

# Uporaba tehničkih tekstila u visokogradnji

Ljudmila Koprivec, Martina Zbašnik-Senegačnik, Jože Kušar

## Ključne riječi

tehnički tekstili, visokogradnja, graditeljstvo, vlakna, umjetne tkanine, sustav gradnje, zgrada

## Key words

technical textiles, building engineering, civil engineering, fabrics, artificial fabrics, construction system, building

## Mots clés

textiles techniques, bâtiment, génie civil, tissus, tissus artificiels, système de construction, bâtiment

## Ключевые слова

технические текстили, высотное строительство, строительство, волокна, искусственные ткани, система строительства, здание

## Schlüsselworte

technische Textilien, Hochbau, Bauwesen, Fasern, Kunstgewebe, Bausystem, Gebäude

Lj. Koprivec, M. Zbašnik-Senegačnik, J. Kušar

Pregledni rad

## Uporaba tehničkih tekstila u visokogradnji

Polazeći od tvrdnje da uporaba tekstila u graditeljstvu nije novost, u radu se ističe da se razvoj na tom području nadograđivao od prirodnih do umjetnih tkanina, kako se mijenjao i sustav gradnje. Pregledno su prikazane vrste vlakana za tehnički tekstil pri čemu su opisane osnovne njihove karakteristike. Primjena tehničkih tekstila u visokogradnji prikazano je na trima vrstama zgrada. Istaknuto je da novi materijali podstiču na nove pristupe u oblikovanju prostora i građevina.

Lj. Koprivec, M. Zbašnik-Senegačnik, J. Kušar

Subject review

## Use of technical textiles in building engineering

Starting from the assertion that the use of textiles in construction is not a novelty, the authors emphasize that developments in this field are marked by transition from natural to artificial types of fabric, and that this transition took place in keeping with the changes in construction systems. Types of technical textile fabrics are presented, and their basic features are described. The use of technical textiles in building engineering is presented on three building types. It is emphasized that new materials encourage use of new approaches in the design and shaping of space and man-made structures.

Lj. Koprivec, M. Zbašnik-Senegačnik, J. Kušar

Ouvrage de syntaxe

## Emploi des textiles techniques dans la construction des bâtiments

En partant de l'assertion que l'emploi de textiles n'est pas une nouveauté en génie civil, les auteurs soulignent que les développements dans cette branche sont marqués par la transition des tissus naturels aux tissus artificiels, et que cette transition a eu lieu en harmonie avec les changements dans les systèmes de construction. Les types de tissus techniques sont présentés, et leurs caractéristiques de base sont décrites. L'emploi des textiles techniques dans le secteur de bâtiment est présenté sur trois types de bâtiments. Il est souligné que de nouveaux matériaux encouragent l'emploi de nouvelles approches dans l'étude et le façonnement de l'espace et des ouvrages de construction.

Л. Копривец, М. Збашиник-Сенегачник, Ї. Кушар

Обзорная работа

## Употребление технических текстилей в высотном строительстве

Исходя из утверждения, что употребление текстиля в строительстве не является новостью, в работе подчёркивается, что развитие в той области надостраивалось из естественных до искусственных тканей, так же как и менялась система строительства. Обзорно показаны типы волокон, при чём описаны их характеристики. Применение технических текстилей в высотном строительстве показано на трёх типах зданий. Подчёркнуто, что более новые материалы подстрекают к новым подходам в придании форм простору и объектам.

Lj. Koprivec, M. Zbašnik-Senegačnik, J. Kušar

Übersichtsarbeit

## Gebrauch von technischen Textilien im Hochbau

Ausgehend von der Behauptung dass der Gebrauch von Textilien im Bauwesen keine Neuigkeit vorstellt wird im Artikel hervorgehoben dass die Entwicklung auf diesem Gebiet von natürlichen zu Kunstgeweben lief, entsprechend der Änderung des Bausystems. Übersichtlich sind die Faserarten für technische Textilien dargestellt und deren Grundkennzeichen beschrieben. Die Anwendung technischer Textilien im Hochbau ist an drei Gebäudearten dargestellt. Hervorgehoben ist dass neue Baustoffe neue Zutritte zur Gestaltung von Raum und Bauwerk anregen.

Autori: **Ljudmila Koprivec**, univ. dipl. ing. arh.; doc. dr. sc. **Martina Zbašnik-Senegačnik**, univ. dipl. ing. arh., prof. dr. sc. **Jože Kušar**, univ. dipl. ing. arh., Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, Slovenija

## 1 Uvod

Arhitekt i teoretičar arhitekture XIX. stoljeća Gottfried Semper u svom je radu [26] tekstile označio kao prvobitnu vrstu umjetnosti i tu tvrdnju nadgradio u dvjema teorijama. U prvoj, *Teoriji ovoja (Bekleidungsprinzip)* tvrdi da graditeljstvo započinje doslovno oblačenjem konstrukcije (tekstilom). U *Teoriji zamjene materijala (Stoff-Wechselprinzip)* tu tvrdnju stupnjuje do uvjerenja da se oblici karakteristični za neki materijal mogu ponoviti i u drugačijem materijalu [17].

Oblačenje građevina u tekstil inače nije ništa novo. Već na kamenim reljefima asirske, egipatske i rimske kulture bili su prikazani vojni šatori, izrađeni od životinjskih koža napetih preko nosivog kostura. Te su se konstrukcije savijale pod težinom snijega ili lepršale pod silom vjetra te mijenjale oblik kako bi uspješno podnijele opterećenja [5].

Materijali tradicionalnih šatora bili su organskog podrijetla (pamuk, platno, koža). Čak i na početku uporabe suvremenih tekstilnih struktura često se upotrebljavalo platno koje su onda zamijenili novi sastavi. Današnja tehnologija u različitim industrijskim granama nudi nove proizvode koji služe za izradu visokovrijednih tekstila. Pod tim se pojmom ne podrazumijevaju samo tkanine i pletiva u industriji odjeće, već vlakna različitoga sirovinškog podrijetla izrađena s pomoću najsuvremenijih tehnoloških postupaka, koje je moguće rabiti i u graditeljstvu. U posljednjih su se četrdeset godina na tržištu pojavili tekstili od kemijskih vlakana s iznimnim mehaničkim svojstvima. Impregniranje tkanina s različitim polimerima povećalo je njihovu izdržljivost. Otporne su na sunčevu svjetlost, temperaturne razlike, biološke učinke, vjetar, kišu i snijeg, imaju bolju vodootpornost, čvrstoću, postojanost na temperaturu, sporije starenje i jednostavnije održavanje [5].

Brzi razvoj tehnologije, interdisciplinarno istraživanje te suradnja između industrije i znanosti, projektantima omogućavaju nove mogućnosti na području oblikovanja i predstavljaju nove izazove u tehnološkoj uporabi tzv. tehničkih tekstila. Potvrđuje se Semperova tvrdnja u *Teoriji zamjene materijala* da oblici, karakteristični za "nižu", tekstilnu vrstu umjetnosti, preko određenog procesa ožive u visokogradnji [30].

## 2 Vrste vlakana

Tekstili koji se upotrebljavaju u industriji zovu se tehnički tekstili. Pojam obuhvaća brojne vrste tekstila iz različitih ili visokokvalitetnih *high-tech* vlakana, s iznimkom metalnih žica i njihovih proizvoda (kabeli, pletene ili tkane metalne mreže) [12]. *High-tech* vlakna pri promjenama okolišnih uvjeta dulje zadržavaju fizikalne značajke. Iznimno su čvrsta, imaju veliku vlačnu čvrstoću, ujedno su elastična i lagana [34] U tablici 1. prikazane su značajke određenih vlakana.

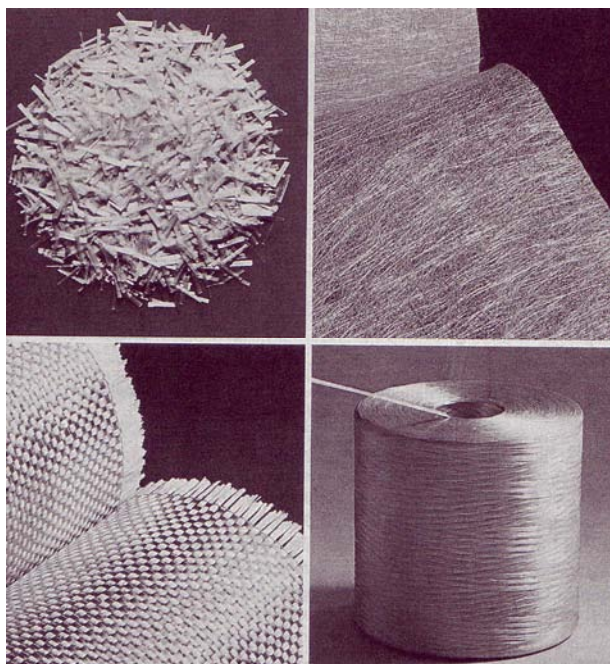
Razvoj visokokvalitetnih vlakana [9] započeo je u prvoj polovici XX. stoljeća i to industrijskom proizvodnjom vlakana od *rajona, acetata, najlona, poliester*a itd., koja su zamijenila do tada upotrebljavana prirodna vlakna. Drugu prekretnicu obilježila je nova generacija vlakana s poboljšanim čvrstoćama i svojstvima otpornosti (*staklena, keramička, aramidna, ugljična vlakna*), koja su na tržištu dostupna posljednjih desetljeća. Na prijelazu tisućljeća pojavila se treća generacija vlakana. Trenutačni predmet istraživanja su naime tzv. *pametna vlakna* s fizikalnim i kemijskim svojstvima koja će uporabi tekstila u industriji u budućnosti dati posve novu dimenziju (npr. *ugljične nanocjevčice*). Zbog manjeg broja proizvođača i izvanrednih karakteristika trenutačno su još vrlo skupa.

Tablica 1. Značajke E-stakla, aramidnih i ugljičnih vlakana, polietilena te čelika [20]

značajke	E-staklo	ugljik		aramid		polietilen	čelik
		velika čvrstoća	veliki modul elastičnosti	obični	veliki modul elastičnosti		
vlačna čvrstoća [GPa]	3,4-3,5	2,7-3,5	2,0-3,2	2,8-3,0	2,8-3,4	2,6-3,3	1,8-4,2
E-modul [GPa]	72-73	228-238	350-490	58-80	120-186	87-172	210
izduljenje pri slomu [%]	3,3-4,8	1,2-1,4	0,4-0,8	3,4-4,4	1,9-2,4	2,7-3,5	1-2
specifična vlačna tvrdoća [N/tex]	1,30-1,35	1,5-2,0	1,1-1,7	1,9-2,2	1,9-2,3	2,7-3,4	0,2-0,6
specifičan E-modul [N/tex]	27,7-28,2	127-134	190-260	40-56	83-127	90-177	27
debljina vlakna [ $\mu\text{m}$ ]	3-25	7-8	6,5-8,0	12	12	27-38	7-8
gustoća [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	2,6	1,75-1,8	1,79-1,91	1,36 do 1,44	1,45 do 1,47	0,97	7,8
koeficijent temp. rastezanja [ $10^{-6}\text{K}$ ]	5	-0,1 do -0,7	-0,5 do -1,3	-2,0 do -6,0	-2,0 do -6,0	<-9	13

### 2.1 Staklena vlakna

Staklena su vlakna najdulje u upotrebi [12], još od Asiraca i Rimljana. Sadrže silicijev dioksid koji tvori trodimenzijsku mrežu kemijskih veza. S dodacima drugih oksida, čvrstoća i kemijska stabilnost staklenih vlakana se povećava. Staklena su vlakna relativno kemijski neaktivna, slabi su vodiči topline i zvuka. Zbog svoje negotivnosti upotrebljavaju se posebno tamo gdje su izložena visokim temperaturama (npr. svemirska industrija) [5]. Staklena se vlakna upotrebljavaju i u izolacijama, za armiranje i za optička vlakna [9] (slika 1.).



Slika 1. Različiti oblici staklenih vlakana primjenjivih za ojačanja [9]

### 2.2 Keramička vlakna

Jedna od najvažnijih značajki keramičkih vlakana jest njihova otpornost na visoke temperature (više od stakla), a da pritom ne dolazi do deformacija ili slabljenja vlačne čvrstoće [5]. Keramička vlakna ne korodiraju i brzo provode toplinu. Slabe su karakteristike keramičkih vlakana njihova velika gustoća i krhkost [19]. Japanske tvrtke proizvode tekstile koji za osnovu imaju keramička vlakna i štite od štetnih ultraljubičastih zraka [5].

### 2.3 Aramidna vlakna

Aramidna vlakna su sintetička, polimerna i prvi puta proizvedena u šezdesetim godinama [5]. Najpoznatija aramidna vlakna su *kevlar* (poli-p-fenilentereftalamid PPTA) te *twaron* [4].

Vlačna čvrstoća aramidnih vlakana je poprilično veća nego kod ostalih vlakana organskog podrijetla. Aramidna se vlakna tkaju jednostavnije od staklenih, ugljičnih ili

keramičkih vlakana [9]. Odlikuje ih manja gustoća i velika vlačna čvrstoća, otporna su na rezanje, požar, kemikalije i korozije [5]. Aramidna vlakna u suvremenim mješavinama već nadomještaju čelik i aluminij.

### 2.4 Ugljična vlakna

Ugljična su se vlakna prvi puta pojavila na tržištu također u šezdesetim godinama i još se uvijek razvijaju (slika 2.). U uzdužnom smjeru imaju visok modul elastičnosti i veliku čvrstoću, toplinsku provodljivost i električnu provodljivost [4]. Otporna su na požar i nagrizanje, lagana su i omogućavaju dobru apsorpciju vibracija [6]. Njihova slaba značajka jest krhkost. Izrađuju se od celuloznih i poliakrilnih vlakana, od smole, poliamida, polivinilalkohola te ugljikovodika.

Ugljična vlakna izrađuju se s različitim odnosima između vlačnog i elastičnog modula. Približno 90% ugljičnih vlakana pripada visoko čvrstim vlaknima koja imaju veliku čvrstoću i nizak modul elastičnosti [5].

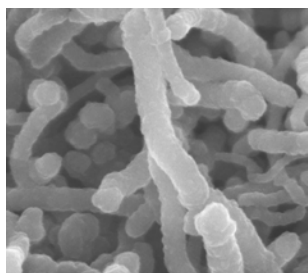


Slika 2. Tkanina od ugljičnih vlakana [5]

### 2.5 Ugljične nanocjevčice

Ugljične su se nanocjevčice prvi put pojavile 1991. godine. Zbog svojih izvanrednih mehaničkih, električnih i toplinskih svojstava često se nazivaju *supervlaknima* (slika 3.).

Izrada se temelji na cijepanju veze C-C (jedna od najčvršćih veza u prirodi) s pomoću lasera pri temperaturi 1200 °C. Ugljične nanocjevčice su jednostijenske i imaju karakterističan promjer 0,7 do 1,5 nm, dvostijenske (promjer između 2 i 5 nm) te višestijenske (5 do 50 nm). Jednostijenske nanocjevčice su ugljična vlakna s ideal-



Slika 3. Ugljične nanocjevčice /100 nm [5]

nom grafitnom građom i malom gustoćom, što im daje izvanredna tehnička svojstva (iznimnu otpornost i čvrstoću, neslomljivost). Modul elastičnosti u smjeru vlakana je približno 640 GPa, vlačna čvrstoća 37 GPa. Kombinacija gustoće ( $1,3 \text{ g/cm}^3$ ), mehaničkih, toplinskih i električnih svojstava je izvanredna [4]. Ugljične se nanocjevčice kao alternativna vlakna djelomično već upotrebljavaju, djelomično su predmet istraživanja, no svakako na području tekstila obećavaju napredak.

### 3 Vrste tehničkih tekstila

Tehnički se tekstili od 1980. predstavljaju na sajmovima *Techtextil* u Frankfurtu (Njemačka) i Osaki (Japan). Razvrstani su u 12 skupina: agrotekstili, tekstili za građevinsku industriju, tekstilnu industriju, geotekstile, tekstile za domaćinstvo i dom, industrijske tekstile, medicinske tekstile, tekstile za automobilsku industriju i druga transportna sredstva, ekološke tekstile, tekstile za ambalažu, zaštitne tekstile, tekstile za sport. Posebnih tekstila za graditeljstvo nema. Projektanti traže tehničke tekstile u okviru ponude nabrojanih skupina.

Industrija danas nudi brojna vlakna koja su osnova za izradu različitih tehničkih tekstila i druge proizvode upotrijebljive u graditeljstvu. U uporabljiv završni proizvod vlakna se povezuju međusobno i s drugim komponentama na različite načine: lijepljenjem, pletenjem, tkanjem, toplinskom obradom itd. Pojavljuju se u obliku kompozita, membrana, trodimenzijskih tkanina i netkanih tekstila, pametnih tekstila, biomimetičkih tekstila.

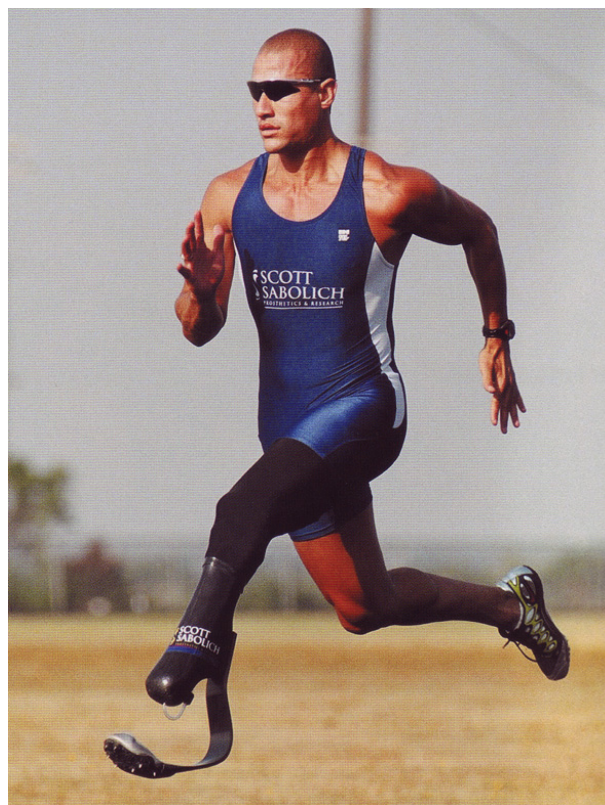
#### 3.1 Kompoziti

Vlaknima učvršćeni kompoziti najčešća su i najvažnija vrsta kompozita. To je i područje gdje je uporaba visokokvalitetnih vlakana najčešća i najprimijenjenija u visokogradnji te oblikovanju (slika 4.). Kompoziti se u visokogradnji češće upotrebljavaju pod skupnim nazivom laminati.

Obično je kompozit sastavljen od dvije komponente: matrice i faze učvršćivanja. Kako vlakna sama po sebi nisu čvrsta, trebaju matricu koja krhka i slomljiva vlakna fiksira i učvršćuje da bi nastali kompozit mogao podnijeti opterećenje. Matrica često osigurava otpornost kompozita na vanjske uvjete (ultraljubičaste zrake, vlagu). Kemijska ili prirodna vlakna su u kompozitu faza učvršćivanja. Mogu biti kratka, duga ili neprekinuta. Pri planiranju karakteristika kompozita potrebno je pri vlak-

nima poštivati više čimbenika: vrstu, duljinu i promjer vlakna, orijentaciju, količinu i značajke vlakana te način povezivanja.

Kao rezultat sudjelovanja između inženjera i športaša, *Flex-Foot* je omogućio Tommu Whittakeru uspon na vrh Mount Everesta. Pleteni kompozit od ugljičnih vlakana oblikovan je kao odskočna daska koja u primjeni pokazuje lakoću, čvrstoću i otpornost kompozita [5].



Slika 4. Kompozit od ugljičnih vlakana (proizvod Flex-Foot) upotrebljava 90 posto športaša s amputiranim udom

#### 3.2 Membrane

Membrane su sastavljene od tkanine koja osigurava čvrstoću i prevlake koja nudi zaštitu od vlage, ultraljubičastog zračenja, požara, mikroba itd., poboljšava otpornost i produljuje trajnost. Suvremeni sintetički tehnički tekstili uspješna su zamjena za pamučne. Lakši su, čvršći, otporni na gnjiljenje, sunčevu svjetlost i vrijeme. U membranama se upotrebljavaju sljedeće tkanine:

- Pamučne tkanine

Pamučne su tkanine impregnirane i većinom nemaju dodatnih obloga. Impregnacija omogućava otpornost na požar i mikrobe, kratko su vrijeme i vodonepropusne. Do određene temperature pamučne su tkanine otporne i na toplinu i uobičajenu koncentraciju kemikalija. Većinom se te tkanine upotrebljavaju za unutarnje prostore

ili za povremene i pomične zgrade koje su izložene malim opterećenjima.

- PTFE tkanine

Politetrafluoroetilen (PTFE) je fluoropolimer (polimer, koji ima u svojoj molekularnoj strukturi vezane fluorove atome) poznat pod komercijalnim imenom *teflon*.

PTFE u obliku premaza neosjetljiv je na kemikalije i lako podnosi temperature od  $-73\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+232\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Otporan je na požar i na ultraljubičaste zrake.

PTFE tkanina je negoriva, otporna na nagrizanja, ima čvrstoću oko  $4500\text{ N/5 cm}$  i gustoću  $710\text{ g/m}^3$ . S obzirom na debljinu propušta do 37% svjetlosti. Trajnost PTFE tkanine je ocijenjena na približno 25 godina. Bez prevlake može biti izložena vlazi, nečistoćama te biološkim i kemijskim tvarima.

- ETFE tkanine

Etilen-tetrafluoroetilen (ETFE) je fluoropolimer. ETFE tkanina s prevlakom propušta difuznu svjetlost u dnevnom spektru. Uporabljena u unutarnjem prostoru (npr. Daimler-Chrysler Design Centre, Sindelfingen), s THV oblogom (fluorotermoplastički kopolimer iz tetrafluoroetilena, heksafluoropropilena i vinilen fluorida) propušta 90% svjetlosti – vrijednost koju nije moguće postići niti jednom drugom membranom. ETFE tkanine se većinom upotrebljavaju za pneumatske strukture.

- PVC tkanine

Polivinilklorid je termoplast (polimer koji pri sagorijevanju postane plastičan i moguće ga je oblikovati, a nakon hlađenja zadržava oblik). Tkanine od PVC-a s izvanrednom rastezljivošću, a niskom otpornošću na ultraljubičaste zrake, mogu biti prozirne ili višebojne te imaju dobre protupožarne značajke. Problem pri uporabi PVC membrana su njihovi negativni utjecaji na okoliš u svim fazama izrade. PVC je toksičan u proizvodnji, pri izgaranju nastaju toksični plinovi, nije biološki razgradiv [3].

- Tkanine sa staklenim ili aramidnim vlaknima prevučene PTFE-om, silikonom ili PVC-om

Membrane prevučene s PTFE namazom su hidrofobične, kemijski inertne i nezapaljive i zato primjerene za stalne građevine [3]. Tkanine od staklenih vlakana, koja su obložena silikonom, lako propuštaju do 80% svjetlosti. Za spajanje pojedinih elemenata upotrebljavaju se silikonska ljepila [31].

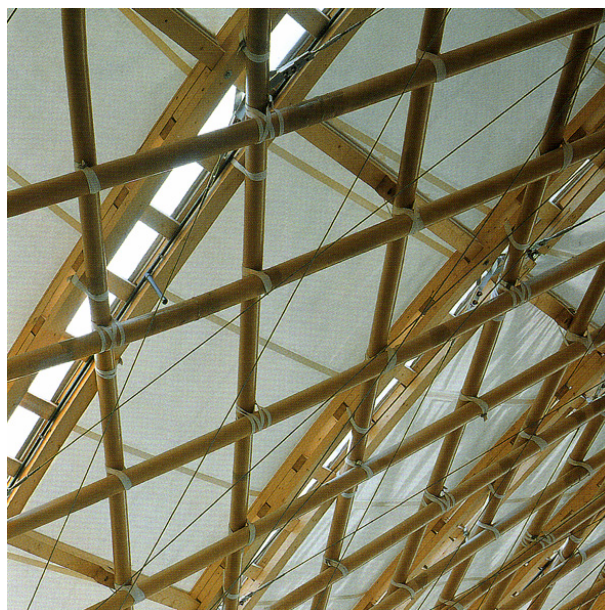
- Poliesterske tkanine, prevučene PVC-om

Poliester, prevučen PVC-om, elastičan je za vrijeme obrade i idealan za privremene zgrade, nema dugu trajnost i jeftiniji je od staklenih vlakana. Rabi se i za stalne građevine.

- Polipropilen (PP)

Polipropilen je termoplast. Ima dobre mehaničke karakteristike, otporan je na kemikalije i stoga se teško fiksira ljepljivom. Dobro se obrađuje metodom lijevanja ili napuhavanja. Posebnost PP-a je njegova visoko sjajna površina [28]. Polipropilen u obliku membrane alternativa je PVC membranama, iako se većinom rabi za sekundarne građevine (poljoprivredne građevine...). Prednost je polipropilena u mogućnosti recikliranja iako za primjenjivost u visokogradnji ti proizvodi moraju još uspješno proći industrijska ispitivanja za otpornost na ultraljubičaste zrake [5].

Tanke membrane nemaju dostatnu toplinsku i zvučnu izolaciju pa se stoga povezuju u višeslojne, gdje je moguće postići vrijednosti toplinske provodljivosti  $U = 2,7$  do  $0,8\text{ W/(m}^2\text{K)}$ . Takav je primjer višeslojne membrane vanjski ovoj japanskoga paviljona arhitekta Shigeru Bana [15], koji je bio izložen na *EXPO 2000* (slika 5.). Japanski paviljon na *EXPO 2000* arhitekta Shigeru Bana imao je ovaj sastavljen od polieterske tkanine i PVC-om prevučeni pet unutarnjih slojeva: požarnootporni polietilenski sloj, negoriv papir, tkanina od staklenih vlakana, negorivi papir, požarnootporni poletilenski sloj [15].



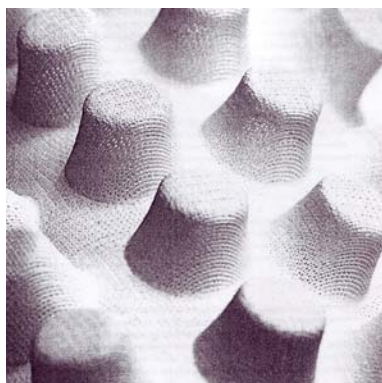
Slika 5. Detalj japanskog paviljona na EXPO 2000

### 3.3 Trodimenzijski tekstili

Trodimenzijski tekstili su tekstilni poluproizvodi koji su izrađeni u trodimenzijskoj strukturi i to kao tkani i netkani tekstili.

- Trodimenzijski tkani tekstili

Tijekom izrade tekstilni se poluproizvodi s trodimenzijskom strukturom natope polimerom i oblikuju u odre-



Slika 6. Trodimenzijski tkani tekstil [28]

đen oblik koji se zadrži i nakon stvrdnjavanja (slika 6.). Po visini i duljini su iznimno stabilni i u poprečnom smjeru savitljivi [28].

- Trodimenzijski netkani tekstili

Netkani trodimenzijski tekstili su proizvodi u obliku tankih ploča ili tkanina iz nepravilno (proizvoljno) orijentiranih vlakana, koja se međusobno povezuju trenjem i/ili kohezijom odnosno adhezijom (a ne tkanjem, pletenjem, šivanjem). Netkani tekstili mogu biti napravljeni od prirodno ili umjetno dobivenih vlakana (ISO 9092:1988).

Trodimenzijski netkani tekstili su dobri zvučni i toplinski izolatori [5]. Takav je primjer aerogel koji je prvobitno razvijen u vojnoj i svemirskoj industriji.

Trodimenzijski netkani tekstili su dobri zvučni i toplinski izolatori [5]. Takav je primjer aerogel koji je prvobitno razvijen u vojnoj i svemirskoj industriji.

Netkani tekstili djelomično istiskuju tkane i pletene strukture pri izradi sportskih proizvoda, geotekstila, zaštitnih tekstila, medicinskih tekstila, tekstila za namještaj i ostalu industriju. Trenutačno su netkani tekstili vodeći na tržištu [3]. Jedan od njih je aerogel otkriven 1931. (NASA), iako je ostao neistražen sve do sedamdesetih godina. U usporedbi s vlastitom težinom i gustoćom ima iznimne toplinskoizolacijske karakteristike. Najčešće se izrađuje od kremenata s izlučivanjem tekućine iz mikrostrukturiranog gela.

### 3.4 Pametni tekstili

Istraživanja idu u smjeru otkrivanja i poboljšavanja pametnih vlakana sa značajkama koje su kod današnjih materijala još nepoznate ili se međusobno isključuju (npr. istodobna čvrstoća i elastičnost, toplinska neprovodljivost i električna provodljivost, nekoroziivnost, samočišćenje ...) [23]. Zasad se još istražuju tkani materijali i fleksibilni višeslojni materijali. Postoji nekoliko primarnih vrsta pametnih tekstila [1]:

- Tkanine s posebnim učincima
  - a) Tkanine s različitim vizualnim značajkama – u tradicionalno proizvedene tekstile mogu se utkati ili nanijeti različiti filmovi sa specijalnim refleksijskim i transmisijskim svojstvima, izrađuju se npr. vlaknasto-optičke i elektroluminiscentne tkanine.
  - b) Porozne i propusne tkanine koje "dišu" – membrane koje su otporne na vodu, često propuštaju vlagu. Ti se materijali većinom temelje na teflonu.

- Tkanine koje mijenjaju svojstva

Termokromatične tkanine (mijenjaju boju pri temperaturnim promjenama) i fotokromatične tkanine (mijenjaju boju pri izloženosti svjetlu) koje mijenjaju svojstva pri izloženosti vanjskim utjecajima. Zbog osjetljivosti na ultraljubičasto zračenje njihova je uporaba u visokogradnji ograničena.

- Tkanine koje mijenjaju fizikalno stanje

Tkanine koje omogućavaju kontroliranje toplinske okoline. Te tkanine većinom sadrže PCM materijale (*Phase Change Materials*). Zbog njih pri određenoj temperaturi tkanina promijeni stanje iz čvrstog u tekuće, plinovito i obrnuto. Iako postoji vizija uporabe tih tkanina u visokogradnji, za sada se upotrebljavaju samo u sportskoj odjeći.

### 3.5 Biomimetički tekstili

Biomimetički tekstili su tekstili koji oponašaju prirodu i njezine procese. Biotehnologija istražuje biološke sustave, žive organizme ili njihove derivate, rezultati istraživanja služe pri uvođenju novih tehnologija.



Slika 7. Euplectella aspergillum

*Euplectella aspergillum* pripada grupi staklenih morskih spužvi Hexactinellida (slika 7.). Njihova je posebnost kostur sastavljen od mikroskopskih, kremenovih iglica [13]. S pokusima na dubokomorskoj spužvi znanstvenici pokušavaju (laboratorij Bell Labs, USA) ispuniti oblik optičkih kabela od staklenih vlakana. Cilj je pokusa ustanoviti kako su vlakna koja rastu pri krajnje niskim temperaturama još

uvijek dovoljno fleksibilna. Kabeli optičkih staklenih vlakana proizvode se uz uporabu visokih temperatura i stoga su krhki i lomljivi (proizvođač Stomatex Ltd) [5].

Izvor istraživanja je i paukova mreža napravljena je od čvrstih ali laganih niti (slika 8.).

Kružno zasnovana mreža sastoji se od niti koje su međusobno povezane s tisućama spojeva. Visoko tehnološki razvijen materijal, kao npr. kevlar, po-



Slika 8. Paukova mreža

kušava oponašati tu iznimno laganu, a istodobno čvrstu strukturu paukove mreže [20]. Biološki sustavi su dakle uzor za daljnji razvoj tehničkih vlakana [28].

#### 4 Primjena tehničkih tekstila u visokogradnji

Najveći je potrošač tehničkih tekstila trenutačno Azija. I građevinska industrija je njihovo obećavajuće tržište jer se potražnja svake godine povećava [3].

Zgrade s tekstilnim materijalom moraju svojom "minimalnom masom" izdržati velike tlakove, pa je zato vlačno i tlačno opterećenje od ključne važnosti za konstrukciju i za veze između elemenata. Konstrukcije s vlačnim opterećenjem su strukture s kosom užadi, napuhnute strukture, membrane. Uvjeti se ispunjavaju s pravilno projektiranim zgradama te uz pomoć fleksibilnih i elastičnih materijala. Za pojedine se vrste građevina upotrebljavaju materijali s različitim svojstvima.

Na tržištu je dakle cijela vrsta tehničkih tekstila koji se mogu rabiti na različite načine u arhitektonskom oblikovanju. Za sada se na tom području pojavljuju određene teškoće. Trenutačno nema jedinstvenih norma po kojima bi se tehnički tekstili uvrstili na popis građevnih materijala. Tako se uporabivost pojedinog tekstilnoga proizvoda ispituje na svakome projektu posebno. Unatoč svemu bilježi se velik broj uspješnih pokusa ugradnje tehničkih tekstila u građevine. Rabe se u stalnim, privremenim, tj. mobilnim i eksperimentalnim zgradama.

##### 4.1 Stalne zgrade

U prvi plan dolazi relativno nova kategorija "arhitektonskih" membrana koje se rabe u konstrukcijama stalnih građevina - u javnim građevinama, kao što su sportski stadioni, natkriti aerodromi (slika 9.), u pročeljima, često u urbanom prostoru kao nadstrešnice, zaštita od sunca, primjerene su za gradnju i pokrivanje velikih kompleksa najrazličitijih oblika. Unatoč brzom tehnološkom napretku i postojanosti tekstilnih struktura u praksi se još uvijek sumnja u njihovu uporabu u visokogradnji [31].



Slika 9. Pogled na terminal međunarodnog aerodroma u Denveru

Kategoriji stalnih tekstilnih zgrada pripadaju i zgrade s *pneumatički napuhanom strukturom*. Razvoj na području tehnologije materijala i poboljšavanje njihovih svojstava pripomaže češćoj uporabi tog materijala. Takvi su primjeri *Alianz Arena* (München, Njemačka) i *Eden project* (Cornwall, Engleska).

##### 4.2 Pomične i privremene zgrade

Najčešće primjene tehničkih tekstila u visokogradnji su pomične i privremene zgrade kao što su šatori (slika 10.), prekrivači, sjenila. Tehnički tekstili su napete ali međusobno nosive potkonstrukcije.

*Pomična zgrada* je lagana konstrukcija od prethodno izrađenih pojedinih elemenata što omogućava postavljanje i rastavljanje u kratkom vremenu, a to je posebno važno za sajamske prostore i zabavne parkove [34].

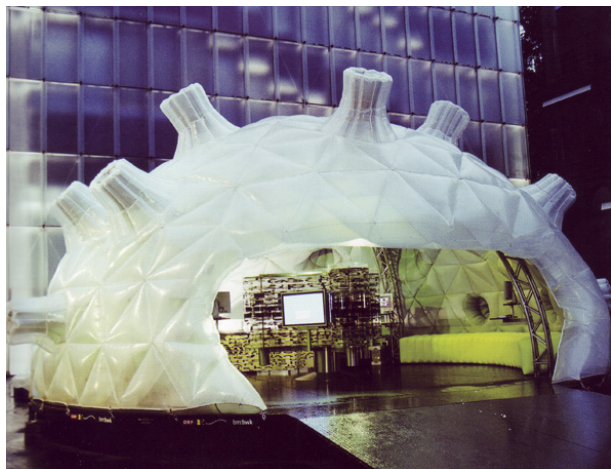


Slika 10. Pomične stanice omogućuju gradnje na teško dostupnim mjestima

Pomične stanice omogućavaju znanstvenicima boravak na teško dostupnom području. Primjerene su za jednog ili dva čovjeka i imaju promjer 3,2 m. Zaštitna membrana od vremenskih utjecaja je odstranjiva. Konstrukcija je montažna i lagana [2].

*Privremene pneumatske zgrade* u visokogradnji se rabe za natkrivanje sportskih građevina i kazališne scenografije... Oblik održava zrak koji se pod tlakom upuhuje između dva sloja tekstila. Takve su strukture većinom samonosive. Materijal koji se upotrebljava mora biti izuzetno lagan jer se samo tako postiže željeni oblik i stabilnost konstrukcije. Prije svega mora biti rastezljiv da bi se mogao prilagoditi promjenama temperature i da ne mijenja strukturu. Takav je primjer bio npr. *Sprachpavillon*. Izgrađen je bio u Austriji u okviru Europskoga dana jezika 2001. Kao informativni centar bio je zatim rastavljen i opet postavljen u devet pokrajinskih glavnih mjesta Austrije. Arhitektonski biro *Veech.Media.Architecture* je za tu

priliku projektirao laganu, rastavljivu, svijetlu opnu (slika 11.).



Slika 11. Sprachpavillon

#### 4.3 Eksperimentalne zgrade

Pri uvođenju tehničkih tekstila u arhitektonsku praksu veliko značenje imaju eksperimentalne zgrade jer se istražuje prednost uporabe tih materijala. Djelovale bi kao živi organizam, jer je pročeljni ovoj nenosiv i ima funkciju zaštite s obzirom da dobro reagira na okoliš. Ponašao bi se kao biološka koža, budući da svaki sloj ima svoju funkciju. Proces promjene i prilagođavanja živih organizama u prirodi podrazumijeva se sam od sebe, u arhitekturi mu se pokušava približiti primjer "pametne" membrane, tj. prilagodljivi tekstilni pročeljni ovoj (slika 12.). Potom, arhitekti razvijaju inovativne zamisli i s pomoću visokokvalitetnih vlakana navješćuju nov proces gradnje. Takav je primjer prototip nebodera arhitekta Petra Teste, koji je u cijelosti od umjetnih tvari i u budućnosti bi ga pleli mikroroboti (slika 13.).

#### 6 Zaključak

Najnoviji tehnički tekstili su i materijali koji se dokazuju u brojnim industrijskim granama i sporo si utiru put i na području visokogradnje. Takva vrsta materijala ima izvanredna fizikalna svojstva i otpornost na raznovrsne vanjske utjecaje, većina odgovara i strogim ekološkim normama. Ipak se pri usvajanju tih materijala u graditeljskoj praksi pojavljuju teškoće. Za sada je proizvođača visokovrijednih tehničkih tekstila još malo; razmjerno mala ponuda utječe na njihovu cijenu. Trenutačno su zato u većem opsegu ugrađeni samo u pojedina ekskluzivna graditeljska ostvarenja. Zbog velikih je troškova i

#### IZVORI

[1] Addington, M.; Schodek, D.: *Smart Materials and New Technologies: For the architecture and design professions*, Elsevier, Oxford, 2005.



Slika 12. Eksperimentalna zgrada s „pametnom membranom“

premalu ispitivanja eksperimentalnih građevina koje bi dokazale uporabivost tehničkih tekstila. Određenu skepsu predstavlja i inovativnost uporabe - projektanti se najčešće odlučuju za provjerene i ispitane materijale. Unatoč većinom dobrih svojstava tekstila pokazuju se i neke tehnološke manjkavosti pojedinih vrsta tehničkih tekstila. Poboljšanja su potrebna pri toplinskoj i zvučnoj izolaciji te otpornosti na požar, starenje, vlagu, biološke i kemijske agense i mehaničke oštećenja. Povrh toga, potrebne su odgovarajuće norme po kojima bi bilo moguće dokazati primjerenost materijala za pojedine vrste građevina.



Slika 13. Prostorije nebodera arhitekta Petra Teste

Unatoč određenim teškoćama i tehnološkim manjkavostima, brzi razvoj tehnologije gradnje i ambiciozni pojedinci tražit će inovativna rješenja pri izboru materijala. Tako se ubrzo može očekivati porast uporabe tehničkih tekstila u visokogradnji. Time se ponovno potvrđuje Semperova teorija o oblačenju konstrukcija u tekstil. Iako je taj arhitekt i teoretičar prije gotovo dva stoljeća zgrade obučene u tekstil sigurno zamislio drukčije.

[2] Anon: *Flexible Forschungsstation Ikos*, Detail 44 (2004) 12, 1454-1458

[3] Bizjak-Bojić, M.: *Techtextil '97-Frankfurt: tehnične tekstilije v gradbeništvu in arhitekturi*, Tekstilec 40 (1997) 9, 214-221



- [4] Bončina, T.: *Izdelava polimernih in ogljikovih vlaken*, <http://www.fs.uni-mb.si>, maj 2006
- [5] Braddock, S.; O'Mahony, M.: *Techno Textiles 2, Revolutionary Fabrics for Fashion and Design*, Thames and Hudson, London, 2005.
- [6] Braddock, S.; O'Mahony, M.: *Techno Textiles, Revolutionary Fabrics for Fashion and Design*, Thames and Hudson, New York, 1998.
- [7] Dean, Y.: *Materials Technology*, Longman, Edinburg, 1996.
- [8] Farrell, T.: *Place: A Story of Modelmaking, Menageries and Paper Rounds*, Laurence King Publishing Ltd, London, 2004.
- [9] Hearle, J., W., S.: *High performance fibres*, Woodhead Publishing, Cambridge, 2001.
- [10] Hinte, E.: *Material world: innovative structures and finishes for interiors*, Birkhäuser, Amsterdam – Basel – Berlin – Boston, 2003.
- [11] Holzbach, M.; Sobek, W.: »Paul« - *adaptive textile Gebäudehüllen*, archplus 37 (2004) 172, 48 – 49
- [12] Horrocks, A. R.; Anand, S., C.: *Handbook of technical textiles*, Woodhead Publishing, Cambridge, 2000.
- [13] <http://www.abdn.ac.uk>, kolovoz 2006.
- [14] <http://www.doitpoms.ac.uk>, kolovoz 2006.
- [15] Kaltenbach, F.: *Translucent Materials: Glass, Plastic, Metals*, Birkhäuser, Basel – Boston - Berlin, 2004.
- [16] Koprivec, L.: Intervju z arhitektom Stuartom Veechem (veech.media.architecture), Beč, lipanj 2006.
- [17] Košir, F.: *K Arhitekturi, Razvoj arhitekturne teorije*, Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, 2004.
- [18] Kraft, S.: *PMC-Phase Change Material*, archplus 37 (2004) 172, 44 – 47
- [19] McQuaid, M.: *Extreme textiles: Designing for high performance*, Thames & Hudson, New York, 2005.
- [20] Offermann, P.: *Textile Verbundbauweisen für den Leichtbau*, S. Hirzel Verlag, Stuttgart - Leipzig, 2003.
- [21] Orešič, L.: *Tekstilni leksikon, DO Paralele*, Ljubljana, 1989.
- [22] Percoco, M.: *Barak House, Materia* (2003) 42, 82 - 99.
- [23] Pousse, J.-F.: *Matieres prospective, matieres du futur, Techniques et Architecture* (2004) 472, 18-25
- [24] Sauer, C.: *Neue Materialentwicklungen, Detail* 46 (2006) 6, 590 - 594
- [25] SAZU: *Slovar slovenskega knjižnega jezika, DZS*, Ljubljana, 1994.
- [26] Semper, G.: *Der Stil in den technischen und tektonischen Künsten oder praktische Aesthetik*, Bruckmann, München, 1878 / 79.
- [27] Snoj, M.: *Slovenski etimološki slovar, Modrijan*, Ljubljana, 2003.
- [28] Stattmann, N.: *Handbuch Material Technologie, Avedition*, Stuttgart, 2000.
- [29] Stattmann, N.: *Ultra light, super strong*, Birkhäuser, Basel – Boston - Berlin, 2003.
- [30] Tschanz, M.: *Flechtwerk, Werk, Bauen + Wohnen*, 9259 (2005) 10, 34 – 41.
- [31] Wagner, C.: *Textile Leichtbaukonstruktionen, Materialien, Technologie und Beispiele, Baukultur* (2000) 6, 34 - 37
- [32] Zbašnik-Senegačnik, M.; Kresal, J.: *Fasadni ovoj, Fakulteta za arhitekturo*, Ljubljana, 2004.
- [33] Zettlitzer, W.: *Planung, Fertigung und Montage der Kissenhülle, Detail* 45 (2005) 9, 966 - 980
- [34] Zupan, V.: *Sodobna tekstilna vlakna v gradbeništvu, Življenje in tehnika*, 49 (1998) 1, 44 - 46
- [35] Žarnič, R.: *Lastnosti gradiv, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo*, Ljubljana, 2003.