

## OJAČAVANJE TEMELJNOG TLA EKSPANZIVNIM SMOLAMA

Sve su brojniji slučajevi u kojima je potrebno ojačavanje konstrukcija građevina čije se stanje tijekom go-

ili ojačanjem tla i naknadnim poboljšanjem njegovih fizičko – mehaničkih svojstava.

### Primjer saniranja Župne crkve Svetog Bartolomeja i Gaudencija u Borgolavezzaru

Župna crkva Svetog Bartolomeja i Gaudencija u Borgolavezzaru u Italiji, gradnja koje je dovršena 1852., nastala je na ostacima stare crkve Sv. Gaudencija, od koje je ostalo samo tijelo zvonika. Predmet zahvata bio je spoj konstrukcije starog tornja zvonika i crkve koja je novijeg datuma, a na kojem su bile pukotine. Zvonik se slijegao u odnosu na ostatak građevine koja je bila nepomična i stabilna na svojim temeljima. Temelji zvonika, koji su bili pod velikim opterećenjem, slijegali su se u većoj mjeri u odnosu na temelje crkve koji su bili pod manjim opterećenjem.

Zbog poznatih problema koji mogu nastati tradicionalnim postupcima ojačanja temelja (mikro stupovi, *jet grouting*, itd.), odlučilo se na ubrizgavanje poliuretanske smole koja ekspandira pod visokim pritiskom. Zahvaljujući preciznosti primjene, ta

metoda omogućuje homogeno ojačanje tla koje se nalazi točno ispod nosivih dijelova konstrukcija. Vrlo usko područje (gradilište) potrebno za obavljanje radova te posebna svojstva ubrizganog materijala omogućili su izvođenje zahvata bez prekidanja crkvenih obreda isključujući bilo kakve radove na iskapanju.



### Bušenje rupa za ubrizgavanje

Rupe za ubrizgavanje promjera 20 mm s razmakom između dviju bušotina od 0,8 do 1,0 m bušene su s pomoću rotacijsko-perkusijske bušilice u tlu duž cijelog opsega zvonika. Ubrižgana tekuća smola proširila se tamo gdje je naišla na najmanji otpor tla, i zahvaljujući svom velikom povećanju volumena zbila je i ojačala temeljno tlo s kojim se povezala i na taj način stvorila novi medij velike otpornosti na tlak i posmik.

U ispitanom slučaju obavljeno je injektiranje stupca s brzinom podizanja koju kontrolira odgovarajući ekstraktor počevši od dubine od 7.5 m do visine postavljanja temelja ili do prvog znaka njegova podizanja (oko 1 mm).

Tijekom ubrizgavanja, obavljenoga u sloju tla s najvećim naprežanjem, praćeni su pomaci cijele građevine i okolnog područje laseraom preciznosti 1 mm. Ostale kontrole nosivosti

### PODACI O ZAHVATU

#### Mjesto zahvata:

Borgolavezzaro, Italija

#### Tvrтка:

Uretek s.r.l., Bosco Chiesanuova (Verona)

#### Zahvat:

Injektiranje ekspanzivnom smolom

#### Količina upotrijebljene smole:

1.750 kg što odgovara otprilike 14 kg po metru stupnog ubrizgavanja

#### Trajanje radova:

7 radnih dana

#### Tlo:

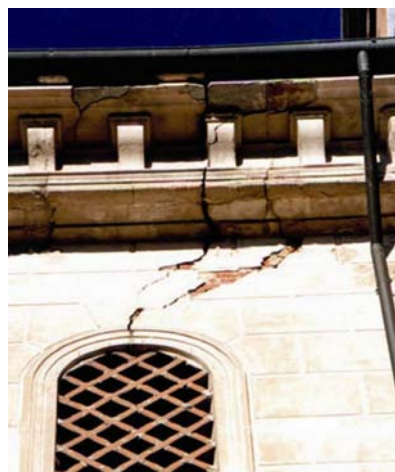
temeljno tlo se ponajviše sastoji od pijeska i šljunka s udjelom mulja ne većim od 6%

#### Temelji:

od pune cigle i kamenja kao baze, dubine između 2,70 m i 3,50 m

#### Dubina ubrizgavanja: 7,50 m

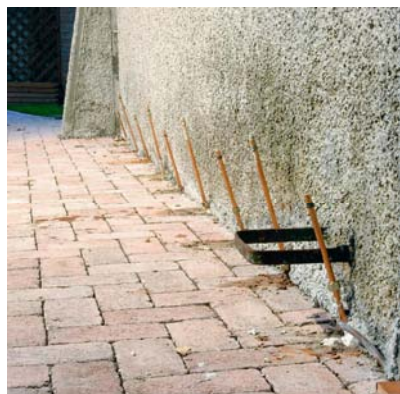
dina znatno i zabrinjavajuće pogoršalo. Uzroci se u većini slučajeva mogu pripisati pojavi nejednolikih slijeganja uzrokovanih zahvatima na tijelu građevine koji su doveli do promjena u rasporedu i veličini trajnih opterećenja. U ostalim slučajevima uzrok je najčešće u promjenama geotehničkih svojstava temeljnog tla zbog spuštanja ili podizanja razine podzemnih voda, kemijske degradacije nekih litotipa, pucanja hidrauličko - sanitarnih instalacija... Bez obzira na uzrok slijeganja, potrebni su zahvati poboljšanja koji omogućuju sklopu *konstrukcija – tlo* prilagodbu na novo stanje opterećenja. To se može izvesti na dva načina: konstrukcijskim ojačanjem temelja



Detalj građevine s oštećenjima

## Građevni materijali

i preciznosti ubrizgavanja obavljane su odgovarajućim mjeračima i manometrima.



Postavljene cijevi kojima se ubrizgava tekuća smola

Upotreba opisane tehnologije za ojačavanje temeljnog tla omogućilo je ujednačeno poboljšanje geotehničkih svojstava tla ispod građevina. Prosječna krutost novostvorenog medija, koja se može usporediti s krutošću karakterističnom za nekoherentne materijale, onemogućila je znatniju preraspodjelu naprezanja u dubljim slojevima tla.

Ubrizgani materijal nema samo veliku vlastitu otpornost na tlak, nego i svojim ekspanzivnim svojstvima postiže poboljšanje deformabilnih karakteristika okolnog tla.

Ubrizgana je smola, osim toga, ekološki kompatibilan materijal i u skladu je sa svim strogim propisima iz područja ekologije.

### Svojstva primijenjene smole

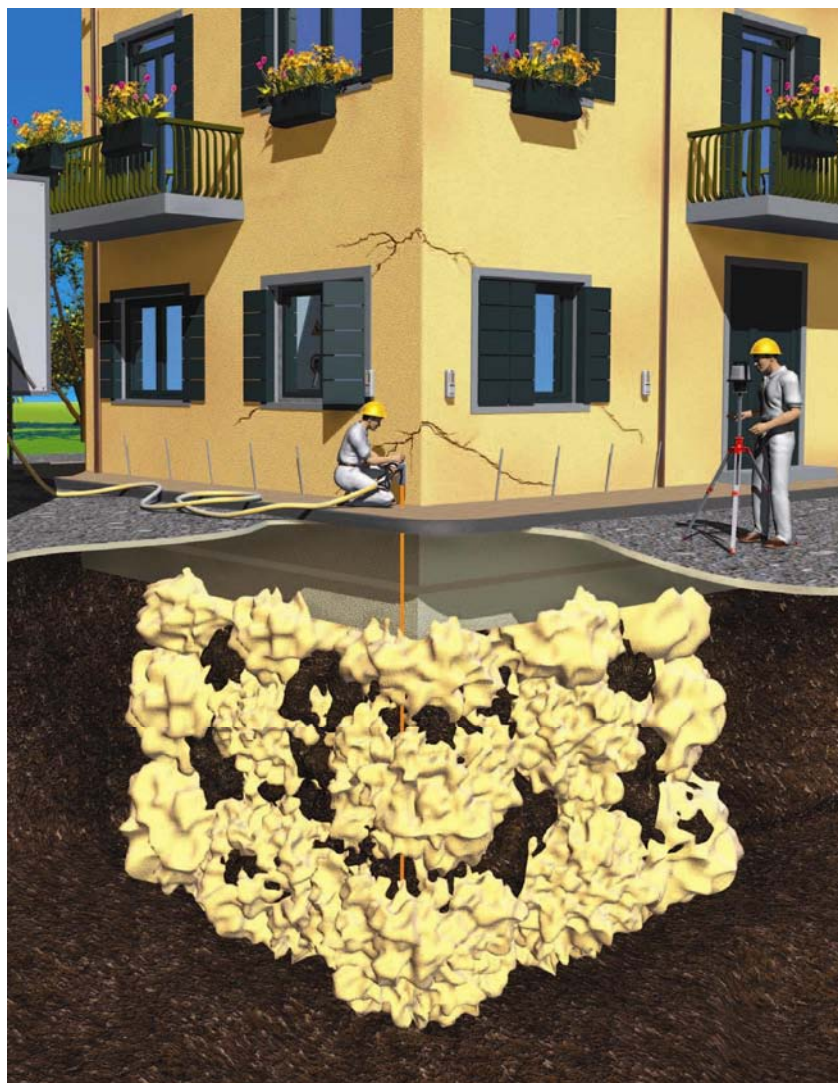
Metoda Uretak Deep Injections<sup>®</sup> rabi smole Uretak GEOPPLUS<sup>®</sup> koja jednom kada stigne do područja ojačanja počinje bubriti u svim smjerovima razvijajući pritom silu koja može dostići i 10.000 kPa. Naravno, bubrenje je veće u smjerovima u kojima smola nailazi na manji otpor, stoga

se smola najprije usmjerava i širi tamo gdje je temeljno tlo najslabije i gdje je ojačanje najpotrebnije. Tek nakon toga smola se usmjerava prema gore i to točno kada okolno tlo, koje je već ojačano, počne pružati otpor koji je veći od težine tla i gra-

đevine koja se na njemu nalazi. U tom trenutku laser, koji se pričvrsti na građevinu, označi trenutak kada se smola počinje podizati uzrokujući početak podizanja građevine. Poče

označava da je nosivost postignuta zahvatom sada veća od statičkog opterećenja. Između ostalog, nastalo ojačanje može se potvrditi i penetra-cijskim ispitivanjima.

Daniele Bonalumi



Prikaz područja djelovanja smole

đevine koja se na njemu nalazi. U tom trenutku laser, koji se pričvrsti na građevinu, označi trenutak kada se smola počinje podizati uzrokujući početak podizanja građevine. Poče



## BEŠAVNA HIDROIZOLACIJA RAVNIH KROVOVA, BALKONA I TERASA

Graditelji uvijek iznova iznenađuju zanimljivim oblikovnim rješenjima građevina, pa se stoga izvođači građevinskih radova suočavaju s izazovima specifičnih rješenja. Današnji trendovi uporabe građevnih materijala vraćaju se prirodnim i energetski učinkovitim materijalima. No, bez obzira kakva je materijalna i oblikovna osnova neke građevine, a time i krova, balkona i terasa, vrlo je važna funkcionalna uporabnost koja zbog loše izvedene hidroizolacije može biti neprihvatljiva.

Zbog fizikalnih karakteristika klasičnih izolacijskih materijala teško je uspješno izolirati krov bez nagiba, razvedene krovove, terase i balkone, drvene konstrukcije. To se odnosi i na sve nastavke koji se višekratno pojavljuju na krovovima kao npr. krovni prozori, svjetlosne kupole, klima - uređaji i uređaji za prozračivanje koji također zahtijevaju određenu pozornost. Stoga je važna uporaba materijala prilagodljivih površini s kojima se rješava pitanje teško dostupnih mjesta i zahtjevnih detalja. Povremeno konstrukcije nisu krute i u njima se ne događaju pomaci zbog različitih utjecaja. Za zadovoljenje uspješne izolacije mora se upotrijebiti materijal koji je trajno elastičan, da ne bi nastale napukline kroz koje bi mogla prodirati voda.

### Suvremene bešavne hidroizolacije

Za kvalitetnu hidroizolaciju bešavnost je iznimno važna. S klasičnim se hidroizolacijskim materijalima, naime, ne mogu osigurati potpuna površinska zatvaranja jer se većina materijala međusobno zavaruje vatrom ili pištoljima na vrući zrak. Nanosom akrilnog ili poliuretanskog premaza, koji se zatim ojača poliesterskim uloškom od filca i ponovno zalije premazom, postiže se cjelovitost, odnosno bešavnost čime monolitnost hidroizolacija postaje površinski vodootporna.

Suvremena bešavna hidroizolacija dugotrajno uspješno podnosi neugodne utjecaje okoline kao npr. ultraljubičaste zrake, onečišćenje zraka, velike temperaturne razlike, vlažnost.

Za suvremene bešavne hidroizolacije uporaba više različitih materijala (PVC-a, drva, keramike, betona, bitumena, poliuretanske pjene i drugih) ne predstavlja zapreke. Materijal se zbog akrilnog, tj. poliuretanskog sastava iznimno dobro prima na sve prethodno očišćene površine, jer se nanosi izravno na navedene materijale bez uporabe bilo kakvih limenih rubova. Prednost je u tome što prethodne zaštite površine nije potrebno odstraniti, što znači smanjenje troškova sanacije. Zbog hladnog nano-

cije ili izloženosti površine teško je doseći isušivanje već vlažne podloge za kasniju sanaciju. Stoga je važno da se površina sanira vodotijesnim materijalom koji će nakon nanošenja dopuštati postupno isušivanje, to znači da mora biti što više paropropustan. Svi suvremeni bešavni materijali su paropropusni 20 puta više od ikojeg klasičnoga bitumenskog materijala.

Još uvijek primjerenu izolaciju diktira oblik ili druga svojstva krova, balkona ili terase. Stoga veliku važnost pri tome ima mogući nagib ako se govori o razvedenim arhitektonskim oblicima. Najteža zadaća je tamo gdje nagiba nema ili tamo gdje je upotrijebljeno više različitih materijala s različitim koeficijentima



Izvedba elastičnoga dvokomponentnog cementnog premaza za hidroizolaciju

šenja materijala nema bojazni da se ošteti PVC ili drvena površina.

### Paropropusnost i vodonepropusnost

Glavni problem površine za koju se ustanovi da nije vodonepropusna jest u tome što je veoma teško odrediti točku kroz koju prodire voda. Stoga točkasta sanacija može biti samo iznimno uspješna. Zbog funk-

rastezljivosti. Za takve se površine mora osigurati da će nanosena hidroizolacija biti uspješna ako ne propušta vodu ni onda kad voda nema mogućnost stalnog otjecanja, nego će se na određenim mjestima zadržavati neko vrijeme, što je posebno važan faktor zimi. Poliuretanska bešavna hidroizolacija to osigurava.

T. Vrančić

## STAKLO U GRADITELJSTVU

Staklo je otvrdnuta otopljena smjesa više sirovina. U graditeljstvu se upotrebljavaju kalcijeva stakla, koja se dijele na natrijevo ili kalijevo staklo. Sastavna smjesa prozorskog stakla izgleda približno ovako: 60 posto silicijeva pijeska, 14 posto dolomita, 5 posto vapnenca, 1 posto sulfata, 18 posto otapala i natrijeva karbonata, a mogu biti dodane i boje.

Gustoća stakla je približno  $2,5 \text{ g/cm}^3$ . Tlačna čvrstoća je izuzetno visoka, otprilike 1000 MPa, tako da se stak-

labije toplinske provodljivosti ( $\lambda=0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ) sporije.

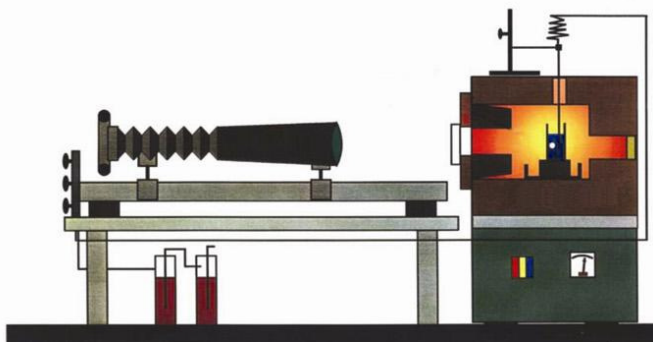
Kada površina otvrdne i dalje se brzo hladi na zraku, sve je manja kora unutrašnjosti koja se još nije ohladila i skupila na jednake mjere. U kori se sve više stvara naprezanje na savijanje, a u unutrašnjosti rastu odgovarajuća tlačna naprezanja. Kada površinska naprezanja na savijanje dostignu čvrstoću na savijanje, kora fino popuca. U konačnoj je fazi hlađenja situacija obrnuta: kako se na

nom elementu, pa naprezanja od temperature mogu toliko narasti da dolazi do loma stakla. Primjer takve opasne situacije je apsorpcijsko staklo na užarenom suncu, koje se na osunčanoj površini jako zagrije, dok rubovi stakla u prozorskom okviru ostaju hladni. Posebno je opasno postavljanje radijatora preblizu npr. višeslojnoga izolacijskog stakla (minimalni je potrebni razmak 30 cm).

S karakteristikama stakla povezan je i fenomen tople grede. Kad ostaklje-



Postupak proizvodnje graditeljskog stakla



lena kocka sa stranicom od 10 cm zdrobi tek s 1000 - tonskim opterećenjem. Tvrdoća na savijanje je mnogo niža, no još uvijek razmjerno visoka: 40 MPa. Kod prednapetoga stakla (koje ima tlačne napetosti na površinama i rastezne u unutrašnjosti) čvrstoća na savijanje doseže vrijednost 200 MPa. Modul elastičnosti iznosi približno 70.000 MPa. Staklo je otporno na brojne kemikalije i dobar je električni i primjeran toplinski izolator. Zagrijavanjem na temperaturu 500 do 1000 °C polagano se (bez faznog pomaka) omekšava te ga je moguće preoblikovati.

Uobičajeni stakleni proizvodi su krhki, pri udarcu se razbijaju. Krhkost je posljedica postupka izrade, hlađenja s visoke temperature, jer se na početku površina proizvoda brže hladi, a hlađenje unutrašnjosti zbog

kraju hladi još samo unutrašnjost, ona se jedina stiska, tlačna naprezanja u unutrašnjosti dalje padaju, a zatim slijedi naprezanje na savijanje. Konačna situacija je fino ispucana površina staklenog proizvoda te zastaloga naprezanja. Problem se potencira kod debelih elemenata pri bržem hlađenju. Poznato je da npr. debela stakla mogu iz čista mira puknuti napola. Obrnuti su primjer staklena vlakna koja su toliko tanka da se hlade po cijelom presjeku praktički odjednom. Bez posljedica se mogu savijati ili udarati.

Zbog relativno niske toplinske provodljivosti stakla mogu nastati problemi pri praktičnoj uporabi: lokalno zagrijavanje ili hlađenje relativno tankoga prozorskog stakla s velikom površinom uzrokuje znatno podizanje unutarnjih naprezanja u stakle-

nje propusti sunčane zrake u unutrašnjost zgrade, ozračene površine apsorbiraju energiju te se zagriju. Zagrijana tijela počinju i sama odavati toplinu isijavanjem, no u infracrvenom području s valnim dužinama iznad 5 m. Za takve je valove staklo slabije propusno i sunčana energija, koja je kroz staklo lagano prodrla u prostor, iz njega kroz staklo više ne može van.

### Plošno staklo

Skupini plošnoga stakla pripada ravno i zakrivljeno prozorsko staklo. Danas se izrađuju postupkom plivaćućih otopina: staklena se otopina, koja se najprije razbistri (odstrane se mjehurići plina i otopina se homogenizira), vodi kroz rastaljeni kositar. Kako ima manju gustoću od kositra, staklo pliva na površini u



slojevima približno jednakomjerne debljine. Kod ulaza u kupelj temperatura stakla približno je 1000°C, pri izlazu iz kupelji 500°C, kod namakanja se obje staklene površine zaglade, donja koja se giba na kositru, gornja zbog djelovanja grijača smještenih iznad površine stakla. Poslije kupke slijedi hladni tunel u kojem se staklu snižava temperatura na približno 250°C, a sporo se hlađenje nastavlja na otvorenom.



Dio staklenoga pročelja ulazne piramide u pariški Louvre

Staklo propušta svjetlosne zrake, one s kratkom i one s dugom valnom dužinom. S obzirom na debljinu stakla propusnost svjetla iznosi između 70 i 90 posto. Manji dio svjetlosnog i toplotnog zračenja staklo odbije ili apsorbira, pri čemu se apsorbirana toplina iskazuje kao sekundarno toplinsko zračenje, prema unutra i van. Toplinsko - tehničke karakteristike mogu se poboljšati postavom dvaju ili više prozorskih stakala, pogotovo ako su povezana u jedan zrakonepropustan element s međuprostorima koji mogu biti ispunjeni plinom, npr. argonom, ksenonom ili kriptonom. Takav se sklop naziva višeslojno izolacijsko staklo.

Staklo koje zadržava toplinu u prostoru je višeslojno izolacijsko staklo, koje ima dodatni sloj za zadržavanje topline (od kositrova oksida, srebra

ili zlata). Taj se sloj nanosi potpuno na unutarnje staklo, na površini prema međuprostoru između stakala. Funkcija dodatnog sloja je odbijanje toplotnog zračenja iz prostora natrag u unutrašnjost građevine.

Staklo za zaštitu od sunca je konceptualno sasvim jednako iako je namijenjeno povećanoj zaštiti od sunca. Kako bi odbijao sunčeve zrake, dodatni sloj za zadržavanje smješten je na sasvim vanjskom staklu, ponovno na površini prema međuprostoru između stakla.

Staklo za zaštitu od buke naglašeno smanjuje prolaz zvuka u prostor. Osnovno je polazište za takvo staklo što veća vlastita masa stakla. Pridonosi i razlika u debljini pojedinih stakala u sustavu, što širi međuprostor te punjenje međuprostora teškim plinom.

Sigurnosno staklo može biti jednoslojno staklo ili zalijepljeno višeslojno.



Primjer razbijanja sigurnosnoga lameliranog stakla

Jednoslojno je sigurnosno staklo prednapeto (kao posljedica posebne termičke obrade) te je otpornije na udarce i manje osjetljivo na temperaturu od uobičajenoga prozorskog stakla. Ako se takvo staklo razbije, raspada se na sitne komadiće s neopasnim tupim rubovima. Takva se stakla rabe u sportskim dvoranama te za vrata i balkonske ograde.

Višeslojno sigurnosno staklo debelo je od 6 do 34 mm. Zalijepljeno je od dva ili više slojeva stakla, s folijom od elastične umjetne mase između. Ako se takvo staklo razbije, svi se dijelovi drže plastične folije i nema staklenih krhotina. Na taj je način isključena mogućnost ozljeda. Iako razbijena, takva staklena ploča i dalje štiti građevinu od vremenskih utjecaja. Naravno, ono mora na određenim razmacima imati poduporu (oko 70 cm) pa takvo staklo ima dvostruku sigurnost, a ima ugrađenu i čeličnu armaturu.

Staklo za zaštitu od požara je prozirno, barem 15 mm debelo, zalijepljeno višeslojno, s umetnutim protupožarnim slojevima. Ispunjava zahtjeve požarne otpornosti i, s obzirom na razred požarne otpornosti (od 30 do 90 min), ostaje tvrdo unatoč požaru, ne dopušta prolaz plinova i plamena te osigurava određenu toplinsku izolaciju.

Matirano staklo ima hrapavu površinu koja omogućava jednakomjerno raspršivanje svjetlosti. Hrapavost se postiže finim pjeskarenjem ili kemijskim učincima koji površinu jednakomjerno nagrizaaju.

### Zbijeni proizvodi i stakleni građevni profili

Staklene su opeke kocke ili prizme. Izrađene su od više dijelova, spojevi su povezani rastopljenom masom tako da je unutarnji prostor zrakotijesno zatvoren. Vidljive površine mogu biti glatke ili reljefne, a staklena masa željene boje. Propusnost svjetlosti je maksimalno 85 posto, a propuštena se svjetlost raspršava. Opeke imaju određenu zvučnu i toplinsku izolaciju. Otporne su na požar.

Stakleni crijep ima jednake dimenzije kao glineni ili betonski, izrađuje se stiskanjem. Rabi se za osvjetljenje potkrovlja.

Stakleni građevni profili izrađuju se ulijevanjem. Različitih su oblika, s uloškom čeličnih žica ili bez uloška.

## Građevni materijali

Često se za ostakljenje rabe profili U presjeka koji se vertikalno ugrađuju. Kako su profili samonosivi,

kod betona i mortova, ali i kod plastičnih masa te u lijevanom asfaltu. Uobičajena su vlakna neotporna u

alkalno otporna vlakna koja u svojoj smjesi imaju bar 16 posto cirkonijeva dioksida.



### Pregrada od sigurnosnoga stakla

upotrebljavaju se za ostakljivanje kosih krovova, parapeta ili izradu za stijene koje propuštaju svjetlo.

### Staklena vlakna

Staklena se vlakna upotrebljavaju u raznim oblicima: kao vlakna, niti, voal, tkanina, mreža, toplinsko-izolacijske ploče. Mogu se lijepiti ili našiti na nosivi sloj, npr. bitumenski papir, aluminijsku foliju ili valoviti karton.

Staklena vlakna zalijepljena na izolacijske ploče služe kao odlična toplinska i zvučna izolacija.

Vlakna se zbog visoke čvrstoće na savijanje rabe kao mikroarmatura



### Zid od staklene opeke

alkalnom okruženju te se ne mogu upotrebljavati s cementom ili vapnom. Za takve slučajeve treba rabiti

rabi se za lagani konstrukcijski beton, žbuke i mortove.

T. Vrančić

IZVOR: [www.zrmk.si](http://www.zrmk.si)