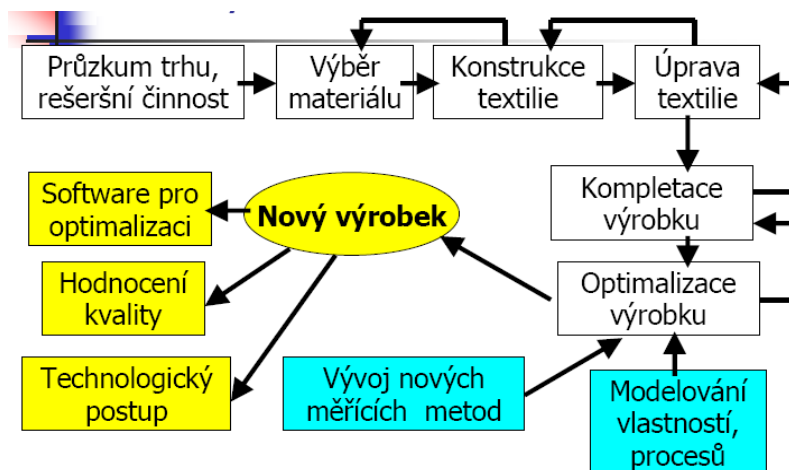
Obr. 6 Trendy komplexní výroby inovovaných textilií

Při výrobě tzv. „high-tech“ textilních struktur pro speciální aplikace bude nutné využít také:

- Nové konstrukce a struktury (distanční textilie, 3D struktury, struktury s řízeným povrchovým reliéfem, porózitou, hustotou atd.).
- Speciální druhy energie (plazma, laser) zaměřené na povrchové, resp. lokalizované působení.
- Nové techniky upevňování látek (zapouzdření, molekulární pasti, nanovrstvy).
- Nové typy materiálů (aerogely, nanočástice, tvarově a teplotně citlivé materiály, elektricky vodivé, termoelektrické, optoelektrické materiály atd.).

Některé z těchto možností jsou již ověřeny zejména v laboratorním měřítku, ale praktické aplikace jsou nesystémové a sporadické.

Při vývoji nových výrobků bude standardně využíván počítačem podporovaný systémový přístup (obr. 7).



Obr. 7 Systémový přístup k vývoji nových výrobků

Pro tyto účely budou postupně vytvořeny programové systémy kombinující stávající software zaměřený na klasickou konstrukci textilií (vzhledový design a oděvní design) se systémy predikujícími vlastnosti textilií v závislosti na jejich konstrukci (analogie CAD systémů ve strojírenství). Pro oděvní a ochranné oděvní textilie bude nezbytné zahrnout do projektování také zajištění komfortu (propustnost pro vodní páru a nepropustnost pro kapalnou vodu, tepelný odpor, ventilace). Pro optimalizaci, resp. konstrukci výrobků se zadanými vlastnostmi v průmyslovém měřítku, bude možné využít také „soft“ metody, jako je např. CBR (case based reasoning) se speciálně modifikovanou vzdáleností zohledňující charakter jednotlivých vlastností (jednostranně a oboustranně ohraničené). Pro komplexní optimalizaci bude nutné zahrnout do systémů projektování textilií a oděvů také vliv **uživatele** (jeho aktivity vedoucí k produkci metabolického tepla a potu), **oděvních vrstev** (spodní prádlo, svrchní oděv atd.) a **okolí** (teplo, vlhkost, proudění vzduchu, sluneční expozice). Očekává se napojení těchto systémů na meteorologické předpovědi a možnost informace o tom, které oděvy je vhodné použít pro zajištění komfortu.

## 4. INTELIGENTNÍ TEXTILNÍ STRUKTURY

V souvislosti s novými materiály a strukturami se používají pojmy jako "smart" a "inteligentní", které mají indikovat rozdíl oproti tradičním materiálům a strukturám (označovaným někdy jako "stupid"). Podrobná diskuse k těmto pojmům je obsažena v knize "Smart structures" [3]. Tam je uvedeno, že inteligentní (smart) nemohou být samotné materiály. Ty mají pouze zvláštní vlastnosti využitelné pro konstrukci inteligentních struktur. Jako inteligentní se pak označují takové struktury, které jsou schopny samostatně vyhodnotit stav okolí a vhodně na něj reagovat.

Nejde v pravém slova smyslu o kognitivní systémy, protože se nevolí z různých možností reakce. Inteligentní textilie budou zřejmě jedním z nejrychleji rostoucích segmentů v textilním oboru. Podle studie [4] byla v r. 2011 celková cena inteligentních textilií rovna 188 milionům EUR. Předpokládá se, že do r. 2016 ročně dojde přibližně k 23procentnímu nárůstu a k 30procentnímu nárůstu v letech 2016 až 2021.

Jako inteligentní (smart) textilie jsou označovány textilní struktury, které jsou citlivé na vnější podněty (různé typy záření, pH, mechanické, magnetické, resp. elektrické pole) a v závislosti na změnách těchto podnětů reagují vratně (obyčejně změnou tvaru). Podle způsobu reakce na vnější podněty se tyto textilní struktury ještě dále dělí na:

- a) Pasivní inteligentní textilie: jsou pouze citlivé na vnější podněty a indikují změny (vjem). Sem patří celá řada textilií, které fungují jako čidla a indikátory stavu okolí. Příkladem jsou textilie měnící barvu v závislosti na teplotě (chameleonní) a optická vlákna, která nejen přenášejí světelný signál, ale jsou citlivá na deformaci, koncentraci chemikálií, tlak, zrychlení, elektrický proud, magnetické pole atd.
- b) Aktivní inteligentní textilie: jsou schopné nejen identifikovat změnu vnějšího podnětu, ale také na tuto změnu reagovat způsobem vedoucím k jejich pasivaci (vjem a reakce). Příkladem jsou teplo regulující textilie (schopné uložení, resp. uvolnění tepelné energie podle změn teploty okolí), textilie s tvarovou pamětí (s reverzibilními změnami tvaru při ohřevu, resp. chlazení), textilie s variabilní prodyšností a propustností pro vodní páry a textilie stabilizující teplotu.

U aktivních inteligentních textilií se ještě vyděluje skupina vysoce aktivních textilií, které jsou kromě indikace a reakce na změnu podmínek okolí také schopné přizpůsobení změněným podmínkám.

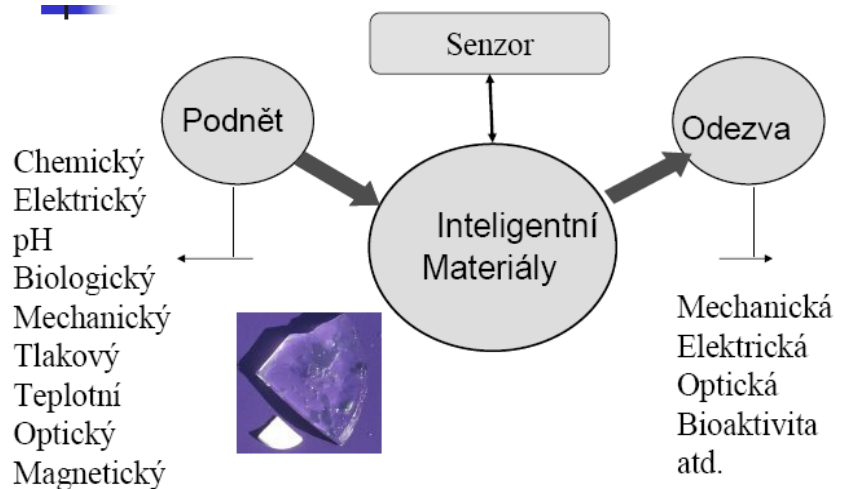
Mezi pasivní inteligentní textilie patří také součásti tzv. oděvní (oblékač) elektroniky, resp. oblékačích počítačů. V první generaci oblékač elektroniky jsou standardní textilie se zabudovanou běžnou miniaturizovanou elektronikou. Ve druhé generaci jsou již funkce integrované přímo do textilií, tj. jde o textilní elektroniku (textilní displeje, klávesnice, přepínače.), a ve třetí generaci se vychází z vláken s elektronickými funkcemi (textilní počítače).

V řadě případů se tyto textilie používají jako oděvní textilie zajišťující špičkový komfort (chránící proti teplotním výkyvům, upravující podmínky ventilace vzduchu a vodní páry) nebo usnadňující komunikaci, resp. použití běžných elektronických přístrojů (mobilní telefony, indikátory polohy a stavu člověka, počítače). Důležité jsou také aplikace pro vojenské účely. Jde zejména o ochranu vůči extrémním klimatickým podmínkám, znesnadnění identifikace (kamufáž) a indikaci, resp. ochranu vůči bojovým plynům, bakteriím a virům. Jejich využití je

také v oblasti neoděvních aplikací, ať jsou to materiály sloužící jako bariéry vůči mechanickým, elektrickým, magnetickým polím a zářením různých délek (od ultrafialového až k infračervenému) nebo materiály fungující jako inteligentní filtry a separátory (odsolovače mořské vody), resp. speciální zdroje energie (chemo-mechanické odezvy). V oblasti medicíny mohou sloužit kromě svých bariérových schopností také jako materiály pro inteligentní dávkování léčiv (v závislosti na stavu pacienta) a pro diagnostiku poruch funkcí lidského organismu. Nové směry v oblasti inteligentních textilií jsou zaměřeny na tyto funkce:

- Samo opravování
- Samo adaptace
- Sběr energie

Inteligentní textilní struktury jsou tedy obecně schopné pozitivní reakce na změnu vnějších podnětů (obr. 8).



Obr. 8 Inteligentní textilní struktury

Jednoduše se provádí klasifikace inteligentních struktur podle typu podnětu. Fyzikální podněty jsou teplota, elektrické pole, světlo, tlak atd. Mezi chemické a biochemické podněty patří pH a specifické molekulární rozlišení.





## 5. NANOTECHNOLOGIE A NANOČÁSTICE

Nanotechnologie se v posledních letech výrazně posunuly z oblasti výzkumu do oblastí průmyslových aplikací. Nanotechnologie ovlivňují a budou dále výrazně ovlivňovat takové obory, jako je medicína, výpočetní technika, optoelektronika, materiálové inženýrství, biotechnologie atd. Z fyzikálního hlediska (speciálních efektů) se za nano materiály považují takové látky, které mají alespoň jeden rozměr menší než 100 nm. Nanomateriály se z geometrického hlediska dělí do čtyř skupin:

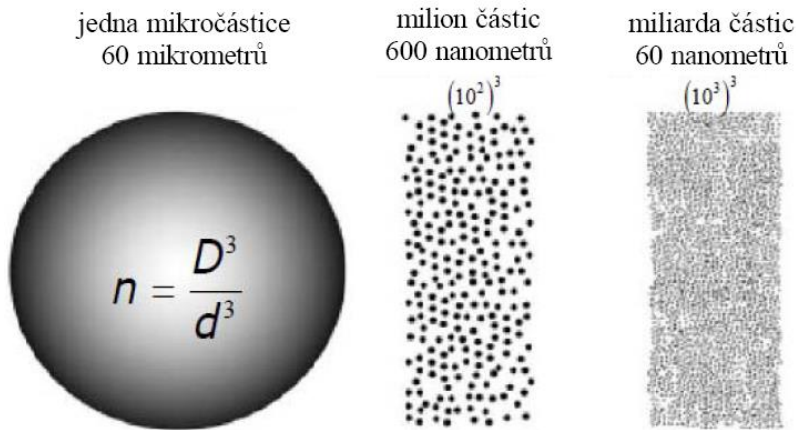
- a) Materiály s jedním rozměrem v řádu nanometrů s tím, že ostatní dva rozměry mohou být větší (např. vrstevnaté křemičité materiály s tloušťkou vrstvy několik nanometrů, ale ostatními rozměry kolem 1000 nm).
- b) Materiály s dvěma rozměry v řádu nanometrů s tím, že zbylý rozměr může být větší (např. uhlíkové nanotrubičky a nanovlákná).
- c) Materiály se třemi rozměry v řádu nanometrů (např. různé typy nanočástic).
- d) Nanostrukturované materiály, kde alespoň jeden strukturní prvek má význačný rozměr v nanometrech. To jsou např. aerogely, nanoporézní membrány, nanokystalické struktury, blokované kopolymery atd.

V textilní oblasti se v řadě případů pracovalo na nano úrovni ještě před rozšířením tohoto pojmu. Příkladem je barvení disperzními barvivy, tepelná fixace a řada jiných operací, kde změny začínají na úrovni desítek a stovek nanometrů. Řada těchto efektů se projevuje i na mikro a makro úrovni a nano úroveň nebyla řízeně měněna. Nanomateriály se v textilním oboru používají zejména jako:

- Nanovlákná, nanopříze a nanovláknenné spleti vyrobené především technologií zvláknování v elektrostatickém poli.
- Nanočástice (antimikrobiální úpravy, odolnost vůči oděru, samo čištění – lotosový efekt).
- Nanoporézní materiály (aerogely).
- Nanokompozita (zlepšení mechanických vlastností a tepelné odolnosti vláken).
- Uhlíkové nanotrubičky (zlepšení mechanických a elektrických vlastností).

Speciálně u **nanočástic** závisí jejich chování kriticky na jejich velikosti. Částice velikosti 100 nm obsahují kolem milionu atomů. Částice o poloměru 1 nm již obsahují jen kolem 25 atomů. Monomolekulární vrstva má tloušťku kolem 2–3 nm.





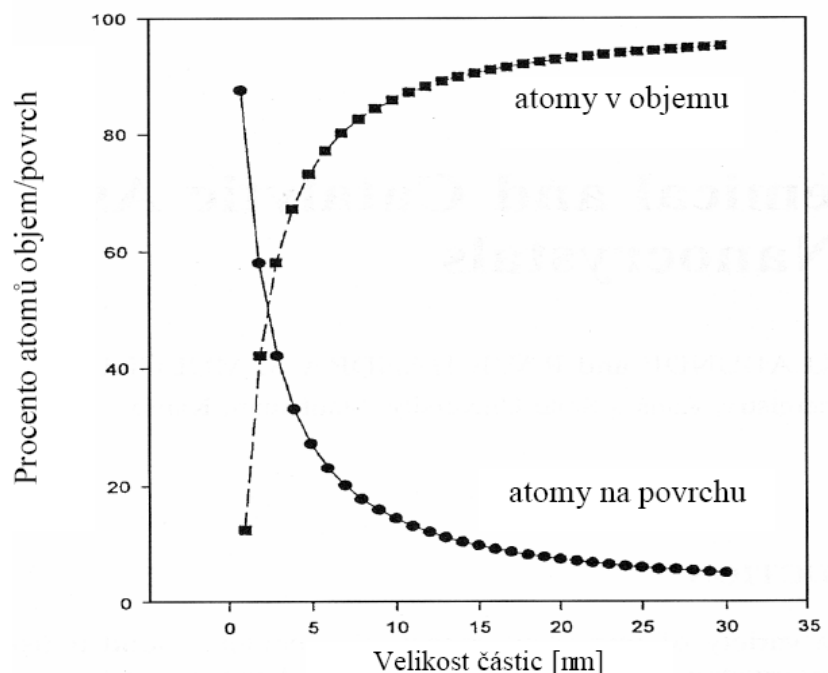
Obr. 9 Počet částic různé velikosti majících stejnou celkovou hmotnost (objem)

Lze snadno odvodit, že počet menších kulovitých částic průměru  $d$  vzniklých dělením jedné kulovité částice průměru  $D$  je roven třetí mocnině podílu  $D/d$ . Počet menších částic při stejném celkovém objemu (hmotnosti) je tedy podstatně vyšší (obr. 9) a dochází ke snížení velikosti volných objemů ve struktuře stejné velikosti, tedy k vyššímu zaplnění objemu částicemi.

Počet částic v daném objemu je přímo úměrný jejich koncentraci a nepřímo úměrný třetí mocnině jejich průměru. Snižování průměru částic do oblasti desítek nanometrů tedy extrémně zvyšuje počet částic v daném objemu při jejich stejné koncentraci.

Velikost nanočástic obecně vyvolává zajímavé efekty:

- Extrémně velká specifická povrchová kontaktní plocha spojená s tím, že většina atomů je na povrchu (obr. 10).
- Rozměrová podobnost s délkou UV a viditelného záření. Absorpce záření, rozptyl a barva pak závisí na velikosti částic.
- Kritické délky (střední volná délka pohybu) u transportních vlastností, jako je difuze, jsou srovnatelné nebo vyšší než rozměr nanočástic.
- Toxicita částic roste s poklesem velikosti částic.



Obr. 10 Vliv velikosti částic na podíl atomů na povrchu a uvnitř



Také částice větší než 100 nm mají stále poměrně vysokou relativní povrchovou plochu a využívají se pro zvýraznění různých efektů.

Takové částice se běžně označují jako sub-mikronové. Nevýhodou všech částic menších než jeden mikrometr je jejich poměrně vysoká cena ve srovnání s hrubšími částicemi.

Nanočástice mají řadu vlastností závislých na jejich velikosti:

- Nižší bod tání, nižší teplota spékání.
- Posun optického spektra k malým vlnovým délkám.
- Větší šířka mezi pásy u polovodičů.
- Změna magnetických vlastností (magnetický moment).
- Vyšší katalytická aktivita.
- Vyšší tendence k agregaci a degradaci.

Nanočástice se běžně aplikují z disperzí ve vhodném kapalném prostředí. Klíčovým problémem je vhodná stabilizace zamezující agregaci. **Elektrostatická stabilizace** zahrnuje coulombovské odpuzování mezi částicemi způsobené elektrickou dvouvrstvou vytvořenou ionty adsorbovanými na povrchu částic (např. citrát sodný) a příslušnými protiionty.

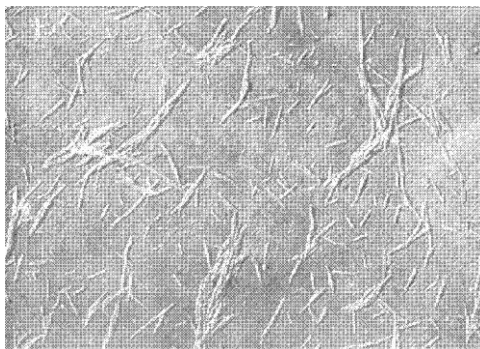
**Sférická stabilizace** je zajištěna pomocí uspořádaných organických molekul tvořících ochrannou vrstvu na povrchu částic. Vlastní nanočástice jsou vzájemně odděleny a je zabráněno jejich aglomeraci. Základní typy ochranných molekul jsou: polymery a kopolymery, fosfíny, aminy, thioétery, rozpouštědla, vyšší alifatické alkoholy, povrchově aktivní látky a organokovy.

19

Pro přípravu nanočástic se využívá celé řady technik. Poměrně jednoduché je mletí. Vysoké síly mletí lze docílit použitím vysokých frekvencí a malých amplitud vibrací. Kulové mlýnky (např. SPEX model 8000) jsou výhodné pro malé objemy nanočástic (kolem 1 dl). Jsou však energeticky náročné. Rychlost získávání produktu je řádově vyšší ve srovnání s ostatními mlýnky. V řadě případů se kombinuje mletí s chemickým a fyzikálním působením na makro částice. Např. při přípravě nanocelulózových částic z juty se používá tento postup:

1. Mercerizace 2 hod. v NaOH při koncentraci 18 % za běžné teploty.
2. Zpracování 1 hod. v 1M roztoku H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.
3. Alkalické zpracování 1 hod. ve 4procentním NaOH.
4. Vysoce energetické nano mletí za mokra.

Typický jehličkovitý tvar nanocelulózových částic je patrný z obr. 11.

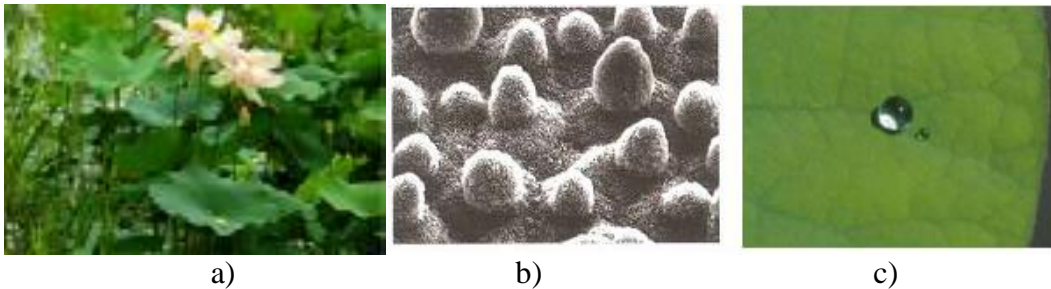


Obr. 11 Jehličky nanocelulózových částic

Nanočástice nabízejí řadu nových nebo zlepšených možností: elektrická vodivost, antistatické vlastnosti, povrchová struktura (hydrofobní/hydrofilní), ochrana proti UV záření, pronikání plynů, elektromagnetickému smogu, hoření, mikrobům, zlepšení barvitelnosti, odolnosti v oděru a mechanických vlastností.

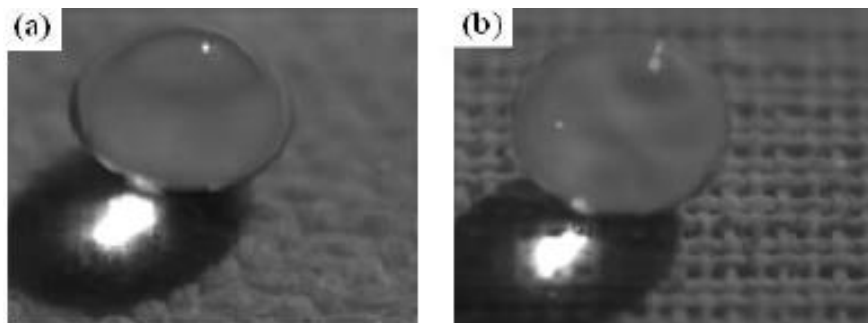
Smáčivost povrchů je ovlivněna volnou povrchovou energií a povrchovou drsností (lotosový efekt – viz obr. 12).

Povrchová volná energie se dá řídit chemickou modifikací, např. zátěrem s obsahem fluoro polymerů. Nanočástice umožňují přípravu nanostrukturovaných povrchů, které mohou zajistit v kombinaci s chemickou modifikací superhydrofobní chování [5]. Jako superhydrofobní se označují povrchy s kontaktním úhlem vody větším než  $150^\circ$ .



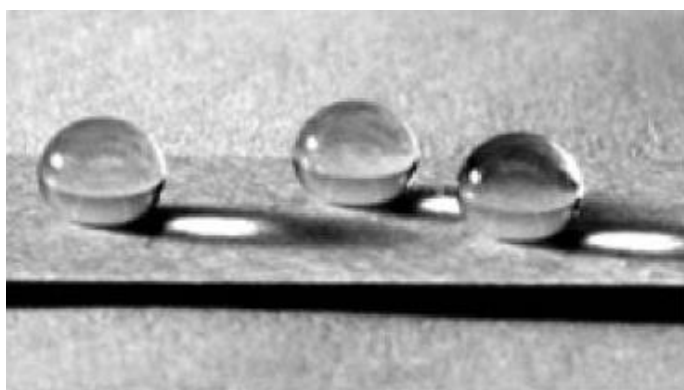
Obr. 12 a) lotos, b) nanostruktura povrchu lotosového listu ([www.biologie.uni-hamburg.de](http://www.biologie.uni-hamburg.de)), c) kapka vody na lotosovém listu ([www.victoria-adventure.org](http://www.victoria-adventure.org))

Na hladkých površích lze docílit kontaktní úhel vody maximálně 120° pro polytetrafluoetylén. Na obr. 13 je kapka vody na povrchu dvou různých polyesterových tkanin se zátěrem obsahujícím nanočástice CaCO<sub>3</sub> (krychle velikosti 40–70 nm) a poly (styrene-b-(ethylen-co-butylene)-b-styren) kopolymer.



Obr. 13 Kapka vody na povrchu polyesterových tkanin se zátěrem nanočástic [5]

Je patrná vysoká hydrofobita povrchu textilií. Tento efekt zůstává prakticky zachován po praní za běžných podmínek. Je zajímavé, že superhydrofobicitu povrchů ovlivňuje především velikost a tvar částic, což umožní využití nanočástic např. z odpadních materiálů (popílek atd.). Přehled současných přístupů ke tvorbě superhydrofobních povrchů (nanočástice, řízená destrukce, odleptávání, oddělování fází, růst krystalů, agregace částic, nanolitografie, vtlačování vzorů atd.) je uveden v práci [6]. Také vrstva hydrofobních nanovláken na povrchu textilních substrátů způsobuje zvýšení hydrofobity (obr. 14) [7]. Tyto vrstvy jsou současně odolnější proti olejům, znečištění a zaprášení. Jsou také v kategorii samočisticích povrchů, kdy se částice prachu snadno odstraňují nabalováním na kapky vody.



Obr. 14 Superhydrofobní povrch nanovlákněné spleti z blokového polymeru poly(styren-dimetylsiloxan) [7]

Nanočástice se často s výhodou používají jako plniva do polymerů a zátěrů, kde vykazují celou řadu speciálních projevů, jako jsou:

- Vzájemné interakce mezi částicemi vznikající při nízkých koncentracích (< 0,1 %).
- Nízký perkolační práh (1 %), tj. práh, kdy se efekt začne výrazně projevovat.
- Vysoký počet částic (10<sup>30</sup> v 1 cm<sup>3</sup>).
- Vysoká mezipovrchová plocha při styku s polymerní matricí.
- Malé vzdálenosti mezi částicemi.
- Optická propustnost.
- Speciální dielektrické vlastnosti.
- Elektrická vodivost.
- Biologická aktivita.
- Fotokatalytická aktivita (TiO<sub>2</sub>, MgO).
- Blokování UV.

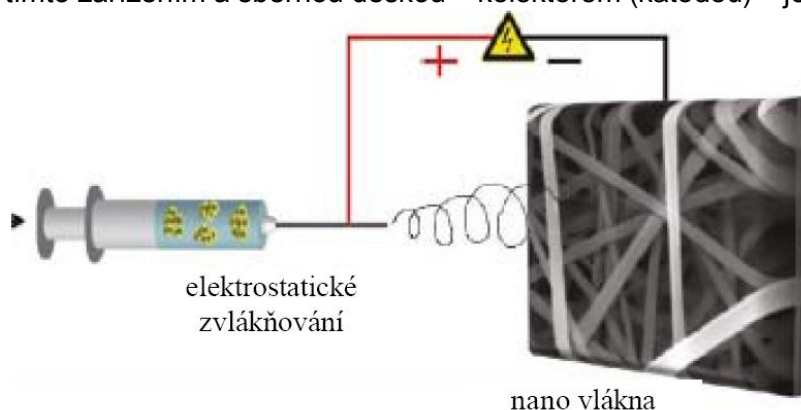
Výhledově lze očekávat intenzivní výzkum související s optimalizací velikosti částic s ohledem na jejich efekty, cenu a případnou toxicitu. Tyto částice budou částečně připraveny z odpadních surovin nebo recyklátů (odpadní sklo, odpady z výroby uhlíkových vláken a kompozit, popílek, vláknenné odpady) a částečně budou získány zmenšováním rozměrů běžných částic určených pro speciální úpravy.

Částice optimálních velikostí budou vhodně kombinovány s textilními prostředky pro speciální úpravy s cílem využít synergických efektů. Bude řešena aktivace částic, zejména pomocí řízené fyzikálně chemické degradace a modifikace povrchů. Výzkum bude zaměřen na možnosti ukotvení částic a jejich kombinací do zátěrů a využití technik barvení s možností následné stabilizace. Budou sledovány také vlivy těchto úprav na zlepšení tepelného komfortu textilií, využití pro absorpci pachů, včetně cigaretového kouře, a zlepšení antistatických projevů textilií. Zakotvením částic v textilních úpravnických prostředcích bude zároveň řešena rizikovitost jejich používání.

Speciální třídu nanomateriálů tvoří **nanovlákná**, resp. přesněji řečeno spleti submikronových vláken. Pro jejich výrobu se většinou používá technologie elektrostatického zvlákňování. Jde o technologii známou více než 100 let. Výhodou je možnost přípravy spleti vláken o průměru 5–500 nm s velmi nízkou porózitou. Ve standardním uspořádání se polymer přivádí kovovým injekčním dávkovacím zařízením průměru kolem 1 mm (anoda) rychlostí 0,5–10 ml/hod. Mezi tímto zařízením a sběrnou deskou – kolektorem (katodou) – je vysokonapěťové pole 5–65 kV.

V tomto poli tvoří původně kapénky polymeru spojitý proud, který tuhne a tvoří vlákna během průchodu mezerou mezi elektrodami (10–30 cm). Vzniká kapalný paprsek, který se zužuje a větví a následně tuhne (obr. 15).

22



Obr. 15 Schematické znázornění klasického elektrostatického zvlákňování

V realitě dochází k chaotickým pohybům polymerního proudu způsobeným repulsními silami mezi nabitými částicemi. Ukládání vláken na sběrnou desku je chaotické, což je pro některé aplikace (filtry, membrány) výhodné. Na druhé straně jde o diskontinuální výrobu s nerovnoměrným ukládáním spleti.

Pro případ nízké viskozity polymerního roztoku (nízké molekulové hmotnosti) a vysokého povrchového napětí dochází k rozdělení na menší kapičky (elektrospraing). Při vyšších viskozitách (vysoké molekulové hmotnosti) a snižování povrchového napětí dochází k protahování kapky (vznik Taylorova kužele) a vzniku vláknenné struktury. Pro elektrostatické zvlákňování bylo již použito více než 50 různých polymerů (v řadě případů s různými částicemi). Standardně jsou pro přípravu polymerních roztoků použity voda a organická rozpouštědla. Lze volit i polymerní taveniny (na vzduchu, resp. v inertní atmosféře). Výhodné je také dodatečné zpracování (zesítnění, tepelná stabilizace, mechanické zpevnění). Injekční dávkovací zařízení se dnes sdružuje do polí s počítačem řízenými pohyby ve směru kolmém



na směr osy stroje, což zajišťuje rovnoměrné ukládání vlákně spleti v nekonečném pásu. Další možností je náhrada klasických trysek jinými ústrojími.

Je možné také cíleně měnit uspořádání sběrné elektrody a získat tak různé formy nanovlákně spleti.

Průmyslově realizovaný NANOSPIDER založený na patentu prof. Jirsáka a kol. z Fakulty textilní TU Liberec využívá rotujícího válce (obr. 16).



Obr. 16 Systém NANOSPIDER

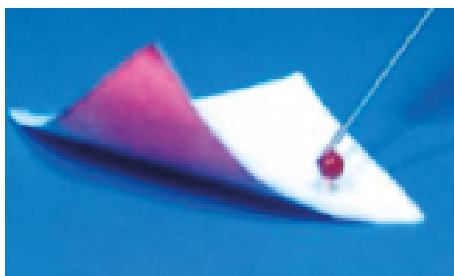
Řízené ukládání vlákně spleti se dá realizovat např. pomocí změn směru elektrického pole mezi dvěma paralelními deskami, křídlovými elektrodami vyvolávajícími sbíhání vláken na kolektoru a rotačním válcovým kolektorem umožňujícím tvorbu multifilu.

Již dnes tedy existuje řada možností výroby textilií s obsahem nanovláken. Přehled metod výroby nanovláken v průmyslovém měřítku obsahuje práce [8]. Základními omezeními praktického použití je zatím především vysoká citlivost nanovláken na působení mechanických polí (zejména oděr), nestabilita v procesech údržby a omezená trvanlivost při jejich použití. Lze tedy očekávat uplatnění tam, kde se tyto nevýhody neprojeví, tj. např. v oblasti tkáňového inženýrství. Při použití nanovláken pro ochranné vrstvy a ochranné textilie se projevují následující skutečnosti:

- větší odpor proti pronikání vzduchu,
- menší odpor proti pronikání vodních par,
- zachycování aerosolových částic,
- zlepšená filtrační účinnost.

Zajímavé je využití nanovlákně spleti pro řízené dodávání léků a konstrukci čidel. Díky velkému měrnému povrchu (nano rozměry) je odezva čidel větší, resp. práh citlivosti menší. Již dnes jsou známy některé slibné výsledky při použití speciálních nanovláken pro tvorbu kompozitních struktur.

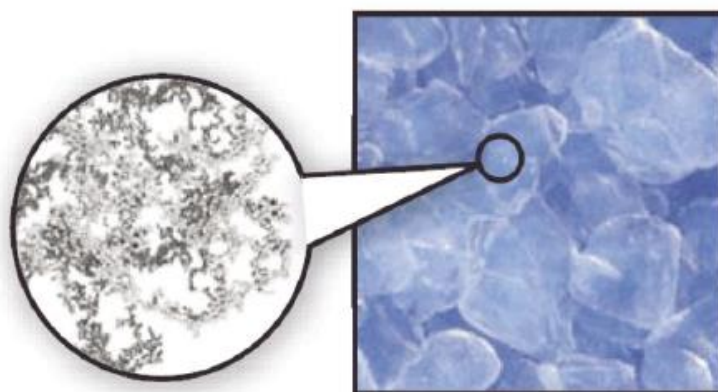
Nanovlákně spleti jsou použitelné také pro získávání velmi speciálních efektů. Příkladem je struktura nazvaná Janus (podle boha Januse se dvěma tvářemi), která je na jedné straně hydrofilní a na druhé straně hydrofobní (obr. 17). Vyrábí se elektrostatickým zvlákněním PAN a tetraethylortosilikátu v dimethylformamidu na hliníkovou folii. Následuje tepelné zpracování (na vzduchu při 200 °C), které způsobí povrchovou hydrolyzu (vznikají skupiny – COOH). Tato vrstva má prakticky nulový kontaktní úhel vody. Na tuto vrstvu se elektrostatickým zvlákněním opět stejného roztoku nanese další vrstva. Ta je superhydrofobní s kontaktním úhlem vody 151,2° [9].



Obr. 17 Janusova struktura se super hydrofobní a super hydrofilní stranou [9]

Velmi zajímavou třídou materiálů s nanoporézní strukturou jsou aerogely, které byly objeveny v letech 1929–1930 S. S. Kistlerem. Aerogely jsou silně porézní materiály s velmi nízkým obsahem pevné fáze (obvykle pod 10 %) vzniklé odstraněním kapaliny z křemičitých gelů při zachování jejich struktury. Standardně se používá techniky superkritického sušení. Tyto materiály mají extrémně nízkou tepelnou vodivost, takže se hodí jako izolátory tepla. Jejich praktickému rozšíření bránila vysoká cena a riziková technologie výroby.

V roce 2003 se firmě Cabot podařilo realizovat průmyslovou výrobu křemíkového aerogelu s názvem Nanogel®. Název je poněkud zavádějící, protože klasický nanogel je složen z nanočástic umístěných v gelu. Tento materiál se dodává ve formě částic o velikosti 5  $\mu\text{m}$  až 4 mm. Jeho tepelná vodivost je pouze 9–12 mW/mK, poróznost je kolem 95 % a velikost pórů je 20–40 nm. Specifická tepelná kapacita je 0,7–1,15 kJ/(kg K). Relativní povrchová plocha je extrémně vysoká, kolem 750  $\text{m}^2/\text{g}$ , a hustota je extrémně nízká, kolem 30–100  $\text{kg}/\text{m}^3$  [10]. Struktura aerogelu Nanogel® je patrná z obr. 18.



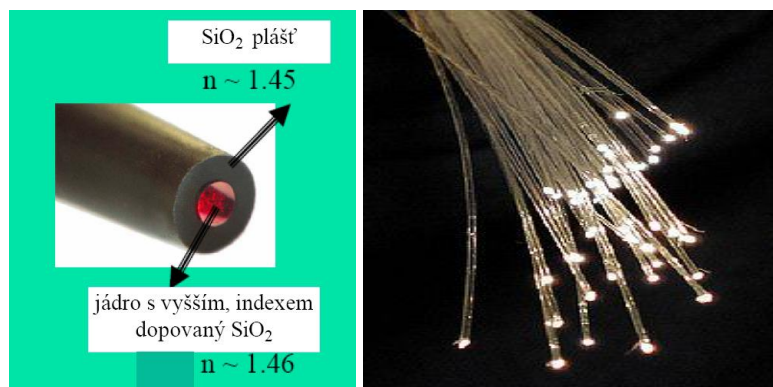
Obr. 18 Struktura aerogelu Nanogel® [10]

Lze očekávat, že aerogely ve formě aditiv do zátěrů bude možno použít pro řadu aplikací v textilním oboru. Zajímavá je také vysoká schopnost aerogelů absorbovat oleje (vzhledem k hydrofobní povaze křemičitého aerogelu), která by mohla být využita např. pro čištění ropných skvrn nebo jako součást speciálních filtrů.



## 6. OPTICKÁ VLÁKNA PRO APLIKACE V TEXTILIÍCH

Optické vlákno je dielektrický vlnovod, který přenáší zpravidla světlo či infračervené záření podél své osy procesem úplného vnitřního odrazu na rozhraní dvou prostředí s rozdílným indexem lomu. Vlákno je složeno z jádra a obklopeno pláštěm (obr. 19).



Obr. 19 Polymerní optické vlákno

Aby došlo k přenosu optického signálu, musí být index lomu jádra vyšší, než má plášť. Optická vlákna jsou obvykle skleněná (křemičitá skla) nebo polymerní (polymetylmetakrylát – PMMA). Při pohybu světelného paprsku optickým vláknem dochází k jeho útlumu (světelným ztrátám závislým na vlnové délce světla). Útlum jádra se snižuje s poklesem jeho průměru. Útlum je podpořen také ohybem a tahem nebo krutem vláken [11].

25

Materiál optického vlákna má charakteristickou vnitřní absorpci a rozptyl světla, které jsou základním zdrojem útlumu. Ke světelným ztrátám dochází také vlivem nečistot, vad a geometrické nedokonalosti vláken. Plastická optická vlákna (POM) byla vyvinuta firmou DuPont v roce 1964. Jde o velmi pružné vlnovody z téměř průhledných dielektrických materiálů. Komerční produkt byl uveden na trh poprvé firmou Mitsubishi Rayon. Klasická plastická optická vlákna (POF) jsou vyrobena z polykarbonátu, polymetylmetakrylátu nebo polystyrenu. Moderní polymerní optická vlákna jsou na bázi „perfluorovaných“ polymerů. Poloměr jádra se obvykle pohybuje mezi 125 a 490  $\mu\text{m}$ . Běžná hodnota indexu lomu pláště optického vlákna je 1,46. Typická hodnota pro jádro je 1,48. Čím větší je index lomu, tím pomaleji se světlo pohybuje v daném prostředí. Obal optického vlákna má funkci mechanické ochrany a je většinou z polyetylénu, i když se používá také polyvinylchlorid a chlorovaný polyetylén. Polymetylmetakrylát (PMMA) má vysokou přenosovou rychlost a nízké ztráty [11].

Homopolymer PMMA má index lomu  $n = 1.492$ . Tento index se dá měnit pomocí speciálních dopantů. PMMA má vysokou teplotu zesklennění kolem 105 °C. Je stálý na vzduchu do teplot 85 °C. Při vyšších teplotách za přítomnosti vlhkosti dochází k rychlé degradaci a omezení životnosti. Ve větším teplotním rozmezí až do 120 °C lze použít polykarbonát, který je také mechanicky odolnější, méně citlivý na vlhkost a má větší tažnost (10,8 % ve srovnání s 6,3 % pro PMMA). Počáteční modul v tahu pro POF je téměř o dva řády nižší než u křemíkových vláken (2,1 GPa pro PMMA a 2,55 GPa pro polykarbonát). Z tohoto důvodu jsou POF průměru 1 mm ještě dostatečně flexibilní. Minimální poloměr ohybu pro POF je menší než pro klasická



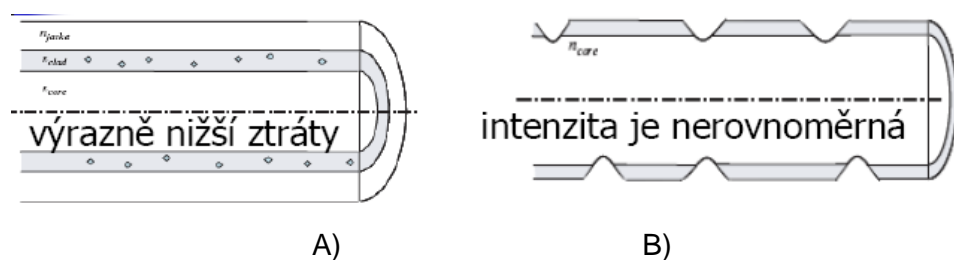
skleněná optická vlákna. Maximální provozní teplota POF je 80 až 100 °C. Nad touto hranicí dochází ke ztrátě tuhosti a transparentnosti.

Odolnost vůči vysokým teplotám silně závisí na stupni vlhkosti. Např. pokud je POF udržován na 85 °C s 85 % relativní vlhkosti po dobu 1000 hodin, narůstá útlum o 0,02 dB/km. Je-li relativní vlhkost vzduchu kolem 90 %, zvyšuje se útlum o více než 0,03 dB/m. Fluorovaná jádra POF neabsorbují vodu, takže útlum se prakticky nemění s růstem stupně vlhkosti. Polyetylenový obal také slouží k ochraně POF vůči kapalinám. Výhledově je možné očekávat využití dalších typů polymerů omezujících zejména degradaci a životnost POF v podmínkách použití.

Pro řadu textilních aplikací (např. tzv. aktivní bezpečnostní textilie) je třeba umožnit stranové vyzařování. **Stranového vyzařování** lze dosáhnout, pokud je úhel dopadajícího světla  $U$  menší než kritický úhel  $U_c$ . Toho lze docílit buď zvýšením indexu lomu pláště, nebo snížením indexu lomu jádra, případně změnou úhlu dopadajícího světla  $U$ .

Je možné použít vícenásobného mikroohýbání jádra nebo pláště, přidavků aditiv způsobujících rozptyl, resp. Fluorescenci, buď do jádra, nebo pláště nebo vytvoření geometrické asymetrie v sytému jádro/plášť. Různé typy stranově vyzařujících optických vláken a vlnodů a metody jejich výroby jsou patentově chráněné. Základní možnosti jsou [11]:

- při výrobě vláken se do polymeru umísťují vhodné „mikro“ korálky,
- povrch vláken je chemicky nebo mechanicky narušen,
- je použito speciálních polymerů pro výrobu tzv. „zrcadlových“ vláken (2D fotonické krystaly obsahující alternující vrstvy materiálu s vysokým rozdílem indexů lomu), tato vlákna vyvinula firma OmniGuide Communications.



Obr. 20 Základní typy zajištění stranového vyzařování [11]

Na obr. 20A je jádro vedoucí světlo pokryto pláštěm se zabudovanými částicemi zajišťujícími rozptyl světla a ochranným obalem. Na obr. 20B je jádro vedoucí světlo pokryto pláštěm s mikro-zářezy. POF vlákna se rychle rozkládají při intenzitě osvětlení 30–50 mW/mm<sup>2</sup>.

Stranově vyzařující optická vlákna mohou v budoucnu konkurovat světlo emitujícím diodám (LED), zejména pokud bude jednoduché dosáhnout řízeného lokálního vyzařování.

Optická vlákna (zejména stranově vyzařující) lze zabudovat do celé řady textilních struktur od etiket přes pásky a pásy, šňůry, až ke speciálním záplatám, tkaninám a pleteninám (obr. 21).

Ke každé struktuře bude třeba dodat odpovídající systém osvětlení a napájení stabilní v podmínkách používání. Vzniklé komplexní systémy bude možné konstruovat jako snadno upevnitelné na různé klasické textilní struktury a jednoduše vyměnitelné.



*Obr. 21 Pásek se zabudovanými stranově vyzařujícími optickými vlákny [11]*

## 7. ZLEPŠENÍ ELEKTRICKÉ VODIVOSTI

Většina textilních vláken patří mezi elektrické izolátory. To je způsobeno skutečností, že všechny elektrony jsou vázány k atomovým jádrům nebo sdílené v kovalentních vazbách. Jejich elektrická vodivost však není úplně nulová a závisí na obsahu různých přísad, resp. obsahu vlhkosti. Bylo experimentálně ověřeno, že pro hydrofilní polymery postačuje 1procentní obsah vlhkosti, aby jejich vodivost vzrostla o 8–10 řádů [11]. Charakteristikou elektrického chování textilií je měrný odpor  $R_E$  [ $\Omega$  m], což je vlastně elektrický odpor  $R$  násobený plochou příčného řezu a dělený tloušťkou textilie. Podle elektrického měrného odporu  $R_E$  se látky dělí na vodiče ( $R_E = 10^{-8}$ – $10^{-2}$   $\Omega$  m), polovodiče ( $R_E = 10^{-2}$ – $10^0$   $\Omega$  m) a nevodiče ( $R_E = 10^0$ – $10^{16}$   $\Omega$  m). Klasická syntetická vlákna mají extrémně vysoký měrný elektrický odpor  $R_E = 10^{12}$ – $10^{14}$   $\Omega$  m. Antistatická vlákna mají měrný elektrický odpor  $R_E = 10^6$ – $10^{10}$   $\Omega$  m a elektricky vodivá vlákna mají měrný elektrický odpor kolem  $10^{-7}$   $\Omega$  m, nebo nižší [11].

S velikostí elektrického odporu vláken souvisí přímo velikost elektrostatického náboje. Problém generace a rozptylování elektrostatického náboje je velmi komplexní. Nesouvisí pouze s „lepením“ oděvních součástí, ale souvisí také s problémy týkajícími se výroby textilií, resp. jejich zušlechťováním. Nabíjení elektrostatickým nábojem vyžaduje jistý přesun náboje. Teoretická velikost elektrostatického náboje na textiliích je až  $10^5$  [ $\mu$ C/m<sup>2</sup>], ale jeho „vytékání“ do okolí tuto hodnotu snižuje na 30 [ $\mu$ C/m<sup>2</sup>]. Tomu odpovídá elektrické pole velikosti 3000 [kV/m]. Generování statického náboje může probíhat řadou různých mechanismů, které se často vzájemně kombinují. Proces tvorby statické elektřiny se dá rozdělit do tří fází:

28

1. při kontaktu dvou povrchů dochází k pohybu elektrického náboje tak, že se na jednom povrchu hromadí přebytek elektronů;
2. na kontaktním mezipovrchu vzniká elektrická dvojvrstva, ale elektrostatická elektřina se neprojevuje, protože díky kontaktu obou povrchů se celý systém jeví elektricky neutrální;
3. při mechanickém oddělení povrchů dochází ke vzniku statické elektřiny a jejímu postupnému snižování vlivem neutralizace a disipace v závislosti na elektrickém měrném odporu materiálu.

Na materiálech, kde je vytvořen elektrický náboj, dochází k těmto jevům:

- statická přitažlivost: vzájemné lepení textilních vrstev, akumulace prachu na povrchu, špinění atd.;
- statická odpudivost: špatná adheze při nánosování, vrstvení a pojení více vrstev;
- statické vybíjení: elektrické šoky při vybíjení přes vodiče a tvorba jiskry způsobují hoření až explozi, poškození elektronických přístrojů, vznik elektronického šumu;
- fyziologické změny: růst krevního tlaku a pH krve, zvýšení únavy, snížení obsahu vápníku v moči.

Odvod již vzniklého elektrostatického náboje lze docílit buď použitím vodičů nebo zvýšením navlhavosti (hydrofilizace). Odstranění elektrostatického náboje pak napomáhá také zvýšení vlhkosti okolí. K neutralizaci elektrostatického náboje dochází řízeným pohybem volných iontů v blízkosti nabitě látky. V případě vodivých vláken je náboj neutralizován vlivem koronového vybíjení. K blokování elektrostatického náboje dochází pokrytím nabitěho tělesa vodivou vrstvou.



Antistatického, resp. elektricky vodivého efektu je možné docílit buď přímo na vláknech, nebo na textiliích. Pro výrobu antistatických, resp. elektricky vodivých vláken se používá těchto základních technik:

- a) Tvorba bikomponentních vláken obsahujících antistatickou látku. Používají se zejména C/S typy, kdy na povrchu je polymer obsahující hydrofilní prostředky, jako je polyalkylénglykol (kondenzační produkty etylénoxidu, resp. propylénoxidu) nebo N-alkylpolyamidy. S růstem molekulové hmotnosti těchto prostředků roste antistatický efekt, ale klesá tepelná odolnost. Molekulová hmotnost těchto antistatických prostředků se pohybuje kolem 10 000 až 30 000. Pro zajištění dobrých antistatických vlastností má být obsah polymeru obsahujícího antistatický prostředek alespoň 25 % z plochy celého příčného řezu. Problémem je, že tato vlákna nijak neomezují tvorbu a akumulaci statického náboje. Fungují dobře, pokud je v okolí textilie relativní vlhkost vzduchu alespoň 40 %.
- b) Tvorba vláken plněných vodivou látkou. Jako vodivé materiály se používají kovové prášky (stříbro, měď, nikl), uhlíkové látky (uhlíková čern, grafit, uhlíková vlákna), oxidy kovů (oxid zinečnatý, cíničitý, antimonový) a anorganické částice pokryté oxidy kovů. Jako vhodné se jeví C/S typy, kdy je vodivé jádro chráněno vrstvou polymeru. Efekt elektrické vodivosti je však omezen. Proto se používá celé řady dalších uspořádání bikomponentních vláken, kdy se alespoň část elektricky vodivé vrstvy dostává na povrch vlákna.
- c) Použití vodivých vláken (uhlíková, kovová), resp. polymerem potažených vodivých vláken.
- d) Ukládání vodivých vrstev na povrch (nebo těsně pod povrch) vláken s využitím jak fyzikálních (napařování, adsorpce), tak i chemických (srážení, výměnné reakce) postupů. Jako příklad vhodných látek lze uvést nikl, stříbro, siřník měďnatý, měď.
- e) Příprava pokovených nebo kovových vláken.
- f) Použití speciálních vodivých organických polymerů s konjugovanými  $\pi$  elektrony (polyacetylen, polyanilín, polypyrrol).

Textilie se zvýšenou elektrickou vodivostí se často používají ve speciálních oděvních a technických textiliích, kde je účelem nahradit klasické kovy, resp. jiné materiály pomocí flexibilních (textilních) struktur. Příkladem jsou tzv. soft počítače, oblékací elektronika, senzory, bariéry proti elektro-smogu, elektromagnetické odstínění (EMI), odporové vytápění atd. Samostatnou oblastí je prevence proti elektrostatickému náboji. Je možné použít také celé řady povrchových úprav obsahujících vodivé částice. Pro účely lokálního zvýšení vodivosti např. při relizaci vodivých drah je možné použít také vodivé inkousty (obvykle obsahující částice stříbra) [13]. Elektrické vlastnosti, které jsou obvyklé u kovů, lze v současné době zajistit s využitím speciálních polymerů.

**Vodivé polymery** jsou charakterizované konjugovaným systémem vazeb s  $\pi$ -elektrony. Pro zajištění vodivosti je třeba obvykle provést částečnou oxidaci nebo redukci. Tyto polymery jsou v principu netavitelné, mají vysokou mřížkovou energii a vysoké povrchové napětí (více než 150 mN/m). Používají se proto většinou ve formě disperzí, pokud nejsou polymerizovány „in situ“ na povrch textilních materiálů. Pomocí vhodného disperzního prostředí lze snížit např. pro polyanilin relativní odpor z původního  $10^{-13} \Omega\text{m}$  (polymer) na výsledných  $10^{-5} \Omega\text{m}$ . V současné době se vyrábějí disperze s velikostí částic kolem 10 nm.

Počátek éry vodivých polymerů spadá do roku 1977, kdy Shirikawa a kol. [14] publikovali, že výrazné zvýšení elektrické vodivosti polyacetylenové folie lze docílit zpracováním v parách jodu. Přehled vývoje v oblasti vodivých polymerů lze nalézt v práci [15].

Vodivé polymery (přesně řečeno jejich vodivá forma) jsou vlastně kationtové soli silně konjugovaných polymerů. Tyto kationtové soli se připravují elektrochemickou oxidací a elektrochemickou polymerizací nebo chemickou oxidací (odstraněním elektronů). Je pochopitelně možné připravit také aniontové soli (elektrochemická redukce nebo zpracování v naftalinu sodném), které jsou však méně stabilní.

V současné době je známo více než 100 polymerů s různým rozsahem elektrické vodivosti. Řada těchto polymerů se dá zvláknovat, což umožňuje jejich použití v textilních strukturách pro různé ochranné účely, resp. jako flexibilní elektronické součásti (klávesnice, indikátory), příp. různé typy čidel. Vodivé polymery obsahují aromatické řetězce, dvojné vazby, rezonanční struktury a iontové elektronové páry. Příkladem jsou polyacetylen, polyanilin, polythiofen, polypyrrol a polypyrrol.

Většinou nejsou tyto polymery v čisté formě vodivé, ale postačuje dopování pomocí oxidačních, resp. redukčních látek (jako je  $\text{AsF}_5$ ), aby došlo ke změně pásmové struktury a zvýšení vodivosti alespoň na úroveň anorganických polovodičů. Mechanismus působení dopantů je stejný jako u anorganických polovodičů. Výhodou polymerů je, že vodivost se dá výrazně měnit např. protažením nebo přidáváním různých dopantů. Také závislost vodivosti na teplotě se pro polymery liší od kovů a polovodičů. Pro kovy se vodivost snižuje úměrně s růstem teploty. Pro polovodiče naopak vodivost exponenciálně roste s teplotou (analogie známého Arrheniova vztahu). Pro většinu polymerů platí, že logaritmus vodivosti  $\ln \sigma_E$  je přímo úměrný teplotě umocněné na -0,25, tedy  $\ln \sigma_E \sim T^{-1/4}$

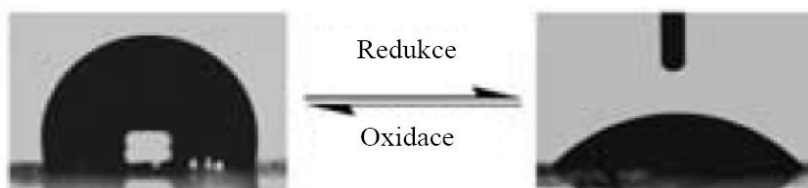
30

Jedním z polymerů, který se již dnes a zejména v budoucnu bude používat v oblasti textilu, je **polypyrrol**. Výchozí látka, tj. pyrrol, je hnědá kapalina s bodem varu 130 °C. Jeho rozpustnost ve vodě je pouze 6 %. Je však dobře rozpustný v řadě rozpouštědel. Je dodáván např. pod značkou Basotronic pyr. (BASF).

Elektrická vodivost dopované polypyrrolové folie se pohybuje od 0,001 S/cm do 50 S/cm. To souvisí také se změnami pohlcování (absorpce), odrážení (reflexe) a průchodu (transmise) mikrovln. Vysoce vodivé folie (s velkou koncentrací dopantu) jsou vzhledem k mikrovlnnému záření reflexivní a folie s nízkou koncentrací dopantu vykazují vysokou transmisí. Řízením koncentrace dopantu lze v širokých mezích ovlivňovat propustnost pro elektromagnetické vlnění. Vysoce dopovaná polypyrrolová folie má  $S_E$  větší než 40 dB pro záření od 300 MHz do 2 GHz. Z hlediska teplotní stability je polypyrrol dopovaný p-toluensulfonovou kyselinou poměrně dobrý. Do 200 °C dochází jen k malé ztrátě hmotnosti. Jeho tepelná vodivost kolem  $1 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$  je blízka tradičním polymerům.

Smáčivost vodivých polymerů se mění v závislosti na typu dopantu. Např. polypyrrolová folie obsahující perfluorované dopanty je hydrofobní, ale dopanty obsahující skupiny  $\text{ClO}_4$  změni její chování na hydrofilní. Změnami elektrického potenciálu lze reversibilně přecházet z hydrofobního chování na hydrofilní a zpět. Oxidovaná forma polypyrrolové folie (s negativním potenciálem -0,6 V) je hydrofobní a neutrální forma (pozitivní potenciál 1,0 V) je hydrofilní. Změnami elektrického potenciálu se tedy mění smáčivost této folie v širokých mezích (obr. 22) [16]. Kromě smáčivosti se mění také objem, elektrická vodivost a barva.





Obr. 22 Změny úhlu smáčení polypyrrolové folie v důsledku změn elektrického potenciálu [16].

Lze očekávat, že jak polypyrrolové sub mikronové částice tak i polypyrrolové vrstvy navázané přímo na povrch vláken budou v budoucnu uplatněny v průmyslovém měřítku zejména vzhledem k relativní jednoduchosti přípravy.

V řadě případů se elektrická vodivost zlepšuje přidáváním vodivých částic do původně nevodivých polymerů. Jako vodivé částice se přidávají buď vodivé polymery, nebo částice kovů, resp. uhlíková čerň. Dispergovaná vodivá fáze má rozměr kolem 1 $\mu$ m. V budoucnu lze očekávat, že i pro tyto účely budou standardně využívány sub mikronové částice.

**Anorganické nanočástice** vhodné pro zvýšení elektrické vodivosti jsou již běžně na trhu. Poměrně zajímavé je použití uhlíkových nanotrubiček (CNT) jako součástí těchto prostředků [12]. Je popsána příprava antistatického polypropylenového vlákna s obsahem organického prostředku obsahujícího kovové ionty a CNT. Polyamidové vlákno Resistat obsahuje na povrchu částice uhlíku, které jsou dodány chemickou cestou pomocí patentovaného postupu „zalévání“ (suffusion). Povrchová vrstva je homogenní bez poruch omezujících vodivost.

Vodivé vlákno Beltron (Kanebo) je vyrobené konjugovaným zvlákněním ze základního polymeru (polyamid nebo polyester). Ve vodivé vrstvě je použita uhlíková čerň nebo kovový prášek. Podle toho, jaký materiál je použit, jsou vlákna Beltron buď černé, šedé nebo bílé barvy.

31

Použití anorganických nanočástic jako přísad polymerních tavenin a roztoků je často využívaným postupem také pro docílení antibakteriálních, antistatických a dalších efektů. Nejčastěji se používá nanozinek, nanokysličník titaničitý a nano stříbro ve formě částic nebo se nanočástice připravují až ve vláknech („in situ“) např. z roztoků obsahujících ionty kovů. Při použití nanočástic jako přísad je základním problémem jejich agregační tendence způsobená jejich extrémním měrným povrchem. To vede často k problémům při zvlákněování a zhoršuje mechanicko fyzikální vlastnosti výsledných vláken. Jeden z prostředků, který je vhodný pro získání stabilních vodných disperzí anorganických nanočástic, je polyetylenimid (PEI). Důvodem je to, že polyetylenimid (molekulové hmotnosti 10 000) je polyelektrolyt, který má elektrosterické stabilizační schopnosti. Ve vodném prostředí se PEI ionizuje a adsorbuje na povrch částic v důsledku elektrostatické přitažlivosti. Kolem částic se tedy vytvoří elektrická dvojvrstva, která zabraňuje agregaci. Navíc se molekuly PEI v roztoku poněkud napřímí, což působí jako mechanická zábrana agregace. Poměrně dobré výsledky byly získány při koncentraci 8 % PEI.

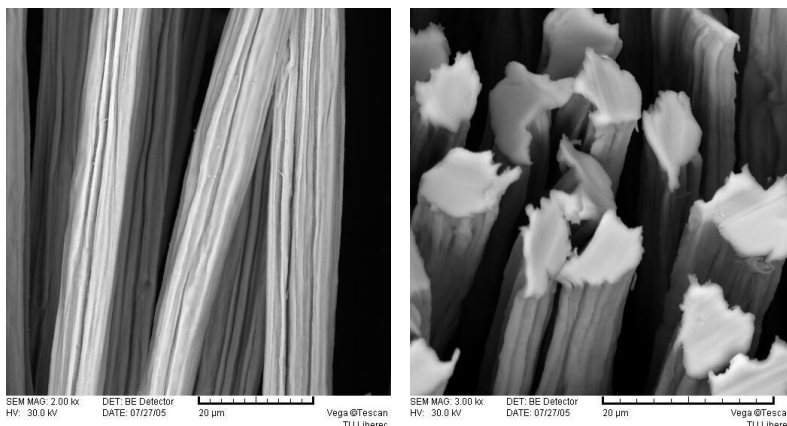
Pro řadu aplikací je prakticky nezbytná vysoká vodivost, které se dá dosáhnout jen při použití **kovových vláken**. Jako kovová vlákna se označují vlákna vyrobená z kovů, kovů potažených plasty, plastů potažených kovy nebo povrchových vrstev kovů pokrývajících celá vlákna. Využívala se historicky převážně pro docílení antistatických efektů a později pro přípravu textilních elektricky vodivých struktur. Kovy jsou vzhledem ke svým mechanickým a elektrickým vlastnostem a relativně nízké ceně zajímavým materiálem pro technické aplikace. Ve formě tenkých drátků mají širokou oblast použití. Jejich zpracování do textilních struktur je však omezeno zejména vzhledem k jejich velkým plastickým deformacím.



Pro výrobu drátků do 100  $\mu\text{m}$  se používá techniky tažení (obvykle přes kónické otvory) za studena nebo za tepla. Při tažení za tepla, vhodném pro křehké kovy (wolfram, molybden), se volí teplota nad teplotou krystalizace. Pro kujné kovy (ocel, měď, zlato, stříbro) se používá tažení za studena. Při tomto druhu tažení dochází také k deformačnímu zpevnění, jehož důsledek je zvýšení pevnosti a snížení kujnosti.

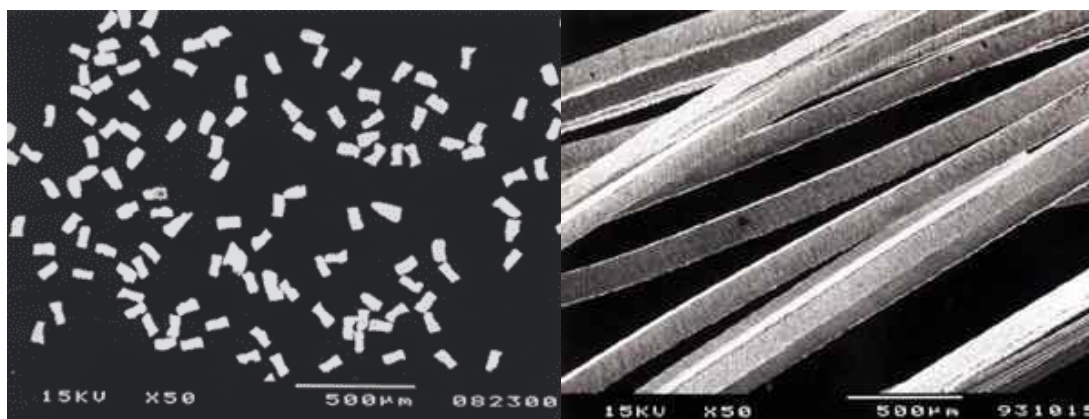
Pro výrobu tenčích drátků se používá tzv. Taylorův proces. Principem je obalení silnějšího drátku vhodným sklem a protahováním za teplot, kdy je sklo změkklé a kov uvnitř buď plastický, nebo roztavený. Jako vhodné se používá borosilikátové sklo typu Pyrex. Tímto způsobem lze vyrobit drátky řádově 10  $\mu\text{m}$  silné. Na podobném principu je založeno tzv. svazkové protahování [11].

Velmi jemná vlákénka z chrom-niklové oceli INOX (průměr 15 $\mu\text{m}$  a méně – viz obr. 23) se dodávají jako vodivá komponenta do termoplastů pro konstrukci bariér vůči elektromagnetickému záření (materiál Esbarier firmy Nippon Steel). Stačí cca 10 % těchto vláken, aby došlo k relativnímu tlumení 40–50 dB při 100 MHz. Klasické je použití ocelových výztuží do pneumatik.



Obr. 23 Příčný řez a podélný pohled na ocelová vlákénka [11]

Kovová vlákna Bekinit mají průměr od 20 do 80  $\mu\text{m}$ . Jde o kovy a slitiny železa, titanu, hliníku a mědi. Pro výrobu těchto vláken se používá původní technologie odřezávání tenkých kovových folií, natočených do spirály. Jejich typickou charakteristikou je čtvercový průřez (obr. 24).



Obr. 24 Typický průřez a povrch kovových vláken (Bekinit) [11]



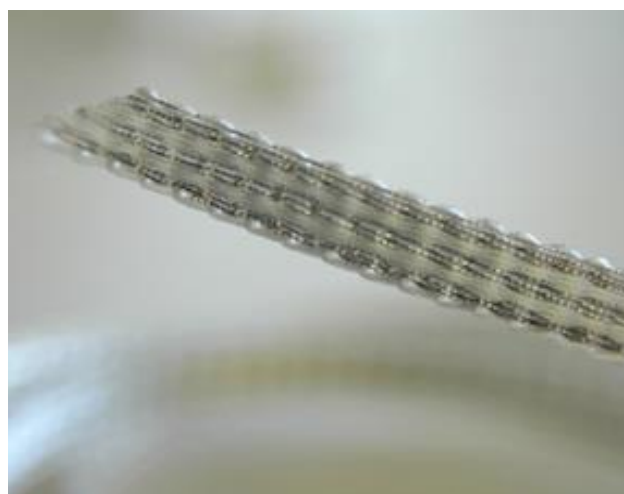
Vlákna a výrobky z těchto vláken se používají do řady aplikací, kde se uplatňuje především jejich nehořlavost, výborná elektrická vodivost a antimikrobiální vlastnosti (především titan a měď). V některých případech se uplatňují také katalytické a magnetické schopnosti některých kovů.

S ohledem na jejich použití v textilních aplikacích jako vodivé dráhy je výhodné použití kovových vláken potažených isolační vrstvou nebo hybridních přízí s jádrem z kovových vláken. Zajímavým řešením je kombinace kovového jádra z jemného kovového drátku a obalu z PAD nebo PES. Tato vlákna s názvem **iCON mikrofilament** vyvinula firma EY Technologies, Fall River, Mass. Jako jádro se používá speciální slitina s obsahem stříbra a india tak, aby bylo docíleno maximální vodivosti a minimální teploty tání. Elektrická vodivost jádra je zhruba 25 % vodivosti mědi, což plně postačuje pro konstrukci vodivých drah. Vlastní výroba využívá patentovaného postupu koextruze ("double crucible fibre drawing") a výsledná bikomponentní vlákna mají průměr 25 až 100 µm. Obal z PES, resp. PAD, zajišťuje jak snadnou barvitelnost, tak i údržbu. Vlákna lze zpracovávat běžnými technikami tkaní a pletení. Vzhledem ke své jemnosti neovlivňují významně omak a komfort. Na obr. 25 je ukázána tkanina obsahující materiál iCON mikrofilament a cívky, které lze využít i jako šicí nitě.



Obr. 25 iCON mikrofilament ve tkanině a na cívkách [11]

Pro realizaci vodivých drah se využívá také různých textilních pásek se zabudovanými vodivými drátky. Jedno řešení, ve kterém se kombinuje drátek *tinsel* s polyesterovými přízemi, je na obr. 26. Materiál *tinsel* je vlastně ovíjená příze, kde se jádro z textilních vláken (PES, PAD, bavlna, Nomex atd.) ovíjí několika vrstvami tenkých měděných folií (používá se také kombinací se stříbrem, kadmíem a cínem). Výsledkem je velmi ohebná struktura.



Obr. 26 Textilní pásek s třemi vodivými drahami z materiálu tinsel

Pro optimální uplatnění kovových drátků v textilu je obecně nezbytné řešit způsob jejich interakce s textilními materiály, technologii jejich zabudování do textilních struktur, jejich chování při používání a údržbě a jejich konkrétní využití ve speciálních aplikacích [11].

Textilní struktury s obsahem kovových drátků bude možno s výhodou použít i pro tzv. oděvní elektroniku, kde je oděv aktivní součástí. Příkladem jsou textilní klávesnice a klaviatury, displeje, indikátory atd.



## 8. SPECIÁLNÍ EFEKTY

Textilie budoucnosti budou plnit celou řadu funkcí souvisejících s jejich použitím jak pro oděvní, tak i pro technické účely.

### 8.1 BARIÉROVÉ TEXTILIE PRO OCHRANU VŮČI VANDALISMU A BALISTICKOU OCHRANU

Textilie odolné proti mechanickému poškození se obvykle dále dělí do skupiny textilií odolných vůči prořezání (cut resistant), textilií odolných vůči probodnutí (stab resistant), textilií odolných vůči pronikání ostrých předmětů (puncture resistant) a textilií odolných vůči průniku střel (ballistic resistant).

A. *Textilie odolné proti prořezání* jsou neustále předmětem pozornosti s ohledem na jejich použití jako ochranné osobní prostředky (rukavice, kalhoty, vesty), resp. prostředky chránící proti vandalismu (autoplachty, ochranné obaly). S ohledem na potřebu ochrany je třeba zajistit tyto funkce:

- ochranu proti průniku ostří, resp. omezení tohoto průniku s ohledem na vynaloženou energii,
- ochranu, resp. omezení oddělení textilního materiálu (prořezání),
- pomocné funkce zpomalující nebo zabraňující porušení prořezáním (např. otupení ostří, zvýšení odporu proti pronikání ostří v závislosti na síle, resp. teplotě nebo rychlosti, změna třecích vlastností nebo hustoty materiálu).

Účinného zajištění uvedených funkcí lze dosáhnout jen kombinací vláken, konstrukce textilií a spojováním různých vrstev (kompozitní struktury). V řadě případů je požadavkem, aby byl za běžných podmínek zaručen komfort textilní struktury (ohebnost, prodyšnost a propustnost pro vodní páru). Až v případě ohrožení dochází k změně chování (neprodyšnost, tvorba pěny na povrchu, prostorová expanze atd.). Jako vlákna chránící vůči extrémním mechanickým vlivům se používají zejména aromatické polyamidy (kevlarové rukavice pro tankisty), resp. inteligentní gely a struktury (vytvoří tuhou strukturu, ovlivní pozitivně její chování.). Obecně je výhodné kombinovat několik vrstev (obsahujících také kovová vlákna, resp. drátky) zajišťujících jak dostatečnou odolnost proti prořezání, tak dostatečné tření, resp. otupování ostří.

Pro výrobu kompozitních přízí s kovovými vlákny je možné použít celé řady technik. Výhodné jsou zejména techniky DREF nebo MURATA, příp. ROTONA např. pro kombinace jádrového hedvábí z ocelových fibril o průměru 40–75  $\mu\text{m}$  a staplového obalu z Kevlaru. Jednoduchou možností je zabudování kovových vláken zvýšeně odolných proti prořezání přímo do struktury tkanin. V podmínkách ČR bude výhodné využít techniky ROTONA pro výrobu přízí s obalem z vysoce výkonných vláken (Kevlar, Amos, Dyneema) a kovovým jádrem z drátků. Tyto příze budou vhodné zejména pro výrobu textilií chránících proti vandalismu (plachty, rolety, tapety a závěsy) a ochranných textilií pro speciální aplikace.

B. *U textilií odolávajících pronikání střel* (balistická odolnost) se hodnotí zejména rázová odolnost při vysokých rychlostech. Při hodnocení rázové odolnosti lze zjednodušeně uvažovat, že absorpce kinetické energie pronikajícího tělesa (střely) souvisí s šířením podélných a příčných vln v ochranné vrstvě a disipací třecí energie vlivem pronikání tělesa do materiálu (obvykle přes energii tepelnou). Obecně se předpokládá, že 50 % rázové energie způsobené pronikajícím tělesem se absorbuje šířením vln okolní vláknennou strukturou obklopující místo

vníku. Je zřejmé, že množství energie absorbované vláknem bude silně závislé na jeho tažnosti  $\varepsilon$  (deformaci do prasknutí) a pevnosti  $\sigma$ . Vlákná s vyšší tažností a pevností budou obecně schopna absorbovat více energie (přeměnou na plastickou deformaci). V případě textilie je (rázová) energie rozptýlena do sousedních vláken a efektivita ochrany proti pronikání se zvyšuje. Odolnost proti pronikání bude také závislá na houževnatosti vlákna resp. deformační energii vlákna. [17].

Pro textilie odolávající pronikání střel (balistická odolnost) se volí vrstvy z vláken aramidových, resp. z vysokomolekulárního polyetylénu. To postačuje pro ruční palné zbraně kalibrů 5,6 až 11,2 mm. Pro vojenské střely větší průraznosti je potřebné použít na povrchu textilie keramické destičky. Stejně materiály se používají pro vojenské helmy.

V budoucnu se pro tyto účely bude využívat např. hybridních přízí připravených technikou s obalem z vysoce výkonných vláken (Kevlar, Amos, Dyneema) a kovovým jádrem z drátků. Pro zajištění balistické ochrany na bázi vícevrstvých struktur bude možné použít i konstrukcí využívajících 3D tkaní, resp. pletení. Pro ochranné bariéry proti průrazným střelám bude zajímavé např. použití vícevrstvé struktury na bázi speciálních polymerů s jednou vpichovanou kovovou vrstvou.

## 8.2 VYSOCE FUNKČNÍ TEXTILIE

Vysoce funkční textilie představují širokou třídu výrobků zajišťujících celou řadu funkcí požadovaných pro zlepšení jejich praktické použitelnosti, resp. pro aplikace ve speciálních podmínkách.

36

U většiny typů vysoce funkčních textilií jsou dnes společné požadavky na:

- Ekologickou výrobu a likvidaci.
- Zpomalení procesů stárnutí (např. zlepšením odolnosti proti oděru).
- Snadnou údržbu.
- Estetické a senzorické funkce (vzhled, omak, formovatelnost).
- Ochranu proti nebezpečným vlivům z okolí (UV záření, elektromagnetické záření, mikroorganismy, zvýšené teploty, chemické prostředky atd.).
- Samočistící efekty.

Řady speciálních funkcí se dá částečně docílit také modifikací standardních postupů výroby textilií a výběrem vhodných vláken, resp. zušlechťovacích postupů. U vysoce funkčních textilií je snahou používat techniky, které jsou adaptivní, tj. reagují pozitivním směrem jen při změně podmínek. Pro docílení speciálních vlastností vysoce funkčních textilií se často používá laminování, nánosování a kašírování.

Pro účely laminace se tradičně používala bavlna, která byla nejdříve postupně nahrazena vlákny na bázi polyamidů. Polyamidy (PAD 6) mají řadu praktických výhod, jako je vysoká pružnost, odolnost vůči opotřebení, oděru, hnití a cyklickým deformacím. Na druhé straně mají vyšší tečení při dlouhodobém zatížení, citlivost na kyseliny, vyšší tepelnou sráživost (dá se omezit pomocí tepelné fixace před laminací), nízký modul, nízkou odolnost v krutu, vyšší příjem vlhkosti a nižší teplotu měknutí. Výhodnější je použití polyesterových vláken, která jsou obecně pevnější a tužší (vyšší počáteční modul), tepelně odolnější a mají velmi nízké tečení při dlouhodobém zatížení. Jejich poněkud horší adheze se dá snadno zlepšit např. řízenou povrchovou alkalickou degradací. I když nejsou polyesterová vlákna tak odolná vůči oděru



a cyklickému namáhání jako vlákna polyamidová, odolávají lépe povětrnostním vlivům a UV záření, což způsobilo, že jsou standardně používána pro laminaci v oblasti technických textilií.

Mezi základní oblasti budoucího použití vysoce funkčních textilií patří:

Aktivní dávkovací systémy – umožňující v oděvním sektoru výrobu textilií uvolňujících podle potřeb různé substance od kosmetických látek a léčiv, přes vitaminové doplňky až k ochranným prostředkům vůči hmyzu, bakteriím atd. V neoděvních aplikacích půjde zejména o inteligentní filtry, odlučovače a síta.

Monitorování – půjde jak o monitorování stavu člověka, tak i o monitorování životního prostředí, které bude využitelné jak u oděvních, tak i technických textilií.

Inteligentní čidla – kromě běžných čidel budou vyvinuta také čidla pachu, plynů a bakterií ve vzduchu, resp. vodě. Čidla pohybu a mechanického působení budou součástí kontrolního systému zejména nemocných osob, resp. sportovců.

Informační technologie – textilie budou kromě elektronických funkcí (náhrada klávesnic, dotykových podložek, desek plošných spojů, displejů a nosičů spotřební elektroniky) sloužit pro ukládání dat, ukládání elektrické energie (elektrické baterie) a jako nosiče mikromechanických systémů (schopných např. čištění od prachu, oprav atd.).

Adaptivní materiály – které budou v závislosti na podmínkách okolí a stavu člověka měnit strukturu, odstín, omak, resp. další charakteristiky.

Řada z uvedených oblastí použití a funkcí je již alespoň částečně realizovatelná. Pro zavedení do praktického použití bude ještě třeba řešit problémy spojené s ergonomikou, komfortem, trvanlivostí, údržbou, výrobou, testováním a konečně likvidací.

### 8.3 TEPELNĚ ADAPTIVNÍ TEXTILIE

Lidské tělo je velmi citlivé na změny teploty. Teplota lidské kůže na těle je 35 °C a na hlavě 34,4 °C. Teplota rukou je přibližně 31,6 °C a teplota nohou je 30,8 °C. Průměrná teplota lidské kůže, která je považována za komfortní, je 33,3 °C. Pokud tato teplota poklesne na 31 °C, dostavuje se pocit chladu a při 29°C nastává většinou podchlazení organismu. Na druhé straně vzrůst teploty lidské kůže na 35,5 °C způsobí nadměrné pocení a při vzrůstu na 40 °C již odumírají buňky. Do jisté míry je lidské tělo schopné samoregulace. Za chladu se kapiláry stahují, což omezuje průtok krve, a tím přenos tepla. Termoregulační textilie tedy musí být schopny teplo buď absorbovat, nebo uvolňovat dle stavu okolí a lidského těla.

Při růstu teploty absorbují teplo i běžná vlákna, resp. textilie, a toto teplo se uvolňuje během ochlazování. Vlastní efekt je však pro přípravu tepelně adaptivních textilií zanedbatelný (jde o absorpci tepla zhruba 1 kJ/kg textilie při změně o 1 °C). Se zkoumáním teplotně adaptivních vláken a textilií bylo započato v 80. letech [18]. Jako nosiče bylo použito buď dutiny v dutých vláknech, nebo povrchu textilií ba/PES a jako teplo absorbující materiál byl zvolen polyetylénglykol. V současnosti se používají dvě možnosti ukládání tepelné energie:

- a) termocitlivé materiály – při ohřevu teplo absorbují a při ochlazování uvolňují. Příkladem je voda a kámen (keramika). Voda je použitelná od 1 °C do 99 °C. Při zvýšení teploty vody o 1 °C dojde k absorpci tepla o velikosti 4,18 J/g. Příkladem využití vody pro



regulaci teploty jsou NASA skafandry obsahující systém trubiček s nucenou cirkulací, které jsou naplněny vodou.

- b) materiály měnící fázi (phase change materials – PCM). Zde se využívá faktu, že při tání materiálů je nutné dodat latentní teplo tání a při tuhnutí se teplo uvolňuje (často jako teplo krystalizační).

Latentní teplo tání je výrazně vyšší než teplo absorbované ohřevem, a proto se PCM používají s výhodou pro regulaci teploty oděvních textilií. S ohledem na tepelný komfort  $33,4\text{ °C} \pm 4,5\text{ °C}$  se používají materiály, kde dochází k tání v rozmezí teplot  $20\text{--}40\text{ °C}$  a tuhnutí (krystalizaci) v rozmezí teplot  $30\text{--}10\text{ °C}$ . Pro upevňování PCM na textilie se původně používala dutá vlákna (obvykle viskózní), resp. nánosování na povrch v kombinaci s pryskyřičnou úpravou. V poslední době se přechází na techniky mikrokapsulí, které omezují unikání PCM během užívání a údržby textilie. Jde o speciální techniku zapouzďování, kdy se PCM ukládá do tobolky (kapsle) o průměru několika  $\mu\text{m}$ . Tyto mikrokapsle o velikosti  $1\text{--}10\ \mu\text{m}$  s obsahem PCM lze rozptýlit do polyakrylonitrilových vláken zvlákněných z roztoku (obsah aktivní substance je  $6\text{--}10\%$ ). Další možností je zabudování mikrokapslí do polyuretanové pěny, resp. nánosování na povrch textilních struktur.

Nevýhodou PCM materiálů je, že po jistém časovém intervalu (reálná doba působení je řádově  $6\text{--}10$  minut) je již jejich kapacita pro ukládání, resp. uvolnění tepla vyčerpána. Hodí se tedy především do podmínek rychle se měnících teplot. U reálných textilií se dosahuje maximálního tepelného obsahu kolem  $50\text{ J/g}$ . Je proto výhodné kombinovat PCM s vhodnou konstrukcí textilie obsahující uzavřené vzduchové póry.

38

Jednou z možností získání tepelné energie je využití faktu, že karbidy kovů VI. přechodové skupiny převádějí blízké infračervené, světelné a UV záření na teplo [19]. Obvykle se používá částic karbidu zirkonu ZrC přidávaných do povrchového pryskyřičného nánosu. ZrC odráží elektromagnetické vlnění délek větších než  $2\ \mu\text{m}$ . Absorbuje však při vlnových délkách pod  $2\ \mu\text{m}$  (zejména ve světelné a UV oblasti) a převádí světlo na teplo (zvětšuje délku vlnění). Zajímavé je také využití toho, že některé kopolymery polyakrylonitrilu a kyselina akrylová absorbují vlhkost a uvolňují teplo. Nabízí se tedy laminace textilií z takovýchto polymerů termoregulační vrstvou z PCM a ZrC pro oděvy určené např. k zimním sportům.

Poměrně jednoduchý je systém aktivní regulace teploty pomocí oděvu obsahujícího trubičky naplněné vodou (firma D'Appolonia), dutin s možností regulace změn tloušťky pomocí množství obsaženého vzduchu (air vantage systém) nebo dutin s možností regulace změn tloušťky pomocí efektu „shape memory“.

Personal cooling system (PCS) firmy CSIRO využívá pro přenos tepla tepelné výměníky (chlazení odpařováním). Je patrné, že existuje celá řada možností konstrukce tepelně adaptivních textilií využívajících různých typů materiálů. Problémem u tradičních PCM materiálů je jen omezené časové působení.

## 8.4 CHAMELEONNÍ TEXTILIE

Tyto textilie vyznačují, pohlcují, resp. pouze mění svoji barvu vratně na základě změn podmínek okolí. Dělí se podle vnějšího efektu způsobujícího změny na:

- termochromní – externí podnět je teplota,
- elektrochromní – externí podnět je elektrický proud,



- piezochromní – externí podnět je tlak,
- solvatochromní – externí podnět je kapalina,
- karsolchromní – externí podnět je elektronový svazek,
- fotochromní – externí podnět je světlo.

Fotochromní materiály se ještě dělí do dvou skupin podle toho, zda emitují barvu při osvětlení UV zářením, nebo viditelným zářením. Jako látky emitující ve viditelné oblasti se používají zejména vybrané anorganické pigmenty, které jsou silně zbarvené. Barevné změny mohou být vyvolány také působením různých plynů.

Některá vlákna emitují po ozáření UV zářením fluorescenční barvu. Odpovídající pigmenty se přidávají do zvláknovacího roztoku v koncentracích kolem 10 %.

Strukturně barevné textilie jsou složeny z vláken obsahujících řadu vrstev dvou polymerů s různým indexem lomu. Používá se obvykle polyesterových a polyamidových vrstev o tloušťce 0,07  $\mu\text{m}$ . Vícevrstvá struktura je pokryta polyesterovou vnější vrstvou. V závislosti na lokální deformaci dochází ke změně reflexního spektra, a tím i odstínu. Tato vlákna se vyrábějí v jemnostech až 1 dtex a mísí se s klasickými vlákny (objemový podíl je kolem 2 %) pro získání speciálních světelných efektů.

Místo dvou různých indexů lomu je možné využít kombinace vrstev, které umožňují polarizaci světla nebo jeho odraz. Kombinací těchto vrstev a řezáním na útvary šířky 0,2–0,5  $\mu\text{m}$  vznikají vláknité útvary, které lze mísit s klasickými vlákny pro dosažení efektů, které lokálně závisí na poloze a deformaci textilie.

39 Pro některé aplikace se vyžaduje vysoká odrazivost viditelného světla. Používá se skleněných mikrokuliček o průměru 40  $\mu\text{m}$  z jedné poloviny potažených hliníkem, které se upevňují nánosováním na povrch textilií.

## 8.5 MATERIÁLY CITLIVÉ NA VNĚJŠÍ PODNĚTY

Materiály citlivé na vnější podněty (stimuli-sensitive materials – SSM) mají schopnost měnit některé charakteristiky v závislosti na změnách podmínek okolí (teplota, pH, mechanický tlak, světlo, resp. elektrická energie). Jde obvykle o gelové materiály schopné měnit velikost, tvar nebo další charakteristiky.

**Gel** je soudržná hmota obsahující kapalinu, ve které jsou částice buď dispergovány, nebo uspořádány do sítě pokrývající celý objem. Gel může být dostatečně elastický a rosolovitý (želatina), nebo pevný a tuhý (silikagel). Polymerní gely obsahují zesítěnou polymerní síť zbotnalou vhodnou kapalinou. Mají schopnost reversibilního zbobtnání a srážení (do 1000násobku objemu) vlivem malých změn okolních podmínek (pH, teplota, elektrické pole). Gelová vlákna mění tvar v milivteřinách, ale silné polymerní vrstvy vyžadují minuty až hodiny. Jsou schopny přenášet poměrně vysoká napětí. Příklady: polyvinylalkohol (PVA), polyakrylová kyselina (PAA) a polyakrylonitril (PAN).

3D síť vzniklá zesítěním polymerních řetězců má schopnost silného bobtnání v kapalinách. Nedochází však k rozpuštění a gel zachovává tvar a integritu. Odezvy gelu na vnější podnět jsou buď bobtnání, nebo kolaps. Důvodem může být přenos vodíkového kationu, iontová výměna, redoxní reakce, fázové změny, elektrokinetické procesy atd. Speciální skupinu tvoří tzv. hydrogely, které tvoří ve vodě zbotnalou 3D měkkou elastickou síť s říditelným uspořádáním.



Obsah vody v hydrogelech se pohybuje v širokých mezích (větší než 20 % až 1000 %). Mezi základní výhody hydrogelů patří vodné prostředí, které je biologicky výhodné (peptidy, proteiny, DNA), dobré transportní vlastnosti, snadná modifikace a biokompatibilita. Nevýhodami jsou problémy s manipulací, nižší mechanická odolnost, obtížné plnění aktivními látkami a obtížná sterilizace. Příkladem úspěšné aplikace hydrogelů jsou gelové oční čočky.

Řada polymerních gelů je schopná reagovat na externí podněty (fyzikální, resp. chemické) buď izotropním, nebo anizotropním reversibilním bobtnáním.

Při chemických podnětech dochází k reversibilnímu zbobtnání, např.:

- při výměně špatného rozpouštědla (nízká iontová síla) za dobré rozpouštědlo (vysoká iontová síla), příkladem je gel na bázi polyvinylalkoholu,
- při změně pH, např. v alkalické oblasti dochází k zbobtnání gelů na bázi kyseliny akrylové a v kyselé oblasti dochází k jejich smrštění,
- při změně rozpustnosti v závislosti na teplotě, gely na bázi polyvinylmetyleteru velmi silně bobtnají při nízkých teplotách.

Po překročení kritické teploty  $T_c$  (30–40 °C) dochází k výraznému smrštění. Ve všech těchto případech dochází k izotropnímu bobtnání. Při fyzikálních podnětech dochází k reversibilnímu bobtnání např. vlivem ozáření v UV oblasti nebo vlivem elektrického pole.

Vlivem těchto fyzikálních podnětů dochází v závislosti na směru záření nebo pole k anizotropické vratné deformaci. Tyto gely tedy vyvozují jistý druh pohybu podle polaritý elektrického pole a jeho směru.

40 Výborné vlastnosti má především systém polyvinylalkohol/dimetylsulfolid, kdy dochází k 7procentnímu protažení ve směru působícího elektrického pole. Rychlost změny je poměrně vysoká (kolem 0,1 s) a pole je velikosti 350 V/mm při 1 mA. Velikost protažení roste se čtvercem velikosti elektrického pole. Přitom nedochází k výrazným ztrátám způsobeným ohřevem (což je typické u polyelektrolytových gelů typu Nafion nebo Flemion). Obdobného efektu je možné docílit také s využitím polyuretanových elastomerů (bez tvorby gelu).

Obecně reagují SSM na **podnět** (chemický, elektrický, pH, biologický, mechanický, tlakový, teplotní, optický, magnetický) měřitelnou odezvou (mechanická, elektrická, optická, bioaktivita atd.). Klasifikace SSM podle typu podnětu je uvedena v tab. 1.

<u>Fyzikální podněty</u>		Polymer
1) Teplota 2) Elektrické pole 3) Světlo 4) Tlak	Teplota	Poloxamery, želatina, amyloza, amylopektin, celulóza, PEG-PLGA-PEG
<u>Chemické a biochemické podněty</u>	pH	Chitosan
1) pH 2) Specifické molekulární rozlišení	Iontové zesílení	Algináty
	Viskozita	Hyaluronové kyseliny

Tabulka 1. Klasifikace SSM podle typu podnětu





Celá řada SSM je teplotně citlivá, tj. principem změn jsou fázové přeměny. Při nízkých teplotách jsou SSM gely silně nabobtnalé (obsahující v rovnováze velké množství vody). Nad přechodovou teplotou dochází ke kolapsu gelu a oddělení vody. Typický projev je zde **LCST**, tj. nízká kritická rozpouštěcí teplota. Typickým představitelem LCST polymerů je poly-N-izopropylakrylamid PIPAAm (resp. jeho kopolymery) [20]. Tento materiál je rozpustný ve vodě pod 32 °C a sráží se nad 32 °C. Příčinou je přechod spirála – klubko.

Bavlna upravená poly-N-izopropylakrylamidem vykazuje pod 32 °C hydrofilní nad 32 °C hydrofobní chování. PIPAAm hydrogely propouštějí při teplotách pod 32 °C aktivní látky difúzí. Nad touto teplotou je uvolňování aktivních látek zablokováno vlivem vytvoření „pokožky“ na povrchu gelu (přepínání on/off).

Jednou z nejzajímavějších skupin SSM jsou polyelektrolytové gely. Protože jsou iontové povahy, reagují na řadu podnětů od pH, přes obsah elektrolytu až k potenciálu elektrického pole. V polyelektrolytovém gelu jsou obsaženy kladné i záporné náboje, jejichž vzájemné polohy jsou stabilizovány díky zesítnění polymerních molekul. Vlivem vnějších elektrických podnětů dochází buď k přiblížování, nebo oddalování nábojů, což vede buď k bobtnání, nebo kolapsu gelu. Přítomnost různých solí podporuje tento efekt (vhodné jsou nízkomolekulární soli, jako jsou NaCl a KCl). Tyto gely se používají při odsolování vody a tvorbě umělých svalových vláken pro roboty. Mohou také sloužit jako zdroje mechanické energie v kosmu nebo pod vodou.

Materiály citlivé na vnější podněty jsou většinou pouze ve fázi laboratorního výzkumu a jen v omezené míře se uplatňují průmyslově.

## 8.6 ODĚV JAKO INFORMAČNÍ SYSTÉM

Využití oděvních textilií jako rozhraní pro předávání informací je přirozené, protože oděv tvoří integrální část člověka a doprovází ho během většiny činností. V roce 1996 byl armádou USA zadán vývoj inteligentního trička pro vojáky, které by bylo schopné informovat o jejich stavu při zranění střelami nebo úlomky granátů. Bylo požadováno hlášení informací o:

- rozsahu zranění (hloubce průniku do těla),
- životních funkcích zraněného vojáka.

Přitom bylo zadáno, že musí jít o prodyšný, lehký materiál splňující požadavky komfortu při nošení a používání, včetně údržby (čištění). S ohledem na splnění těchto požadavků byla zvolena tkaná struktura. Byla použita technika umožňující vytvoření trička bez nutnosti střihání a šití. Do struktury trička bylo integrováno plastické optické vlákno. Bylo použito těchto materiálů:

- polypropylénové vlákno (s ohledem na měrnou hmotnost),
- polymerní optické vlákno pro detekci hloubky průniku střely nebo úlomků,
- polyetylénem potažené měděné vlákno a polyamidová vlákna s anorganickými částicemi pro elektricky vodivé spojení,
- polyuretanový elastomer (Spandex) pro zajištění mechanického komfortu a přiléhavosti,
- Nega-stat pro zajištění rozptýlení elektrostatického náboje.



Základní informace o stavu člověka jsou získány z čidel teploty, srdečního pulzu a rychlosti dýchání. Tato čidla jsou doplněna o mikrofon umožňující podávání informací hlasem [19].

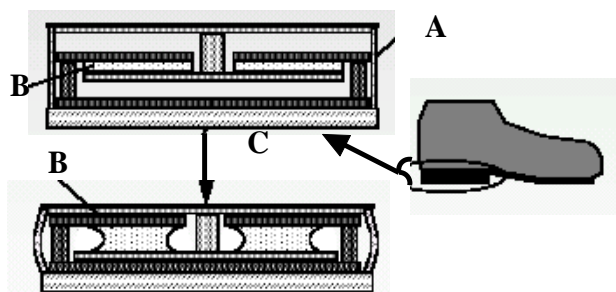
Tyto informace jsou shromažďovány v malém elektronickém zařízení, které je také součástí trička. Obdobný projekt byl řešen ve Finsku pro design kombinézy řidičů sněžných skútrů, která má tyto funkce [19]:

- chrání proti extrémnímu chladu a vlhkosti,
- poskytuje informace o stavu řidiče,
- podává informace o poloze a orientaci (přes globální poziční systém GPS),
- umožňuje zadávání informací přes textilní displej.

Jedním z problémů, které souvisejí s použitím textilií pro „oděvní elektroniku“, je zajištění vhodného napájení. Klasické řešení spočívá v umístění elektricky nabitých baterií, resp. akumulátorů, do oděvu, což poněkud omezuje některé funkce oděvů a navíc vyžaduje dobíjení. Je možné využít také zdrojů energie, které jsou k dispozici z okolí (např. solární články) nebo energie vznikající při pohybu nositele oděvů (obr. 27).

Zejména pro napájení mobilní elektroniky se jako slibné jeví využití kinetické a tepelné energie produkované osobami [68]. Při pohybu osob charakterizovaném velkou amplitudou a nízkou frekvencí vzniká v každém kroku až 67 W. Také tepelná energie lidského těla se dá využít pro konverzi na energii elektrickou (Seebeckův efekt). Na základě analýzy speciálních hodinek firmy Seiko bylo zjištěno, že při tepelné diferenci 5 °C vzniká výkonová hustota elektrické energie až 0,14 mikroW/mm<sup>2</sup>.

42



Obr. 27 Generace elektrické energie při chůzi (A) elastický materiál, (B) elektroaktivní polymer, (C) podrážka

Skupina výzkumníků z university v Southamptonu vyvíjí speciální film na bázi tisku vodivých inkoustů umožňující sběr elektrické energie z oděvních textilií vznikající pohybem osob. Tento film bude možné tisknout také na koberce, přičemž se bude energie generovat chůzí na jejich povrchu.

Na universitě v Boltonu vyvíjejí technologii kombinující piezoelektrický polymer a fotovoltaický zátěr umožňující tvorbu vláknenné vrstvy s povrchovou aktivní vrstvou. Výsledný materiál by měl být schopen získávat energii z přírodních jevů (slunce, vítr, déšť atd.).

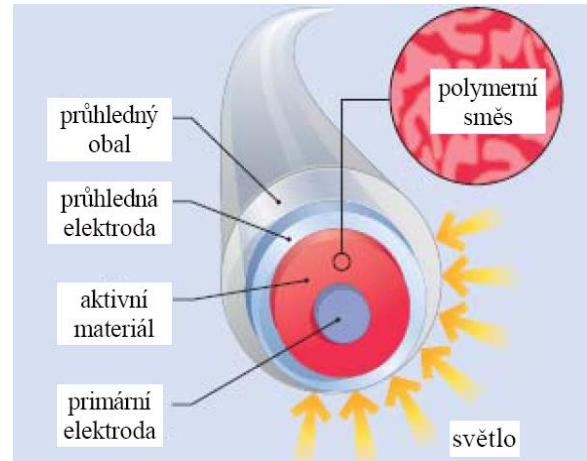
Na Georgia Tech bylo vyvinuto speciální vlákno pokryté nanodrátky z ZnO, které je schopno převádět mechanickou energii na elektrickou. Reaguje na všechny typy vibrací a pohybů. Zlatem pokryté nanodrátky ze ZnO dlouhé 3,5 μm se třou o nepokryté ZnO nanodrátky, které se ohýbají a generují elektrický náboj [4].



Pro generaci elektrického proudu lze použít také „fotovoltaická vlákna“. Jde vlastně o tři různé vrstvy amorfního křemíku umístěné mezi vodivými elektrodami. Vnější vrstva obsahuje dopant bohatý na elektrony, střední vrstva je nedopovaná a vnitřní vrstva obsahuje dopant chudý na elektrony. Fotony, které narazí na povrchovou vrstvu, rozptýlí elektrony, které přecházejí střední vrstvou do vrstvy vnitřní. Takto generovaný proud lze využít jako zdroj pro MP3 přehrávače, mobilní telefony a miniaturní počítače.

Fotovoltaické vlákno „POWER“ – vzniká potahováním primární elektrody několika vrstvami (průhledná elektroda a průhledný obal) – viz obr. 28.

Fotočlánek je tvořen polovodivým materiálem schopným absorpce fotonů a emise elektronů a nanomateriálem. Nanomateriál je schopen efektivně absorbovat viditelné záření (nejen sluneční). Hustota elektrického proudu z těchto zdrojů se pohybuje kolem 10 mA/cm<sup>2</sup>.



Obr. 28 Fotovoltaické vlákno „POWER“

## 9. TECHNICKÉ TEXTILIE

Technické textilie jsou obvykle definovány výčtem aplikací, jejich speciálními vlastnostmi (elektrovodivé, superabsorbenty, ohnivzdorné, antimikrobiální, antistatické, nehořlavé atd.) nebo prostě tak, že jde o textilie, kde hlavní účel použití není estetický ani dekorativní. To není obecně úplně správně, protože řada textilií patřících např. do oblasti bytových doplňků má právě účel dekorační, resp. estetický. Ani dělení na oděvní a neoděvní textilie se zde nedá vhodně použít. Vymezení pojmu technické textilie tedy není jednoznačné.

Podle publikace „Textile Terms and Definition“ jsou technické textilie textilní materiály a produkty vyrobené primárně pro jejich technické a funkční vlastnosti.

Je zajímavé, že existuje geograficky a kulturně odlišné vnímání pojmu technické textilie. V USA se pod pojmem „industrial textiles“ chápou textilní produkty, které se nepoužívají pro oděvy, bytové textilie a nábytkářské účely. V současné době jsou průmyslové textilie pouze součástí technických textilií.

Na výstavách TECHTEXTIL (Frankfurt a Osaka) bylo v 80. letech definováno 12 kategorií technických textilií podle oblastí použití:

### 1. agrotech (zemědělství, pěstování vodních rostlin, zahradnictví, lesnictví)

Např. tkané a netkané ochrany pro urychlení růstu plodin, textilie pro stínění proti slunci, síťoviny pro stabilizaci půdy, resp. pěstování plodin, rohože a výztuže pro zemědělství, ohrady a oplocení, zahradnictví a lesnictví, rybářské sítě a vlasce, textilie pro melioraci resp. odvodňování půdy, textilie pro skleníky, kontejnery na vodu.

### 2. buildtech (stavby a konstrukce)

Např. speciální membrány pro nafukovací haly, plachty pro stavebnictví, sítě pro lešení, markýzy a rolety, podklady pro střešní krytiny, výztuhy a vyzdívky, pletivo pod omítky, zesílení betonu, izolační desky a vrstvy, kompozitní desky pro stavební účely, krytiny stropů a stěn, protihlukové bariéry, výstelky a vycpávky stok a kanálů, balicí materiály pro stavby, dočasné stavby.

### 3. clothtech (technické složky obuvi a oděvů)

Např. tkaničky do bot, výstelky do bot, podšívky a vycpávky, šicí nitě, suché zipy, přezky a poutka, štítky, etikety, visačky, loga, textilie chránící proti extrémním podmínkám – chlad, teplo, vítr.

### 4. geotech (geotextilie a stavebnictví)

Např. výstelky šachet, textilie pro formování a stabilizaci terénu, textilie pro zamezení erozi, textilie pro zpevňování říčních břehů a mořského pobřeží, zpevňování komunikací, zpevnění násypů a hrází.

### 5. hometech (textilie pro domácnost, podlahové krytiny, nábytkářské textilie)

Např. podklad pro podlahové krytiny, koberce, matrace, závěsy, vycpávky, potahové materiály, utěrky, výplně polštářů a matrací, lapače prachu, filtry do vysavačů a domovních klimatizací.



## **6. indutech (filtrace, čištění, přeprava)**

Např. plsti pro výrobu papíru, průmyslové filtry pro plyny a kapaliny, podklady pro katalyzátory, dopravníkové pásy, kompozitní materiály pro průmyslové aplikace, hadice, podklady pro brusné papíry, lana, hnací pásy, izolace kabelů, separátory v bateriích, těsnění, leštění povrchů.

## **7. medtech (hygiena a medicína)**

Např. medicínské oděvy, chirurgické pláště, textilie pro vybavení nemocničních prostor a operačních sálů, utěrky, gáza, obvazy, bandáže, náplasti, kompozita pro medicínu, vata.

## **8. mobiltech (automobily, lodě, letadla, železnice)**

Např. pneumatiky, potahy sedadel, krytiny podlah, stěn a stropů, air-bag systémy, výztuže z laminovaných textilií, lisované kompozitní struktury pro vnitřní prostory dopravních prostředků, bezpečnostní pásy, plachty na nákladní auta, lodní plachty, lana, potahy balonů.

## **9. pactech (obalové materiály)**

Např. pytle, vaky, sáčky na čaj, obálky, obalové plachty na zboží.

## **10. protech (ochrana osob a zařízení)**

Např. textilie pro čisté provozy, obličejové masky, skafandry, textilie chránící proti působení chemikálií, omezeně hořlavé a nehořlavé textilie, textilie chránící proti prořezání, balistické textilie, reflexní textilie se zvýrazněnou viditelností za šera, bariérové textilie pro ochranu proti hluku, teplu, vodě, resp. dalším extrémním vlivům okolí.

## **11. sporttech (sport a volný čas)**

Např. horolezecká lana, sportovní síť a obaly, stany, spací pytle, sportovní padáky, vlajky, umělé trávníky pro sportoviště, kompozita, popruhy pro zvířata.

## **12. oekotech (ochrana životního prostředí)**

Např. filtry a izolace sloužící k ochraně životního prostředí, další textilie z jiných skupin určené především pro ochranu životního prostředí.

V řadě případů se používá pojmů jako výkonné textilie, funkcionální textilie, inženýrské textilie a „hig-tech“ textilie.

Meziroční nárůst technických textilií je největší u netkaných textilií a kompozit (5,6 %). U plošných textilií je meziroční nárůst pouze 2,2 %, což je méně než průměrný meziroční nárůst všech technických textilií (3,7 %). Největší podíl z výroby technických textilií (20 %) představují textilie pro transport.

Je zajímavé, že více než 90 % procent technických textilií je tvořeno z klasických vláken a z textilních technologií se uplatňují ve větší míře netkané textilie [21].

Převládající technologií zpracování technických vláken do plošné textilie je u technických textilií tkaní, tzn., že se pracuje s lineární textilií vytvořenou z technických vláken. Obecně je možné tvrdit, že i když tkaní znamená relativně nízkou přidanou hodnotu, je vysoce konkurenčním sektorem a většina tkalcoven technických tkanin prosperuje a zatím má významné postavení na trhu. Příkladem, kde je poměrně významný růst spotřeby tkanin, jsou aplikace, které využívají jejich jedinečnou pevnost, stálost a charakteristickou směrovou

orientaci typickou pro výrobky na bázi příze. Jde např. o stavební sektor a konstrukce (membránové stavby atd.), geotextilie, a to zvláště pro aplikace spojené s armováním, ochranné oděvy a sportovní textilie. Agrotextilie se sice jeví jako méně významná oblast pro růst spotřeby tkanin, ale jak naznačují aktuální trendy, může se jednat ve vztahu k asijskému trhu, a to především k Číně, o významný segment.

Pleteniny dříve nenacházely větší uplatnění v technických aplikacích pro svou poměrně nízkou pevnost a nízkou rozměrovou stabilitu. Hlavní užití tradičních pletařských technologií bylo proto v aplikacích, kde se vyžadovala roztažnost a tvarová přizpůsobivost, jako u textilií pro zdravotnictví nebo podkladových textilií pro nánosování ve výrobě umělých usní. Novým vývojovým prvkem, který může významně zvýšit potřebu pletených textilií, je technika vkládání útku do osnovní pleteniny, což umožňuje usměrňovat charakteristiku pevnosti při konstrukci textilie a vytvářet složité pletené vzory a tvary. Tyto textilie, které jsou svým charakterem blízké sítím, nabízejí různé výhody, jako je např. redukce materiálu, a tím nižší výrobní náklady, dále také aplikaci v rozsahu od zpevňování kompozit po potahy sedadel aut. Moderní počítačová technika vzorování umožňuje řídit konstrukci a tvarování pletených textilií. V současnosti představují pletené technické textilie 3–5 % z celkové produkce technických textilií. Jedno z omezení jejich růstu je rozvoj moderních technologií na výrobu netkaných textilií, které jsou úspěšnější na úkor zavedených textilií, kde není nejpodstatnější vysoká pevnost a stabilita a kde by jinak byla pletenina ideální alternativou.

Konečné užití výrobků na bázi speciálních přízí lze rozdělit z hlediska náročnosti prostředí, pro které jsou určeny, na dvě skupiny. Jednu skupinu tvoří výrobky se specifickými užitnými vlastnostmi, jejichž provedení je standardní a nejsou na ně kladeny speciální požadavky z hlediska jejich fyzikálně mechanických vlastností. Takovými výrobky jsou například lůžkoviny s antibakteriálními účinky, nehořlavé závěsové textilie, antistatické ponožky. Do druhé skupiny patří výrobky, které disponují specifickými užitnými vlastnostmi a jsou určeny do náročnějších podmínek. Fyzikálně mechanické vlastnosti použitých materiálů dosahují vysokých parametrů. Do této kategorie patří zejména speciální pracovní a ochranné oblečení včetně oblečení pro sport a volný čas. Kvalita a užitné vlastnosti takovýchto výrobků jsou určovány použitým vlákněným materiálem, pevností příze a konstrukcí tkaniny. Pro zvláštní ochranné funkce se používají vlákna vysokých užitných vlastností (např. nehořlavé vlákno Basofil, vlákna uhlíková, vlákna s antistatickými účinky).

Jednou z perspektivních technik konečných úprav technických textilií je nánosování. Technologicky se nánosování realizuje ve dvou fázích:

- a) nanášením dostatečně viskózního prostředku na povrch textilie
- b) sušením s možným následným vytvrzením.

Pro nanášení polymerního roztoku, taveniny, resp. pryskyřice, se používá buď nanášecích válců (méně viskózní prostředky), nebo zatírání pomocí různých typů stěrek (viskózní prostředky).

Atraktivní je použití nových **forem nánosů** (pěna, mlha, rozptýl částic v elektrickém poli atd.).

Podle typu úpravnického prostředku se buď provádí zesílení, nebo pouze odstranění rozpouštědla.

Speciálním problémem je nános kovů (metalizace). Standardně se používá laminování kovových fólií, rozprašování nebo potahování (povlakování) v elektrickém poli. Poměrně



zajímavé je použití techniky fyzikálního ukládání par kovů (PVD), které umožňuje vytvoření filmu definované struktury na povrchu textilie. V závislosti na typu kovu (titan, zirkonium) a atmosféře (dusík, acetylén) vznikají nitridy, resp. karbidy. Některé nánosy slouží samostatně pouze k dodání požadovaných vlastností textilií a některé se používají k upevňování jiných aktivních látek (pigmentů, prášků, částic atp.).



## 10. POŽADAVKY NA TEXTILNÍ PRŮMYSL BUDOUCNOSTI

Textilní průmysl budoucnosti bude zaměřen na tyto oblasti:

- *Realizace ekologických výrob* (nezhoršujících životní prostředí a neohrožujících život na Zemi).
- *Snižování podílu odpadů z výrob* (bezodpadové technologie, regenerace, rekuperace, opětovné využití).
- *Snižování spotřeby energií* (alternativní reakční média, optimalizace procesů, alternativní zdroje energií).
- *Využívání obnovitelných zdrojů* (biotechnologie, zelená chemie).
- *Eliminace nebo náhrada toxických sloučenin* (nová rozpouštědla, náhrada těžkých kovů).
- *Likvidace odpadů a použitých výrobků* (biodegradace, opětovné využití surovin, speciální likvidace).

Obecně je ekonomické použít méně strojů s vyšší rychlostí produkce při zachování kvality produktů. To je důvod, proč se vyvíjejí a budou vyvíjet technologie s vyššími rychlostmi produkce. Nejvíce produktivní systém výroby přízí je v současnosti adhezivní pojení: Bobtex (kolem 700 m/min). Následuje systém frikčního předení Dref a tryskové předení Vortex. Ve tkalcovnách je nejproduktivnějším systémem vzduchového prohozu (rychlost zanášení útku přes 3000 m/min). V oblasti textilního strojírenství bude nadále snahou kromě zvyšování rychlosti produkce také snižování hmotnosti strojů, uplatňování mechatronických principů, řízení funkcí strojů počítačem a zajišťování flexibilní výroby. To vše se však bude týkat textilního průmyslu v delším časovém horizontu, protože půjde o investičně náročné úpravy strojního parku, kde návratnost bude poměrně pomalá. To je patrné již dnes, kdy celá řada úspěšných firem nemá zdaleka špičkové strojní vybavení a je přitom schopna vyrábět velmi kvalitní zboží.

Rozvoj většiny textilních technologií bude v dalších letech stále více ovlivňován ekologickými faktory. Lidské aktivity byly v rovnováze s udržitelnou bio kapacitou zeměkoule v roce 1985. V současnosti by pro zajištění udržitelné bio kapacity musela mít zeměkoule 1,3krát větší povrch. Tato nerovnováha se stále prohlubuje.

Lze tedy očekávat, že při výrobě surovin a materiálů pro textilní aplikace budou preferovány ekologicky šetrné „zelené“ technologie využívající obnovitelné zdroje. Bude vyvíjen stále větší tlak na recyklaci, resp. opětovné využití textilních odpadů jak z výroby, tak i po skončení cyklu užití textilií. Textilní technologie mají stále potenciál snížit energetickou náročnost až o 25 %. Lze tedy očekávat hledání nových technologií s nižší spotřebou energií (bio procesy, katalytické procesy, využití alternativních zdrojů energií), snižování hmotnosti strojů, snižování reakčních objemů, uplatnění regulace a optimálního řízení, účinnou izolaci strojů a systémů přenosu tepelné energie.

Přetrvávající základní a jednoduchý způsob přenosu tepla vedením s využitím vzduchu a vody je již dnes doplňován o ohřev pomocí IČ záření (řada polymerních vláken má absorpční pásy v oblasti blízkého IČ záření) a mikrovlnný ohřev (založený na rychlých změnách polarity-rotaci polárních molekul). Mikrovlnný ohřev vyžaduje 10krát až 100krát méně energie než konvenční ohřev. Při IČ ohřevu se nejdříve zahřívají povrchy materiálů a při mikrovlnném ohřevu se nejdříve zahřívají hrany a vnitřní části materiálů. Kombinací obou typů ohřevu lze získat rovnoměrnější zahřívání celého objemu.





Dalšími možnostmi intenzivního (lokálního) ohřevu povrchů a tenkých podpovrchových vrstev je využití plazmy.

**Studená (nerovnovážná) plazma** je standardně generována za nízkých tlaků (ve vakuu) s využitím nízko výkonných generátorů stejnosměrného proudu a mikrovlnného záření. Má teplotu plazmového plynu kolem 30–100 °C a lze ji použít pro všechny organické materiály. Studená plazma se hodí pro různé druhy povrchové modifikace od jednoduchých topografických změn až k povrchovému roubování, kdy je chemické složení (a vlastnosti) povrchu zcela jiné než složení jádra. Energetické částice plazmy porušují při kolizích s povrchem materiálu chemické vazby a vyvolávají vznik volných radikálů. S ohledem na složení plazmy pak dochází k dalším reakcím.

Efekt, který vyvolá plazma, je závislý především na složení plazmového plynu. Pokud obsahuje plazmový plyn velký podíl uhlíkových a vodíkových atomů (metan, etylén, etanol), dochází k plazmové polymerizaci. Na druhé straně plazmy obsahující plyn se silnou elektronovou afinitou (kyslíková, vzduchová, CF<sub>4</sub> atd.) mají výraznou leptací schopnost. Vzhledem k reaktivitě excitovaných kyslíkových atomů se pro řadu aplikací používá plazmy s obsahem kyslíku. Také při použití inertních plynů (helium, neon, argon, krypton a xenon) je jejich ionizační energie dostatečně vysoká k iniciaci chemických reakcí (ionizační energie jsou pro helium 24,5 eV, neon 21,6 eV, argon 15,8 eV, Xenon 10 eV a krypton 14,0 eV). Pro průběh odleptávání je důležitá také emise jednotlivých druhů plazmy v UV oblasti. Výraznou emisí v oblasti pod 160 μm má plazma obsahující vodík. Plazma s obsahem dusíku emituje UV záření také v oblasti od 300 μm výše (typ A).

49

Pro práci za běžných tlaků se používá místo studené plazmy koronového výboje. Výhodné je použít vysokofrekvenčního výboje s frekvencí v oblasti mikrovln (~ 2,45 GHz), resp. frekvenci radiových vln (~ 100 kHz).

Plazma proniká až do hloubky kolem 10 μm. Plazma se v textilu využívá zejména pro čištění, odleptávání, ukládání vrstev (metalizace) a aktivaci povrchů, resp. realizaci různých typů reakcí na povrchu textilií. Její použití je výhodné také pro hydrofilizaci povrchů a roubování různých materiálů na povrch textilií.

Plazmové zpracování modifikuje pouze povrchové struktury, se kterými se dostanou do kontaktu energetické částice (radikály plynů). Částice musí mít tedy dostatečnou volnou dráhu, aby z místa generace plazmy narazily na povrch textilie. Problém je, že povrch textilií je velmi komplikovaný a nerovnoměrný. V přízi složené ze staplových vláken jsou vzdálenosti mezi vlákny kolem 1–10 μm. Vzdálenosti mezi přízemi jsou kolem 0,1–1 mm. Volná dráha částic pak závisí na vzdálenosti mezi vlákny a hustotě plazmového plynu (střet částic vede k rekombinaci radikálů). Logaritmus střední volné dráhy molekul plynů prakticky lineárně klesá s logaritmem jeho tlaku. Při použití klasické studené plazmy je tlak menší než 1 mbar (obvykle kolem 0,5 mbar), což vede k volné dráze větší než 100 μm. Tato volná dráha je podstatně větší než vzdálenosti mezi elementy textilie. Výsledek je, že částice plazmového plynu se převážně dostávají do styku s povrchem vlákna a ztráty vlivem rekombinace částic jsou malé. V oblasti atmosférického tlaku kolem 800 mbar je průměrná volná dráha molekul plynů kolem 0,1 μm. To způsobuje, že u objemnějších textilií nepronikají radikály k povrchu většiny vláken. Účinek plazmy lze zvýšit také prodloužením času zpracování. Praktickým problémem je, že většina zařízení pracuje v rozmezí kolem 8 mbar, což vede ke střední volné délce kolem 10 μm. Pro použití vyšších tlaků je třeba volit speciální elektrody a systém dodávání plynu



(mechanismus transportu se mění z difúzního na konvekční). Řízením tlaku plazmového plynu lze tedy ovlivnit průnik plazmového zpracování do struktury textilie (k vláknům, která nejsou přímo na makro povrchu textilie). Výsledky získané na fóliích tedy nelze přímo přenést do oblasti textilních struktur. Při použití atmosférického tlaku se pro generaci plazmy používá koronového nebo jiskrového výboje. Plazmový proud vychází z trysky a dopadá na povrch textilie. Vzhledem k velmi krátké volné délce molekul ionizovaného vzduchu nedochází k podstatnější penetraci do textilní struktury. Dochází pouze k výraznému narušení povrchových vrstev vláken. Je tedy patrné, že pro zušlechťovací operace, kde se požaduje povrchová modifikace většiny vláken v textilní struktuře, nelze jednoduše použít zařízení pro atmosférickou plazmu.

Pro zajištění celé řady reakcí (polymerizace) na povrchu textilií lze využít také elektromagnetického záření vhodné vlnové délky. Běžně se používá ozáření pomocí UV paprsků, resp.  $\gamma$  – paprsků a ve speciálních případech i excimerových laserů (emitujících pulzní záření vysoké intenzity). Excimerové lasery se však hodí spíše k iniciaci roubovacích reakcí a povrchovému leptání.

**Excimerový (excited dimer) laser** používá buď dvou molekul vzácného plynu, nebo jedné molekuly vzácného plynu a atomu halogenu ke generování koherentního záření v jisté vlnové oblasti, nejčastěji UV. Energetickým zdrojem excimerového laseru může být proud menšího počtu elektronů při vysoké energii nebo elektrony při vysokém proudovém výboji (100 000 A). Plyny používané v excimerových laserech mají krátkou životnost, takže je třeba jejich neustálé doplňování. Excimerové lasery generují nanosekundové vysoce energetické pulzy, které odstraňují elektrony z atomových jader. To je příčinou praskání vazeb v polymerních řetězcích a odleptávání. Excimerový laser generuje obecně méně tepelné energie než ostatní typy laserů. Umožňuje vytváření velmi speciálních povrchových struktur (příčné vrásnění), které mění adhezni vlastnosti, smáčení a optické vlastnosti vláken. Lze ho snadno použít i pro modifikaci tkanin a netkaných textilií. Přehled změn povrchové struktury vlivem UV laserového ozařování je uveden v pracích Knittela a Scholmeyera [22].

Excimerový laser je tedy intenzivní pulzní zdroj monochromatického (obyčejně UV) záření, který lze použít pro ozařování povrchu. Světelná energie emitovaná excimerovým zdrojem může být absorbována keramikou a polymery, které obecně neabsorbují světelné a IČ záření. Navíc je záření dodáváno s velkou energií (typicky 0,5 J) o krátkých pulzech (30–40 ns), což zamezuje ustálení rovnováhy uvnitř ozařovaného materiálu během přenosu energie. Vlivem ozáření dochází k řadě povrchových modifikací. V případě polymerů dochází k povrchovému odstraňování materiálu (odleptání). Tento proces může být díky nízké vlnové délce záření velmi přesně lokalizován (rozměry řádově  $\mu\text{m}$ ). Nedochází k průvodním tepelným efektům zkreslujícím lokalizaci. Je tedy možné vytvářet na povrchu různé struktury s přesně definovanými rozměry. Povrchové odleptání polymerních částic nastává až po překročení sumární hustoty laserové energie (sčítaná přes čas působení) označované jako práh leptání  $\varepsilon_0$  ( $\text{J}/\text{cm}^2$ ). Nad tímto prahem roste množství odstraňované látky za jeden pulz konstantní rychlosti, až do saturační hodnoty, které odpovídá maximální hloubka odleptání na pulz  $Z_0$ .

S růstem vlnové délky dochází ke zvýšení absorpce záření, větší hloubce penetrace (při 193  $\mu\text{m}$  je to 0,034  $\mu\text{m}$  a při 351  $\mu\text{m}$  je to již 4  $\mu\text{m}$ ) a k lokálnímu povrchovému natavování většího dosahu. To se projeví na struktuře (příčné vrásky jsou širší a dokonce se „slévají“). Velmi výrazný vliv má také zvyšování počtu pulzů, které vede ke zvyšování celkové energie dodávané laserem. Důsledkem je hlubší pronikání záření do struktury a výraznější změny.



Excimerový laser umožňuje vytvářet celé spektrum povrchových struktur, které výrazně ovlivní řadu vlastností textilií [22]. Pro průmyslové použití je zatím omezující nízká rychlost při zpracování textilií v plné šíři (rychlost opakování laserových pulzů je malá).

Zajímavá aplikace KrF excimerového laseru ( $\lambda_E = 248$  nm a dostatečné hustota energie  $100 \text{ mJ/cm}^2$ ) spočívá v ozařování polyamidových materiálů [23]. Vzniká povrchová grafitická struktura tloušťky kolem  $1 \mu\text{m}$  a elektrického odporu kolem  $10^{-2} \Omega\text{m}$ . Výsledkem je polovodivý materiál, jehož elektrický odpor klesá skokově v oblasti 359 K (tento jev se opakuje i při několikanásobném cyklu ohřev/chlazení).

Všechny tyto nekonvenční způsoby ohřevu, resp. aktivace reakcí, budou (kromě strojního zařízení) vyžadovat také výběr vhodných úpravnických prostředků, TPP a dalších látek podporujících, resp. zajišťujících jejich fungování laserového záření.

Samostatným problémem textilních technologií bude selekce vhodných kapalin pro ekologické a energeticky méně náročné procesy, jako je:

- Rozpouštění různých látek (čištění povrchů, tvorba roztoků).
  - Transport hmoty a tepla (jednoduché a účinné míšení, resp. míchání).
  - Vytvoření reakčního prostředí. Umožnění míšení reaktantů v potřebné koncentraci (lážňové procesy).
  - Stabilizaci přechodných stavů (pěna, pasta, emulze, disperze, gely).
  - Ukládání pevných částic (barvení, tisk, úpravy).
  - Řízení energie reakcí v relativně homogenním prostředí bez efektů „povrch/objem“
1. Endotermické reakce – teplo se dodává ohřevem kapaliny
  2. Exotermické reakce – kapalina působí jako tepelná jímka umožňující průběh reakce. Přebytek tepla se odstraňuje např. varem nebo odpařováním.

Kapaliny se v textilu používají a budou zřejmě i nadále používat zejména pro tyto účely:

#### Odstraňování:

Většina předúpravnických operací je založena na čištění povrchu textilních materiálů a odstraňování nežádoucích látek. Standardně se využívá vody.

#### Nanášení:

Aktivní látky jsou obvykle ve formě roztoku, disperze nebo polymeru (monomeru). Používají se jak voda, tak i organická rozpouštědla odstranitelná odpařením.

#### Čištění:

Údržba textilií praním (obvykle voda) nebo čištěním „za sucha“ (organická rozpouštědla – perchloretylén)

#### Přenos tepla:

Řada technologií kombinuje přenos tepla s nanášením, reakcí atd. Speciální jsou tvarování a fixace. Standardně se kromě vzduchu využívá voda.

Nejčastěji používaná kapalina zůstává voda. Voda je laciná, snadno dostupná a použitelná v řadě aplikací. Má však některá omezení:

- Nízká rozpustnost některých organických látek.
- Kompatibilita s některými činidly.
- Komplikované čištění odpadních vod.
- Snadné míšení s některými organickými kapalinami (polárními).
- Vysoká energie vypařování, specifické teplo a povrchové napětí. Specifické teplo ledu při 0°C je 2.093 J g<sup>-1</sup>, vodní páry při 10 0°C (konst. tlak) je 1.934 J g<sup>-1</sup>.
- Vysoká dielektrická konstanta  $\epsilon_r = 78.4$  (silně polární kapalina).
- Dipólový moment je  $D = 1.85$  Debye a poměr  $\epsilon_r/D^2$  je veliký.

Možnosti náhrady vody a těkavých organických rozpouštědel:

- Bezrozpouštědlové techniky (komplikace u exotermních reakcí, nehomogenní prostředí – problém míšení).
- Kapaliny v super kritickém stavu (CO<sub>2</sub>).
- Iontové kapaliny.
- Estery laktátů.

Neexistuje zatím univerzální řešení, ale spotřebu vody bude zřejmě výhledově nutné silně omezit.



## 11. ZÁVĚR

Je patrné, že již dnes existuje řada zajímavých námětů a postupů, které se v budoucnosti budou zřejmě využívat v průmyslovém měřítku. Na druhé straně však nelze očekávat, že všechna řešení budou automaticky úspěšná již proto, že není zajištěno jejich bezproblémové využití, dlouhodobá aplikovatelnost a trvanlivost v podmínkách běžných pro standardní materiály a textilní struktury. Lze očekávat rozšíření některých výsledků i mimo oblast jejich původního zamýšleného využití. Velmi efektivní bude zřejmě použití různých kombinací materiálů a struktur s možností získání synergických efektů, resp. komplexnějšího řešení problémů.



## LITERATURA

- [1] Tuljapurkar S., Li N., a Boe C.: *A universal pattern of mortality decline in the G7 countries*, Nature **405**, 789–792. (2000)
- [2] Militký J.: *Textilní vlákna klasická a speciální*, skripta TU Liberec 2012 ISBN 978-80-7372-844-1
- [3] Srinivasan A. V., Mc Farland D. M.: *Smart Structures*, Cambridge University Press 2001
- [4] Wilson A.: *The Future of Smart Fabrics, Market and Technology Forecasts to 2021*, Pira International Ltd, Leatherhead, 2011
- [5] Ramaratnam K. a kol. : *Ultrahydrophobic Textiles Using Nanoparticles: Lotus Approach*, Journal of Engineered Fibers and Fabrics **3**, 1-14 (2008)
- [6] Roach P. a kol.: *Progress in superhydrophobic surface development*, Soft Matter, **4**, 224–240 (2008)
- [7] Ma M. a kol.: *Electrospun poly(styrene-co-dimethylsiloxane) block copolymer fibers exhibiting microphase separation and superhydrophobicity*, Langmuir **21**, 5549–5554 (2005)
- [8] Yamashita Y.: *Current state of nanofiber produced by electrospinning and prospect for mass production*, J. Textile. Engr. **54** , 199-205 (2008)
- [9] Lim H. S. a kol.: *Superamphiphilic Janus fabric*, Langmuir, **26**, 19159 – 19162 (2010)
- [10] <http://www.cabot-corp.com/aerogel>
- [11] Křemenáková D., Militký J., Šesták J. Eds: *Vláknenné struktury pro speciální aplikace*, nakladatelství ZČU Plzeň, 2013, ISBN 978-80-87269-32-9
- [12] Robertson J.: *Realistic Applications of CNTs*, Materials Today, **7**, 46-52 (2004)
- [13] <http://www.psfk.com/2009/06/bare-conductive-body-paint.html#ixzz1cHgWk9ma>
- [14] Shirikawa H. a kol.: *Synthesis of electrically conducting organic polymers: halogen derivatives of polyacetylene*, J. Chem. Soc. Chem. Commun. **16**, 578- 580 (1977)
- [15] Stenger-Smith J.D.: *Intrinsically electrically conducting polymers, Synthesis, characterizations, and their applications*, Prog. Polym. Sci. **23**, 57 -79 (1998)
- [16] Xu L. a kol.: *Reversible Conversion of Conducting Polymer Films from Superhydrophobic to Superhydrophilic*, Angew. Chem. Int. Ed., **44**, 6009 –6012 (2005)
- [17] Cunniff P.M.: *Dimensionless parameters for optimization of textile body armor system*,



Proc. 18 th. Int. Symp. on Ballistic, San Antonio, November 1999

[18] Vigo T. C., Frost T. L.: *Temperature-adaptable textile fibers and method of preparing same*, US Patent 4871615 (1989).

[19] Tao X. ed.: *Smart fibers, fabrics and Clothing*, CRC Press, Boca Raton Boston 2001 (kap. 13)

[20] Jeong B., Gutowska A.: *Lessons from nature: stimuli-responsive polymers and their biomedical applications*, Trends in Biotechnology **20**, 305-311(2002)

[21] Holmes I.: *Recent advances in chemical processing*, Colourage **45**, 41 (1998)

[22] Knittel D., Scholmeyer E.: *Surface Structuring of Synthetic Fibres by UV Laser Irradiation Part I: Phenomenological Report*, Polymer Int. **43**, 231 - 239, (1997)

[23] Quin Z. a kol.: *Excimer-laser irradiated polyimide films as temperature-sensitive materials*, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research **B 170**, 115-119 (2000).

