



# Vlaknocementi

Kompozitni materiali, med katere spadajo tudi vlaknocementi, imajo lahko pri optimalni sestavi – tj. prostorninskem deležu, razporeditvi in obliki komponent – v celoti veliko boljše mehanske lastnosti kot posamezne komponente, pri tem pa ohranijo svoje funkcionalne lastnosti. V naravi najdemo kompozite vsepovsod, npr. v ogroddjih živih bitij.

*Milan Ambrožič*

**K**ot zgled vzemimo kost, ki ima dva temeljna gradnika: hidroksi-apatit in kolagen. Medtem ko prvi daje kosti primerno trdnost in trdoto, ji drugi povečuje njeno žilavost in s tem zmanjšuje nevarnost zloma. Človek je ustvaril vrsto umetnih kompozitov, med njimi tudi vlaknocemente (VC).

Že zelo dolgo je znano, da cement in beton preneseta neprimerno večje tlačne obremenitve kot natezne, podobno pa velja za kamen. Zato so bili stari Rimljani mojstri v gradnji objektov, pri katerih prevladujejo tlačne obremenitve, npr. mostov in viaduktov (ŽIT 1994/3, str. 19; ŽIT 1995/1, str. 10). Z vgraditvijo železnih palic v beton (železobeton) pa močno izboljšamo njegovo natezno in upogibno trdnost. Enako velja za vlaknocemente, kjer cementom dodajamo armirna vlakna iz

## Mehanske in kemijske lastnosti ojačitvenih vlaken v vlaknocementih

Vlakno	$\sigma$ (MPa)	$E$ (GPa)	$\varepsilon$ (%)	$d$ ( $\mu\text{m}$ )	trden stik	kem. stab.
azbest	3600	150	0,1–0,3	0,1–1	da	da
steklo	1000–3500	70	2–5	10–50	da	ne
jeklo	2400–3800	200	1–2	2–150	ne	ne
ogljik	2000–3000	do 500	<1	8–15	ne	da
kevlar 29	2700	70	3–4	11	ne	?
polipropilen	200–550	0,5–5	10–15	10–50	ne	da
poliamid 6.6	700–1000	6	15	10–50	da	ne
poliester	800–1300	do 15	8–15	10–50	ne	ne
rajon	450–1100	do 11	7–	10–50	da	?
polivinilalkohol	1150	21	15	14	ne	da

### Legenda:

$\sigma$  – natezna trdnost (v megapaskalih); MPa = N/mm<sup>2</sup>;  $E$  – Youngov elastični modul (v gigapaskalih); GPa = 1000 MPa;  $\varepsilon$  – maksimalni relativni raztezek do pretrganja (v %);  $d$  – premer (v mikrometrih); trdnost stika med cementom ter vlakni in kemijska stabilnost proti alkalnemu mediju (da ali ne; ? pomeni v nekaterih primerih da, v nekaterih ne)

*Vlakna naj imajo čim večji Youngov modul in natezno trdnost, tako da zaradi velikega Youngovega modula v primerjavi s cementom prevzamejo nase velik del nateznih mehanskih napetosti in jih tudi vzdržijo. Maksimalni relativni raztezek (pri mehanskih obremenitvah naj bo majhen, tako da se material pri obremenitvi ne deformira preveč. Zelo pomembna je tudi kemijska vez med vlaknom in cementom. Če te ni, potem le šibka sila preprečuje relativni premik med vlaknom in cementom, zato takšno vlakno izdelku ne daje zadostne trdnosti. Po drugi strani pa je ugodno, da kohezija med vlaknom in cementom ni premočna: najbolje je, da je nekoliko manjša od natezne trdnosti vlakna. V tem primeru pride do znatnega puljenja vlaken iz cementne matrice, še preden se vlakna pretrgajo, za to pa je potrebna dodatna energija. S tem se torej poveča žilavost kompozita.*

različnih snovi. Značilne debeline vlaken so v mikrometrskem območju.

Iz preglednice je razvidno, da je azbest z vidika mehanskih lastnosti in združljivosti s cementom izvrsten mineralni material. Od njegove iznajdbe (patent Avstrijca L. Hatscheka iz leta 1900) so cimente z azbestnimi vlakni povsod uporabljali do pred nekaj desetletji in marsikje jih zaradi dragega razvoja novih vlaknocementov uporabljajo še danes. Ime azbest izhaja iz grške besede za neugasljiv. Zaradi njegovih izrednih lastnosti so ga veliko uporabljali tudi drugje, npr. pri električni izolaci-

ji. Obstaja več modifikacij azbesta z različnimi barvami, vendar se največkrat uporabljajo bela azbestna vlakna.



Vlakna belega azbesta na muskovitu

Največja pomanjkljivost azbesta je, da ostra, podolgovata oblika njegovih kristalov mehansko poškoduje pljuča in povzroča azbestozo. Latentni čas za razvoj te izredno nevarne bolezni je 10–40 let, njena prva diagnoza pa je bila postavljena že leta 1924 v Angliji. Samo v ZDA je zaradi azbestoze doslej umrlo ali po pričakovanih še bo umrlo okrog 100.000 ljudi, primere te bolezni pa so odkrili tudi pri delavcih cementarne Anhovo.

Zato so od sredine 80. let prejšnjega stoletja naprej začeli v razvitih državah omejevati uporabo azbesta. Azbestnocementne izdelke so nadomestili izdelki iz vlaknocementov, kjer uporabljajo najrazličnejša vlakna, mineralna ali organska. Nekaj jih je naštetih v preglednici skupaj z njihovimi mehanskimi lastnostmi zaradi primerjave z azbestom. Na veliko preizkušajo tudi uporabo naravnih vlaken (ŽIT 1995/11, str. 10), kot je celuloza iz različnih rastlin. To še zlasti velja za manj razvite dežele, saj je celuloza razmeroma poceni surovina.

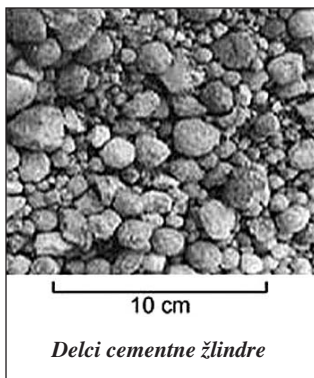
Primeren material za VC-kompozite je polivinilalkohol (PVA), ki v primerjavi z drugimi vlakni v preglednici sicer nima najboljših mehanskih lastnosti, a je zato razmeroma poceni, povsem nestrupen, tvori trdno vez s cementno matrico in je obstojen v močno alkalnem okolju (pH » 10 pri pripravi in zorenju VC-izdelkov). Zato PVA med drugimi veliko uporablja tudi anhovsko podjetje Esal, d. o. o., (sodalstnika sta Eternit iz Švice in Salonit Anhovo) pri izdelavi Slovcem dobro znanih valovitih strešnih plošč (»valovitk V5 in V8«, po starem »salonitk«). Še nekaj lastnosti PVA: temperatura tališča je 230 °C, gostota 1,2–1,3 g/cm<sup>3</sup>, njegova kemijska formula je (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O)<sub>x</sub> (število x je variabilno, ker je PVA polimer). Uporabljajo ga tudi na številnih drugih področjih, zato je njegova svetovna letna proizvodnja okrog milijon ton, izdelajo pa ga s polimerizacijo monomera vinilalkohola.

Da je vlaknocement kemijsko zelo heterogena snov, nam povejo naslednji okvirni prostorninski deleži komponent v končnem izdelku:

- Hidratizirani cement: 40 %.
- Zrak: 30 %. Zapolnjuje mikroskopsko majhne pore v izdelku in njegov pomen je tudi v tem, da daje prostor za razširitev vode pri zmrzovanju in tako prepreči pokanje cementa.
- Voda: >10 %. Tudi po nekajtedenskem

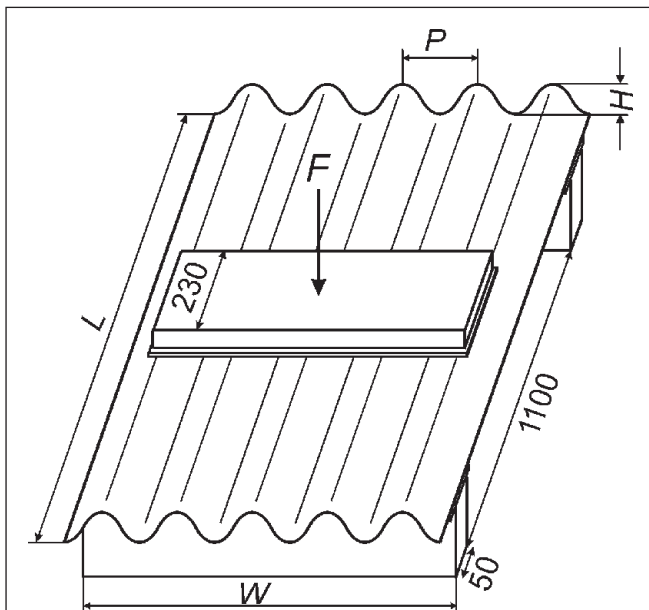
strjevanju cementa ostane v njem nekaj vezane vode, ki je pomembna pri nadaljnjem dolgoletnem utrjevanju cementnega izdelka, saj kemijske reakcije hidratacije cementa še vedno počasi potekajo, pri tem pa delež vode postopoma upada.

- Polnila: 10 %. Njihova vloga je večplastna, npr. med polnili so lahko t. i. pocolanski dodatki (amorfn kremenica SiO<sub>2</sub> itd.), ki pospešujejo hidratacijo cementa.
- Vlakna. Poleg utrjevalnih vlaken (PVA ali drugih) cementu navadno dodajajo tudi procesna vlakna, kot je celuloza; njihov namen je olajšati postopek izdelave vlaknocementov.



Splošno uveljavljeni Hatschekov postopek izdelovanja vlaknocementnih izdelkov, ki ga uporabljata tudi Eternit in Esal, spominja na proizvodnjo papirja. Vhodne surovine (cement, vlakna, polnila) dispergirajo in z mešanjem homogenizirajo v vodi. Pri filtriranju na velikem, vrtečem se luknjičastem kovinskem valju se večji del vode odcedi, tako da se na valju nabere več plasti vlaknocementa (za vsak vrtljaj valja ena plast). Ko je skupna debelina pravšnja, vlaknocement prenesejo na tekoči trak iz klobučevine. Ker še vedno vsebuje veliko vode, je psevdoplastičen in se ga da lepo oblikovati. Med transportom po traku odrežejo primerno dolge kose, ki jih nato oblikujejo v stiskalnici. Sveže vlaknocementne izdelke, kot so npr. strešne plošče, vsaj tri tedne hranijo v skladišču s primernimi razmerami (temperatura, vlažnost zraka), da se posušijo. Med sušenjem poteka hidratacija cementa, ki pa se po treh tednih ne konča, temveč se v cementnih izdelkih počasi nadaljuje še več let, pri čemer se delež vode v cementu postopoma zmanjšuje.

Večina današnjih cementov ima za osnovo portlandski cement (ŽIT 2001/6, str. 12), ki ga pridobivajo iz apnenca, glinenih mine-



*Shema prečnega upogibnega preizkusa na valoviti strešni plošči, kjer so podpore postavljene prečno na valove plošče; dolžine so podane v milimetrih. Značilne prelomne sile za prikazano geometrijo se za vlaknocementne plošče širine okrog 1 m gibljejo okrog 6 kN.*

*(Mere strešne plošče V5 (5 valov) podjetja Esal so: dolžina  $L = 1250$  mm, širina  $W = 920$  mm, širina vala  $P = 177$  mm, višina vala  $H = 51$  mm, debelina plošče okrog 6 mm.)*

ralov in mavca. Postopek njegove izdelave lahko v grobem delimo na tri stopnje:

1. mletje mešanice apnenca in gline ali skrilavca,
2. segrevanje mešanice do končne temperature sintranja  $1400\text{--}1450$  °C v posebni peči, pri čemer poteče vrsta kemijskih reakcij v različnih temperaturnih območjih in nastane cementna žindra, katere delci so veliki od 3 do 25 mm,
3. mletje cementne žindre in dodajanje kalcijevega sulfata.

Pri cementnih in VC-izdelkih iz serijske proizvodnje je treba redno preizkušati mehanske lastnosti na naključnih vzorčnih izdelkih. Za takšne meritve obstajajo različni standardi, npr. standard EN 494. Kot zgled je na risbi prikazano merjenje zlomne sile pri prečnem upogibu valovite strešne plošče, ka-

kršne izdelujejo tudi v Esalu. Poleg predpisanih dimenzij, prikazanih na risbi, je treba upoštevati tudi druge stvari. Tako npr. ploščo pred preizkusom 24 ur namakajo v vodi, kar nekoliko poslabša njeno trdnost; s tem je upoštevan tudi vpliv slabih vremenskih razmer na mehanske lastnosti plošč. Pri prečnem upogibnem preizkusu dajo na nosilne podpore kar celo ploščo. Pri vzdolžnem upogibnem preizkusu, kjer so podpore vzporedne z valovi plošče, pa je treba v skladu s standardom odrezati le manjši del plošče za preizkus.

Poleg tega preizkusa je še kopica meritev drugih mehanskih lastnosti, npr. odpornosti proti padajočim predmetom (kjer spuščajo 50-kilogramske vreče z različnih višin na ploščo), zadrževanju vode itd. Pokaže se, da vlakna v cementu izboljšajo marsikatero od teh lastnosti, npr. povečajo energijo, potrebno za prelom plošče v prečni ali vzdolžni smeri. Za

prelom plošče je namreč treba poleg zloma cementne matrice dovesti tudi energijo za trganje vlaken in njihovo puljenje iz matrice.

#### Viri:

1. J. B. Studinka: Asbestos substitution in the fibre cement industry, The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete, vol. 11, str. 73, 1989.
2. Krunoslav Vidovič: Vlaknocement – lastnosti materiala in tehnologija proizvodnje, Materiali in tehnologije, vol. 38, str. 197, 2004.
3. EN 494, Fibre-cement profiled sheets and fittings for roofing – Product specification and test methods, december 2004.

<http://...>

[en.wikipedia.org/wiki/asbestos](http://en.wikipedia.org/wiki/asbestos)  
[en.wikipedia.org/wiki/polyvinyl\\_alcohol](http://en.wikipedia.org/wiki/polyvinyl_alcohol)  
[en.wikipedia.org/wiki/cement](http://en.wikipedia.org/wiki/cement)  
[www.esal.si/](http://www.esal.si/)