

VLAKNOCEMENT – LASTNOSTI MATERIALA IN TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE

FIBRE-CEMENT – MATERIAL CHARACTERISTICS AND PRODUCTION TECHNOLOGY

Krunoslav Vidovič

Esal, d. o. o. Anhovo, Vojkova 9, SI-5210 Deskle, Slovenija
krunoslav.vidovic@esal.si

Prejem rokopisa – received: 2004-05-21; sprejem za objavo – accepted for publication: 2004-07-06

Prikazali smo osnovne značilnosti vlaknocementa kot tipičnega predstavnika gradbenega kompozitnega materiala ter opisali primer industrijske proizvodnje. Vlakna, ki se uporabljajo v cementni matrici, so lahko naravna ali sintetična oziroma organska ali anorganska. Pomembno je, da so odporna proti delovanju alkalij, kemijsko stabilna in da imajo primerne mehanske karakteristike. V vodnem mediju mora obstajati ustrezen kontakt med površino vlaken in kemijskimi produkti, ki spremljajo hidratacijo in strjevanje cementa. Na kratko smo opisali proizvodnjo in lastnosti vlaknocementnih valovitih plošč za pokrivanje streh. Za končne izdelke iz vlaknocementa so najpomembnejše lastnosti: prelomna obremenitev, upogibna trdnost, upogibni moment ter gostota. Mehanske lastnosti, kemijska stabilnost, predvsem pa odpornost proti različnim atmosferskim vplivom, dajejo izdelkom ustrezno uporabno vrednost.

Ključne besede: kompoziti, vlakna, vlaknocement, valovite strešne plošče

The basic characteristics of fibre-cement as a typical building composite material are described. The fibres used in a cement matrix can be natural or synthetic, as well as organic or inorganic. They should be resistant to alkalies, chemically stable, and they must have the appropriate mechanical characteristics. In an aqueous medium it is important to have proper contact between the fibre surface and the chemical components that accompany cement hydration and setting. The production, including the characteristics of fibre-cement corrugated sheets for roofings, is described also. Important parameters for the final product are the breaking load, the bending strength, the bending moment and the density. The mechanical characteristics, the chemical stability and the resistance to weather conditions are the most valuable qualities when considering the application of fibre-cement.

Key words: composite, fibres, fibre-cement, corrugated sheets for roofings

1 UVOD

Večina izdelkov v vsakdanji rabi je narejena iz ene vrste snovi, zato pravimo, da imajo monolitno zgradbo. Na drugi strani poznamo kompozitne materiale, ki so zgrajeni iz dveh ali več različnih snovi. Tipičen primer je beton, ki je sestavljen iz veziva (portlandskega cementa) in agregata (peska oz. gramoza). Če v takšen material vgradimo drugo armaturno komponento (jeklene palice ali jekleno mrežo), dobimo trifazni kompozit. Večina kompozitov je zgrajena iz dveh komponent: veziva ali matrice in agregata ali armature. Armatura je navadno trdnjša od matrice in kompozitu izboljša mehanske lastnosti. Pojavlja se v obliki delcev, kontinuirnih ali diskontinuirnih vlaken. Diskontinuirana ali rezana vlakna imajo dolžino od nekaj milimetrov do več centimetrov in premer nekaj mikrometrov.

Kompoziti niso samo sintetični ali umetni materiali, pač pa obstajajo tudi v naravi. Odkar se človeštvo ukvarja z gradnjo in proizvodnjo uporabnih dobrin, uporablja kompozitne materiale. V preteklosti so na primer zračno sušenim ilovnatim opekam za izboljšanje njihove stabilnosti dodajali sesekljano slamo. Tako so dobili izdelke z bistveno boljšo tlačno in natezno trdnostjo. Prvi lončarji so že svojim glinastim posodam primešali naravna kamena ali mineralna vlakna za

povečanje njihove zanesljivosti pred lomom. Veliko bolje kot človek pa izdeluje kompozitne materiale narava. Rastlinska stebela imajo vzporedno potekajoča celulozna vlakna, ki ležijo v osnovnem celičnem materialu. Les je naravni kompozit, sestavljen iz dolgih vlaken celuloze, ki je obdana z vezivno snovjo, imenovano lignin. Celulozo najdemo tudi v bombažu in drugih rastlinah, vendar je les zaradi lignina trdnjši. Človeško in živalsko mišično tkivo je sestavljeno iz svežnjevlaken, ki ležijo v matrici iz veznega tkiva. Vsi kompozitni materiali imajo skupno značilnost: vlakna najrazličnejšega izvora krepijo osnovni material v smeri največje obremenitve s silo. Lastnosti kompozita so najboljše v smeri orientacije vlaken. Prečno na vlakna dominirajo lastnosti matrice. To velja tako za časopisni papir kot za rotorske elise modernih helikopterjev, ki so izdelane iz epoksidnih smol, okrepljenih z ogljikovimi vlakni.

2 KAJ JE VLAKNOCEMENT?

Vlaknocement je z vlakni armiran cement, ki se ga da v nestrjenem stanju praktično poljubno oblikovati, v strjenem stanju pa je oblikovno obstojen in odporen proti vremenskim vplivom. Lastnosti vlaknocementnega kom-

pozita so odvisne od kakovosti posameznih komponent in od tehnološkega postopka izdelave.

Glavna komponenta je hidravlično vezivo, ki tvori osnovno matrico za nalaganje in vezanje vlaken. To je portlandski cement, proizveden z žganjem apnenca in glinenega laporja. Za izboljšanje lastnosti proizvodov se dodaja anorganska polnila, kot je npr. apnenčeva moka.

Kot armirna vlakna za cementne izdelke se lahko uporabljajo različne naravne ali sintetične snovi. Pregled pomembnejših vlaken, primernih za uporabo v cementnem mediju, je podan v tabeli (**Tabela 1**). Zaradi specifičnih lastnosti cementne matrice in mokrega postopka oblikovanja vlaknocementnih izdelkov morajo imeti armirna vlakna nekatere specifične lastnosti.

- Sposobnost dispergiranja v vodi: Zaradi mokrega postopka oblikovanja izdelkov morajo imeti vlakna sposobnost homogenega dispergiranja v vodi in sposobnost tvorbe tanke, čvrste filtrske plasti. Plast mora imeti dobre filtracijske lastnosti (hitro odvodnjavanje) in istočasno dobro retencijo. Z drugimi besedami, zadrževati mora fino dispergirane delce veziva in polnil, s katerimi kasneje tvori trdno vez.
- Alkalno in temperaturno odpornost glede na tehnologijo izdelave: Vlakna bodo izpostavljena vplivu medija s pH vrednostmi med 12 in 14. V primeru hidrotermalnega ali avtoklavnega postopka strjevanja lahko temperature v prisotnosti nasičene vodne pare in pri povišanem tlaku dosežejo tudi do 200 °C.
- Združljivost s cementno matrico: Po strjevanju cementa morajo vlakna zagotavljati želeno trdnost in žilavost izdelka. Pri tem je pomembna adhezija med vlakni in matrico. Vlakna morajo biti stabilna v kemijskem okolju, ki ga ustvarjajo cement in polnila (visoka alkaličnost).

– Dimenzijsko stabilnost: V končnem izdelku morajo vlakna obdržati dimenzijsko stabilnost in prenesti skrčke oz. raztezke osnovne matrice, izpostavljene spremembam temperature in/ali vlage. V nasprotnem primeru bo kompozit nestabilen, z veliko verjetnostjo nastanka napak v obliki mikrorazpok.

– Dolgo trajnostno dobo: Vlakna morajo biti kemijsko stabilna in odporna proti vremenskim vplivom.

Lastnosti različnih kompozitnih materialov na osnovi cementa, principe njihove priprave in možnost uporabe obravnava J. J. Beaudoin v svoji knjigi »Handbook of Fibre-Reinforced Concrete¹.

3 VLAKNOCEMENT DRUGE GENERACIJE

Prva tovarna, ki je po večletnih obsežnih raziskavah začela uspešno proizvodnjo novih vlaknocementnih materialov² je Esalov partner in večinski lastnik – družba Eternit AG, Švica. Redna industrijska proizvodnja je stekla v osemdesetih letih prejšnjega stoletja, s čimer je Eternit uspešno nadomestil azbestcement. Zato govorimo o drugi generaciji vlaknocementnih kompozitnih materialov, ki so po fizikalno mehanskih lastnostih presegli kakovost prejšnjega materiala. Ime "Eternit" izvira iz latinske besede aeternitas (neminljivost, večnost). Eternit je blagovna znamka modernega in vzdržljivega materiala – vlaknocementa, ki se vsestransko uporablja za strehe in fasade, za notranje oblaganje in protipožarno zaščito, za balkonske in vrtno posode. Ime Eternit najdemo tudi v drugih evropskih državah, v katerih samostojna podjetja proizvajajo in prodajajo vlaknocementne proizvode pod to blagovno znamko.

Armatura v novem Eternitovem oz. sedaj tudi Esalovem kompozitu so sintetična, organska vlakna iz polivinilalkohola (**Tabela 2**). To so posebej za proiz-

Tabela 1: Lastnosti nekaterih naravnih in sintetičnih vlaken, primernih za uporabo v vlaknocementnih kompozitih⁵

Table 1: Characteristics of some natural and synthetic fibres appropriate for use in fibre-cement composites⁵

Vlakna	Primer	Premer <i>d</i> /μm	Dolžina <i>l</i> /mm	Gostota <i>ρ</i> /(kg/m ³)	E-modul <i>E</i> /(kN/mm ²)	Natezna trdnost <i>T_n</i> /(N/mm ²)	Maks. raztezek <i>Δl</i> /%	Specifični problemi
Naravna								
- anorganska	krizotil	0,02–30	< 40	2600	160	3600	2–3	Zdravstvena oporečnost
- organska	celuloza	7–500	< 1200	1500	15–30	300–800	3	Neobstojnost v alkalijah, nabrekanje
Sintetična								
- anorganska	steklo	10–15	poljubna	2500	70	1000–3500	2–5	Neobstojnost v alkalijah, krhkost
	jeklo	2–500	poljubna	7900	200	500–3800	1–2	Neobstojnost, oprijemljivost, krhkost
	ogljik	8–15	poljubna	1900	< 500	2000–3000	< 1	
- organska	PVA ¹⁾	14	poljubna	1300	30	1600	6	
	PAN ²⁾	19	poljubna	1180	18	850	9	

¹⁾ PVA = polivinilalkohol

²⁾ PAN = poliakrilnitril

Tabela 2: Lastnosti dveh najpogosteje uporabljenih komercialnih sintetičnih organskih vlaken v proizvodnji vlaknocementnih izdelkov druge generacije⁶

Table 2: Characteristics of two commercial synthetic organic fibres commonly used in the production of second-generation fibre-cement products⁶

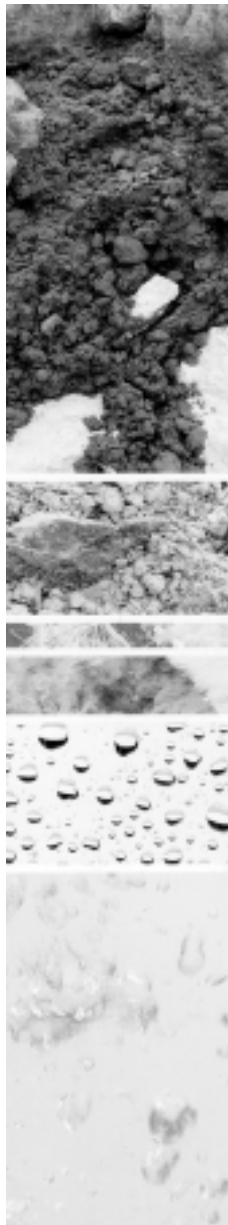
	Premer $d/\mu\text{m}$	Dolžina l/mm	Gostota $\rho/(\text{kg}/\text{m}^3)$	E-modul $E/(\text{kN}/\text{mm}^2)$	Natezna trdnost $T_n/(\text{N}/\text{mm}^2)$	Maks. raztezek $\Delta l/\%$	Kemijska sestava
Dolan 10 ¹⁾ (Dolanit 10)	18	poljubna	1170	18	850	9	poliakrilnitril
Kuralon ²⁾	12	poljubna	1310	30	1600	6	polivinilalkohol

¹⁾ Hoechst AG, Nemčija; danes: Courtaulds European Fibres, Nemčija

²⁾ Kuraray Co., Japonska

vodnjo vlaknocementa modificirana vlakna, ki se v svoji prvotni obliki uporabljajo v tekstilni panogi za vrhnja oblačila, zaščitne tkanine in kopenasto blago. Uporab-

ljajo se tudi na področju medicine za implantate in sukance. Za pripravo ustrezne mešanice vlaken ali t. i. koktajla vlaken so potrebna tudi procesna vlakna. To so



Vezivo (prostorninski delež $\varphi = 40\%$) je portlandski cement, proizvod tovarne Salanit Anhovo, ki tvori osnovno matrico za nalaganje in vezanje vlaken. Ta surovina, sintrana iz apnenca in glinenega laporja, je po deležu najvažnejši izhodiščni material.

Binder (the volume fraction $\varphi = 40\%$) – Portland cement is the basic carrier and binder for the fibres.

Dodatki (prostorninski delež $\varphi = 11\%$) ali polnila, kot je npr. apnenčeva moka, izboljšujejo lastnosti vlaknocementa in omogočajo enakomerno kakovost proizvodov. Možna je uporaba tudi drugih anorganskih polnil ali celo zmlatih (recikliranih) trdnih odpadkov iz proizvodnje vlaknocementa.

Additives (the volume fraction $\varphi = 11\%$) – Inorganic fillers improve fibre-cement characteristics. The example is ground lime-stone.

Armirna vlakna (prostorninski delež $\varphi = 2\%$) so sintetična organska vlakna iz polivinilalkohola, prilagojena za uporabo v cementni matrici. Podobna vlakna se uporabljajo tudi v tekstilu in tkaninah ter v medicini za implantate in sukance.

Reinforced fibres (the volume fraction $\varphi = 2\%$) – The synthetic organic fibres – polyvinylalcohol are used for cement reinforcement.

Procesna vlakna (prostorninski delež $\varphi = 5\%$) so celulozna vlakna, kakršna se uporabljajo v papirni industriji. Deloma se uporablja tudi reciklirani star papir.

Process fibres (the volume fraction $\varphi = 5\%$) – Cellulose fibres of various qualities are the typical process fibres.

Voda (prostorninski delež $\varphi = 12\%$), ki po strditvi proizvoda ostane v njem, skrbi za nadaljnje utrjevanje v času celotne trajnostne dobe izdelka. V postopku proizvodnje pa je voda medij za dispergiranje surovin kot tudi transportni in reakcijski medij.

Water (the volume fraction $\varphi = 12\%$) – Water is the process medium (dispersion, transport) and at the same time the reaction agent.

Zrak (prostorninski delež $\varphi = 30\%$) je v proizvodu v obliki mikroskopsko majhnih por. Te se uporabljajo kot ekspanzijski prostori za zmrzujočo vodo in s tem preprečujejo propadanje zaradi mraza. Nastali kompozitni material je zaradi tega sposoben regulirati vlažnost, je prepusten za zrak in hkrati tudi vodotesen.

Air (the volume fraction $\varphi = 30\%$) – The pore structure is the expansion space for frozen water.

Slika 1: Sestava vlaknocementnega kompozita in osnovna vloga posamezne komponente

Figure 1: Composition of fibre-cement composite and the basic function of each component

v glavnem celulozna vlakna, kakršna se uporabljajo v papirni industriji. Z namenom ohranjanja naravnih virov se poleg tega uporablja tudi odpadni papir. Poleg vlaken in veziva, to je portlandskega cementa iz Salonita Anhovo, ki ima največji delež v kompozitu, se uporabljajo še anorganska polnila, pigmenti in nekateri drugi dodatki.

Izdelki iz vlaknocementa druge Eternitove generacije, ki jih proizvajamo v Esalu Anhovo, so v strjenem stanju (po 28-dnevnem zorenju) sestavljeni iz prostorninskih deležev okrog 40 % veziv, 11 % dodatkov, 2 % armirnih vlaken, 5 % procesnih vlaken, 12 % vode in 30 % zraka (Slika 1). Voda se uporablja za nadaljnje strjevanje cementa v vsej trajnostni dobi proizvoda. Pri tem, t. i. hidratacijskem procesu, nastajajo predvsem kalcijevi aluminat hidrati in kalcijevi silikat hidrati - silikatne spojine, ki tvorijo vedno bolj gosto matrico, kar pa je eden izmed odločilnih dejavnikov za dolgotrajno obstojnost proizvodov. Zrak je v proizvodu v obliki mikroskopsko majhnih por, ki se uporablja kot ekspanzijski prostor za zmrzujočo vodo in je odločilnega pomena za zmrzlinsko obstojnost. Tako nastane kompozitni material, ki regulira vlažnost, je vodotesen in hkrati tudi prepusten za zrak.

4 TEHNOLOŠKI POSTOPEK IZDELAVE

Vlaknocementne proizvode proizvajamo po Hatschekovem mokrem navijalnem postopku. Vse surovine dispergiramo in homogeniziramo v vodnem mediju. V osnovni tehnološki operaciji filtriranja se tvori tanka plast vlaknocementa, ki se navija na kovinski valj do želene debeline svežega izdelka. Princip proizvodnje in proizvodna oprema sta v osnovi analogna ali zelo podobna proizvodnji papirja. V nekaterih primerih je možna proizvodnja s postopkom nalivanja ali injekcijskega brizganja (npr. za hišne in vrtno cvetlične posode).

Za uspešno vodenje proizvodnje je nujno poznanje splošnih lastnosti disperznih sistemov, v konkretnem primeru vodne suspenzije vlaken in cementa. Primarne lastnosti delcev, kot so velikost in porazdelitev velikosti, oblika, gostota, površinski električni naboj, skupaj s primarnimi lastnostmi tekoče faze (viskoznost, gostota), določajo sekundarne ali procesne karakteristike suspenzij³. Pomembna sta zlasti specifični upor filtrskega kolača in hitrost sedimentiranja, ki odločilno vplivata na tehnološke operacije ločevanja faz trdno – tekoče (filtriranje, sedimentiranje).

Glede postopkov hidratiziranja ali zorenja in strjevanja vlaknocementnih izdelkov obstajata dve možnosti. Prva je klasičen postopek strjevanja na zraku v normalnih atmosferskih razmerah ali eventualno pri povišani temperaturi v začetni fazi strjevanja. Drugi način pa je hidrotermalni postopek v avtoklavih. V tem primeru se uporablja drugačne surovine zaradi zahtevnih

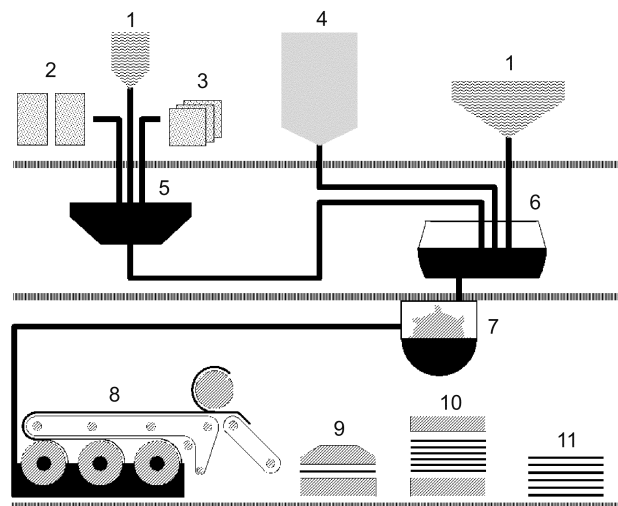
procesnih parametrov: prisotnost vodne pare pri temperaturi do 200 °C in tlaku do 10 bar.

V nadaljevanju je prikazan tehnološki postopek izdelave vlaknocementnih valovitih plošč v družbi Esal, d. o. o. Anhovo.

4.1 Surovine in priprava surovin

Poleg že omenjenih armirnih PVA vlaken, procesnih celulozih vlaken in portlandskega cementa se uporabljajo različna anorganska polnila, procesni aditivi, voda, pigmenti za barvanje v "masi" in dodatno "v prvi plasti" ter barvni premazi za površinsko zaščito plošč.

Prva faza priprave surovin je dispergiranje in dezintegriranje celulozih vlaken v vodnem mediju (Slika 2). V ta namen uporabljamo mlin za dezintegriranje vlaken ("refiner"), pretočni rezervoar in rezervoar za dezintegrirano celulozo. Kakovost dezintegriranja kontroliramo z določanjem stopnje mletja po metodi Schopper-Rieglerja. Metoda je poznana iz papirne industrije in se uporablja za posredno določanje specifične površine vlaken. Princip metode je meritev količine vode, ki pri definiranih pogojih preteče skozi filtrski sloj iz celulozih vlaken. Sledi priprava mešanice vlaken za posamezen tip izdelka. Celulozno suspenzijo in PVA-vlakna homogeniziramo v turbopulperju. S tem dobimo t. i. koktajl.



Slika 2: Shema tehnološkega postopka izdelave valovitih vlaknocementnih plošč. 1 – voda kot procesni in reakcijski medij, 2 – armirna vlakna (PVA), 3 – procesna vlakna (celuloza), 4 – portlandski cement, 5 – mešalnik za vlakna, 6 – mešalnik za vlaknocementno suspenzijo, 7 – horizontalni mešalnik, 8 – stroj za izdelavo plošč, 9 – rezanje in oblikovanje valovitih plošč, 10 – enolistna stiskalnica, 11 – proizvod (vlaknocementna valovita plošča V5 ali V8)

Figure 2: Technological scheme showing the manufacture of fibre-cement corrugated sheets. 1- water as process and reaction medium, 2 – fibres for reinforcement (PVA), 3 – process fibres (cellulose), 4 – Portland cement, 5 – mixer for fibres, 6 – mixer for fibre-cement suspension, 7 – horizontal mixer, 8 – sheet machine, 9 – cutting and shaping of corrugated sheets, 10 – single press, 11 – product (fibre-cement corrugated sheet V5 or V8)

Cement, polnila in pigmente dispergiramo v vodi, dodamo potrebno količino mešanice vlaken (koktajl) ter nadaljujemo mešanje in homogeniziranje. Pripravljena vlaknocementna (VC) suspenzija se preko dodatnega horizontalnega mešalnika in homogenizatorja dozira v osnovni stroj za izdelavo plošč. V homogenizatorju uravnavamo koncentracijo in filtracijske lastnosti VC-suspenzije s tehnološko vodo iz dveh dekantatorjev in s predhodno pripravljeno raztopino flokulanta. Uporabljajo se komercialni flokulanti na bazi poliakrilamida. Osnovna vloga flokulanta je izboljšanje filtracijskih lastnosti VC-suspenzije: združevanje vlaken, delcev cementsa in polnil v kosmiče, hitrejše ločevanje faz trdno/tekoče in boljša retencija na filtrskem sredstvu. Flokulant pripravljamo v ločeni napravi in ga dodajamo s posebno dozirno črpalko. Tako pripravljena VC-suspenzija se dovaja ločeno v vsako kad osnovnega stroja plošč.

4.2 Izdelava vlaknocementnih plošč

Stroji za oblikovanje plošč so narejeni po Hatzschekovem principu, ki obsega filtriranje VC-suspenzije in navijanje tankih VC-plasti na kovinski valj. Filtriranje vlaknocementne suspenzije poteka pod vplivom hidrostatskega tlaka na treh cilindričnih kovinskih sitih. Nastali filtrski sloj se transportira in vakuumira na "brezkončnem" filcu. Končno se na formirnem ali nabiralnem valju oblikuje plast bodoče plošče. V fazi nastajanja sveže plošče s posebno napravo doziramo mešanico pigmentov v "prvo plast" bodoče plošče. Zmes pigmentov vsebuje še cement, vlakna in nekatera polnila. Posebnost izdelave Valovitke 5 je vnos polipropilenskih trakov v vzdolžni smeri plošče. Vgrajeni trakovi izboljšujejo varnost strehe in preprečujejo padec delavca ob eventualnem prelomu plošče.

Ko je dosežena predpisana debelina svežega vlaknocementnega sloja, se z odrezom material prenese na transportni trak. Sledi odrezovanje robov in oblikovanje plošče s posebno napravo za oblikovanje. Strojna oprema omogoča izdelavo valovitih plošč profila 177/51 (Valovitka 5 ali V5) in profila 130/30 (Valovitka 8 ali V8). Prva vrednost označuje širino vala, druga pa višino v milimetrih. Standardne dolžine plošč so (1250, 1600, 2000 in 2500) mm.

Sveži odrezki se preko posebnega mešalnika vračajo v sveže pripravljeno suspenzijo. Pri izdelavi se pojavljajo odpadne tehnološke vode, ki jih prečistimo v obstoječi čistilni napravi. Večji del obdelane tehnološke vode se vrača v proces, manjši del pa se po sedimentiranju trdnih delcev, filtriranju ter kemijskem čiščenju izpušča v reko Sočo.

4.3 Zorenje in površinska zaščita

Oblikovanju valovitih plošč V5 ali V8 sledi stiskanje posamezne plošče in nakladanje na vozičke: izmenično nakladamo svežo ploščo in kovinski valoviti model.

Plošče najprej zorimo v ogrevani komori. Po približno 10 h imajo plošče dovolj visoko primarno trdnost za razkladanje oz. ločevanje od kovinskih modelov. Nadaljuje se postopek klasičnega hidratiziranja cementsa ali zorenja izdelkov na zraku pri atmosferskem tlaku. Plošče dodatno zorimo v skladih v neogrevanem prostoru, najprej pri 100-odstotni relativni vlagi, kasneje pa v navadnem pokritem skladišču. Končne trdnosti izdelkov so statistično enake, ne glede na temperaturna nihanja zraka v skladišču, ki lahko vpliva na kinetiko procesov hidratacije cementsa.

Postopek površinske zaščite ali barvanja z nanosom pigmentiranega akrilatnega premaza poteka v ločeni proizvodni enoti na posebni strojni opremi. Barva se nanaša s postopkom polivanja ali brizganja. Pobarvano površino plošč sušimo z ogrevanjem v zaprti komori. Sledi ohlajevanje plošč in skladanje na palete. Sive plošče se, nasprotno od vseh drugih, izdelujejo kot nebarvane ali površinsko barvane s svetlo sivim akrilatnim premazom. Po treh tednih zorenja v zaprtem skladišču so plošče pripravljene za odpremo, ki jo odobri laboratorij za kontrolo kakovosti na osnovi opravljenih preskusov.

4.4 Kontrola kakovosti in pomembne lastnosti izdelkov

Kontrola kakovosti poteka skladno s standardom SIST EN 494 in z vrsto dodatnih internih zahtev ter navodil družbe Esal. Po 21 d zorenja se redno preverjajo naslednje lastnosti:

Dimenzije izdelkov	zahteva SIST EN 494
Gostota ρ	zahteva SIST EN 494
Prelomna obremenitev F_p	zahteva SIST EN 494
Energija pri prelomu E_p	interna zahteva Esal-a
Upogibni moment M_v	zahteva SIST EN 494
Upogibna trdnost, prečno T_p	interna zahteva Esal-a
Upogibna trdnost, vzdolžno T_v	interna zahteva Esal-a
Lastnosti barvnega premaza	interna zahteva Esal-a

Fizikalno-mehanske lastnosti določamo na mokrih izdelkih, po 24 h namakanja v vodi, kar je bistveno zahtevnejši pogoj kot suho preskušanje. Dimenzijska kontrola, določanje gostote in fizikalno-mehanskih karakteristik so po navodilih SIST EN 494 kontrolna preskušanja. Interno preverjamo tudi nekatere druge lastnosti materiala, ki niso zgoraj omenjene. V Esalu se periodično – štirikrat na leto, določata npr. zmrzljinska odpornost in vodoneprepustnost, ki sta po SIST EN 494 klasificirana kot tipska preskusa. Drugi tipski preskusi so: preskus s toplo vodo, vpijanjanje-sušenje in toplota-dež. Esalov proizvod Valovitka 5 ima na osnovi že izdelanih tipskih preskusov potrdilo o skladnosti s standardom SIST EN 494. Preskuse in potrdila o skladnosti sta izdelala MPA Brandenburg, Berlin, in ZAG, Ljubljana. Zunanji nadzor kakovosti za Valovitko 8 opravlja tudi ZAG, Ljubljana, s kontrolnim preskušanjem in skladno z zgoraj navedenim standardom SIST EN 494.

Prej smo že omenili, da ima Valovitka 5 specifično zgradbo zaradi vgrajenih varnostnih trakov. Tega sicer standard SIST EN 494 ne predvideva, v nekaterih zahodnoevropskih državah pa se pojavlja kot dodatna zahteva, regulirana v gradbenih predpisih ali standardih. Tako npr. francoski standard NF P 33-303-1⁴ predpisuje odpornost plošč proti preboju predmeta "velikih" dimenzij. S tem je predpisana minimalna varnost strehe, ki zagotavlja varno delo delavcem med montažo nove strehe ali popravilom stare. Skladno s francoskim standardom in rezultatom preskusnega preboja plošče z vrečo mase 50 kg se strešne plošče delijo v tri kategorije ali klase (**Tabela 3**).

Tabela 3: Klasifikacija vlaknocementnih plošč glede na prebojno trdnost, skladno s standardom NF P 33-303-1

Table 3: Classification of fibre-cement sheets in terms of impact strength according to the standard NF P 33-303-1

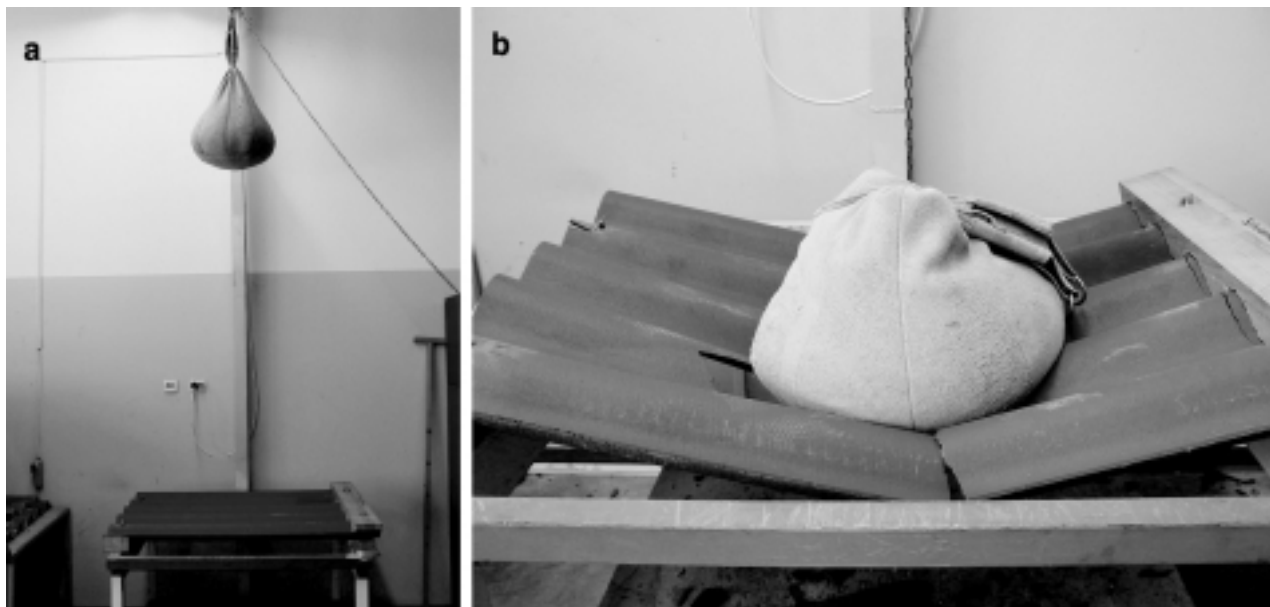
Klasa	600 J	900 J	1200 J
Energija preboja, E_{pb}/J	600	900	1200
Višina H , s katere se spusti 50-kilogramska vreča, H/mm	1200	1800	2400

Najboljši sodobni komercialni vlaknocementni izdelki dosegajo klaso 900 J. Na osnovi preiskav raziskovalnega instituta REDCO, Belgija, so Esalove plošče po kakovosti razvrščene v sam vrh. V povprečju dosegajo klaso 900 J (**Slika 3**) in imajo v primerjavi s konkurenco najboljše fizikalno-mehanske lastnosti.

Karakteristične lastnosti Esalovih vlaknocementnih valovitih strešnih plošč V5 in V8 so podane v ločenih tabelah (**Tabela 4** in **Tabela 5**). Določanje osnovnih

lastnosti izdelkov se izvaja z laboratorijskimi meritvami po 24-urnem namakanju vzorcev v vodi. Mehanske lastnosti, določene pri suhih ploščah, so vedno višje. Starost plošč ob preskušanju je 21 d, zorenje pa vedno poteka po klasičnem postopku pri atmosferskem tlaku ter temperaturi in vlagi okoliškega zraka. Primerjalno so podane zahteve standarda SIST EN 494 (1998) ter interne zahteve Esala oz. Eternita. Iz tabel je razvidno, da Esalovi proizvodi v celoti izpolnjujejo in celo presegajo zahteve standarda. Dodatno uporabno vrednost dajejo proizvodom barvni premazi, ki izboljšajo estetski videz strehe ali fasade ter zagotavljajo dimenzijsko stabilnost, zmrzlinsko obstojnost in vodoneprepustnost materiala. Zaradi posebnih lastnosti barvnih premazov je končnim proizvodom zagotovljena tudi paroprepustnost kot pomembna konkurenčna prednost.

Valovite vlaknocementne plošče, ki jih proizvajamo v Esalu Anhovo, so primerne za pokrivanje streh industrijskih in gospodarskih objektov ter stanovanjskih zgradb. Značilen izdelek za pokrivanje industrijskih hal je ločna Valovitka 5 (nebarvana ali barvana), ki se izdeluje v različnih polmerih zakrivljenosti, glede na zahteve oz. željo kupca. Ločna plošča V5 je v osnovi enaka standardni Valovitki 5 s to razliko, da je v vzdolžni smeri plošča blago zakrivljena. Polmer zakrivljenosti je praviloma v območju od 2,5 m do 21 m. Valovitka 8 s t. i. "nizkim" valom je namenjena predvsem oblaganju fasad, čeprav se podobno kot Valovitka 5 uporablja zelo uspešno in učinkovito tudi za pokrivanje streh.



Slika 3: Določanje prebojne odpornosti ali trdnosti Valovitke 5 v Esalu Anhovo. a) Vreča z maso 50 kg se spusti z višine 1800 mm. b) Vgrajeni varnostni trakovi zagotavljajo prebojno odpornost plošče. Po udaru se plošča sicer prelomi, vendar ne pride do preboja in vreča ostane na plošči oz. strehi.

Figure 3: Determination of the impact resistance or strength for Valovitka 5 at Esal Anhovo. a) Bag of 50 kg falls from a height of 1800 mm. b) Inserted safety strips ensure the impact resistance of the sheet. The sheet is broken after the impact but there is no bag breakthrough and the bag remains on the sheet and on the roof.

Tabela 4: Značilne lastnosti Esalovih valovitih plošč tipa Valovitka 5, merjene po 21-dnevnem klasičnem zorenju (preskušanje po 24 h namakanja v vodi). Kategorija in klasa: C1X po SIST EN 494 (1998).

Table 4: Typical characteristics of Esal corrugated sheets Valovitka 5, measured after 21 days of an air-curing process (testing after 24 h of immersion in water). Category and class: C1X according to SIST EN 494 (1998).

Lastnost	Enota	SIST EN 494 (1998)	Interne zahteve ESAL-a	Valovitka 5, ESAL ¹⁾
Gostota	$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	ni zahteve	> 1,6	1,72
Debelina	δ/mm	$\geq 5,2$	$6,2 \pm 0,6$	6,1
Obremenitev pri prelomu	$F_p/(\text{N}/\text{m})$	≥ 4000	≥ 4350	6100
Energija pri prelomu	$E_p/(\text{J}/\text{m}^2)$	ni zahteve	≥ 2800	4700
Upogibni moment	$M_v/(\text{Nm}/\text{m})$	≥ 55	≥ 55	95
Upogibna trdnost, prečno	$T_p/(\text{N}/\text{mm}^2)$	ni zahteve	$\geq 18,5$	22
Upogibna trdnost, vzdolžno	$T_v/(\text{N}/\text{mm}^2)$	ni zahteve	$\geq 10,5$	15
Energija preboja	E_{pb}/J	ni zahteve	≥ 600	600–900
Vpijanje vode	$\alpha/\%$	ni zahteve	≤ 18	17

¹⁾ Srednje vrednosti za obdobje 1999-2003 / Average values for period 1999-2003

Tabela 5: Značilne lastnosti Esalovih valovitih plošč tipa Valovitka 8, merjene po 21-dnevnem klasičnem zorenju (preskušanje po 24 h namakanja v vodi). Kategorija in klasa: B1X po SIST EN 494 (1998).

Table 5: Typical characteristics of Esal corrugated sheets Valovitka 8, measured after 21 days of an air-curing process (testing after 24 h of immersion in water). Category and class: B1X according to SIST EN 494 (1998).

Lastnost	Enota	SIST EN 494 (1998)	Interne zahteve ESAL-a	Valovitka 8, ESAL ¹⁾
Gostota	$\rho/(\text{g}/\text{cm}^3)$	ni zahteve	> 1,6	1,72
Debelina	δ/mm	$\geq 5,0$	$6,0 \pm 0,6$	6,0
Obremenitev pri prelomu	$F_p/(\text{N}/\text{m})$	≥ 2500	≥ 2500	3200
Energija pri prelomu	$E_p/(\text{J}/\text{m}^2)$	ni zahteve	≥ 2800	3600
Upogibni moment	$M_v/(\text{Nm}/\text{m})$	≥ 55	≥ 55	85
Upogibna trdnost, prečno	$T_p/(\text{N}/\text{mm}^2)$	ni zahteve	$\geq 18,5$	21
Upogibna trdnost, vzdolžno	$T_v/(\text{N}/\text{mm}^2)$	ni zahteve	$\geq 10,5$	14
Vpijanje vode	$\alpha/\%$	ni zahteve	≤ 18	17

¹⁾ Srednje vrednosti za obdobje 1999-2003 / Average values for period 1999-2003

5 SKLEP

Skrbno načrtovan in strokoven način pri razvoju novih vlaknocementnih materialov je omogočil doseganje visoke kakovosti proizvodov. Ta presega kakovost prejšnjih azbestcementnih izdelkov ter izpolnjuje vse zahteve v sodobnem gradbeništvu. Mehanske lastnosti so primerljive, vendar z bistveno večjo žilavostjo novega materiala, ki zagotavlja večjo zanesljivost proizvoda v uporabi. Osnovo Esalovih proizvodov tvorijo anorganske in v ekološkem smislu neoporečne surovine. Iz njih Esal proizvaja ekonomične, okolju prijazne vlaknocementne izdelke z dolgo trajnostno dobo, ki jih lahko v celoti recikliramo.

Spremljanje razvoja materialov in mokrih tehnologij oblikovanja omogoča nenehno optimiziranje proizvodnih procesov in končnih lastnosti proizvodov. Nadaljnji razvoj je usmerjen tudi v iskanje možnosti za večjo uporabo in recikliranje sekundarnih surovin. Pri tem morajo ostati kakovost, trajnostna doba in uporabne

lastnosti proizvodov na ravni, ki se danes pričakuje za tovrstne materiale ob upoštevanju vedno strožjih predpisov s področja varovanja okolja.

6 LITERATURA

- J. J. Beaudoin: Handbook of Fiber-Reinforced Concrete – Principles, Properties, Developments and Applications, Noyes Publications, New Jersey, 1990
- J. Kraetli: Eternit – Faserzement der zweiten Produktgeneration, Separatdruck aus Finanz-Revue Nr. 4, 27.01.1989, 1–2
- K. Vidovič, B. Lovreček, M. Hraste: Influence of surface Charge on Sedimentation and Filtration Behaviour of Fibrous Material, Chem. Biochem. Eng. Q. 10 (1996) 1, 33–38
- NF P 33-303-1, Decembre 1997: Plagues profilées en fibres-ciment – Résistance à la traversée d'un corps mou de grandes dimensions, 1997, 1–11
- M. Partl: Faserzement – Materialwissenschaftliche Problemstellungen, ETH Kolloquiums fuer Materialwissenschaften vom 21.01.1987, Schweizer Ingenieur und Architekt Sonderdruck aus Heft 44/1987, 1–10
- J. Studinka: Faserzement ohne Azbest, Neue Zuericher Zeitung, 07.12.1983, 61