

Fenolne izolacije*

Priredila: Đurđica ŠPANIČEK

Phenolic insulation

Phenolic insulation has seen a significant increase in use in different construction applications. However, in a small minority of applications unexpected problems have occurred due to unforeseen chemical or physical interactions with other materials. To avoid these potential problems it is important to consider the foam's potential interactions, particularly after the end of their life to prevent contamination of landfill or Brownfield sites.

Trajno raste udio fenolnih izolacija u građevinarstvu. Najveća primjena fenolnih pjena je za izradu izolacijskih ploča, npr. za omotače optičkih vlakana, stropova, sustava podnoga grijanja i balkona, dok ostale primjene uključuju izolaciju cijevi i kabela. Brojni utjecaji određuju izbor izolacijskog materijala za određenu namjenu i postoji obilje već pripremljenih i objavljenih podataka o njihovim uporabnim svojstvima.

U najvećem broju fenolne izolacije izvode se bez većih teškoća. Međutim, u manjem broju slučajeva mogu se pojaviti neočekivani problemi zbog nepredviđenih kemijskih ili fizičkih interakcija s ostalim materijalima. Fenolni izolacijski materijali uobičajeno se rabe u dodiru s ostalim materijalima, a njihove interakcije u izravnom ili posrednom dodiru mogu utjecati na svojstva katkad s dalekosežnim posljedicama.

Kombinacije materijala i utjecaji okoline praktički su bezbrojni pa je za izbjegavanje problema važno uzeti u obzir potencijalnu interakciju fenolne pjene s ostalim materijalima u određenim konstrukcijama. Međudjelovanje s ostalim materijalima nakon završetka životnog vijeka također je važno pitanje. Osobito zato što očekivano trajanje modernih građevina može biti relativno kratko, a to znači da svi materijali mogu dospjeti u okoliš kao potencijalni zagađivači ili barem kao onečišćivači.

Da bi se predvidjele potencijalne interakcije materijala tijekom uporabe proizvoda i fenolne izolacije, važno je uzeti u obzir:

- kako nastaje pjena
- koje su kemikalije prisutne u pjenu
- s kojim će materijalima pjena doći u kontakt
- kako promjene okolišnih uvjeta kao što su vlažnost i toplina mogu utjecati na
- interakciju materijala.

Izazov materijala

Fenolne pjene pripravlja se reakcijom fenola ili supstituiranih fenola s aldehidom, uglavnom formaldehidom. Prisutna može biti i urea, koja sakuplja višak fenola. Ostali dodaci uključuju *surfaktante*, sredstva koja kontroliraju veličinu ćelija pjenastog materijala i omjer otvorenih i zatvorenih ćelija, pjenila i katalizatore. Katalizatori su od posebnog interesa jer su uglavnom kiseli; odabir kiselog katalizatora može zahtijevati određeni kompromis. Toplina zbog egzotermnog karaktera polimerizacije koju je pokrenuo katalizator uzrokuje isparavanje pjenila te nastaje pjena. Uporaba manje agresivne kiseline kako bi se izbjegla potencijalna reakcija s drugim materijalima utječe na ostala svojstva pjene.

Kada se fenolni pjenasti materijal upotrebljava s betonom ili nekim drugim konstrukcijskim materijalom pri izvođenju podnoga grijanja ili

stropne izolacije, betonska površina bit će jako alkalna s pH-vrijednostima oko 13 ili 14. Kako pjenasti materijal sadržava kiselu komponentu, u nekim vlažnim uvjetima pH može iznositi čak 1 – 2, pa je moguća kemijska reakcija. Na slici 1 prikazano je ispitivanje pH vrijednosti fenolne izolacije. Lakmus papir pokazuje kiselost u jezgri (crveno) i lužnatost na površini (plavo). Pjenasti materijal apsorbira vlagu iz vlažnog betona tijekom njegova sušenja ako nije postavljena vodonepropusna barijera. U jako oštrim uvjetima zbog prodora vode, bilo zbog probijanja vodonepropusne membrane ili oštećenja cijevi podnoga grijanja ili zbog prodora kišnice, pjena može upiti alkalnu otopinu soli koju je stvorio beton, što uzrokuje kemijsku reakciju. Kako se svaki element iz betona koji je apsorbiran u pjenu može identificirati primjenom SEM analize, utjecaji su očiti. Tako su npr. tamnosmeđe obojenje i gubitak krutosti u izloženom području opaženi u smoli koja je bila izložena djelovanju alkalnih soli. Kada oštećenje prodre dosta duboko u pjenu, dugoročno će to rezultirati pucanjem betona zbog variranja ravnina. Kada se beton polaže izravno iznad pjene (npr. kod podnoga grijanja primjena slojeva kojima se kontrolira propuštanje para), smanjuje se rizik od apsorpcije vlage. Prodor vlage može se ispitivati različitim metodama, uključujući toplinsko snimanje, koje pokazuje hladne točke nastale zbog prodora vode.



SLIKA 1 – Ispitivanje pH vrijednosti fenolne izolacije

Kada neki drugi polimer dolazi u dodir s fenolnom izolacijom, treba uzeti u obzir potencijalnu mogućnost migracije malih molekula iz jednog materijala u drugi. Tako npr. organski dodaci koji prodiru u plastični čavao ili klin mogu izazvati pojavu tenzokorozije, što dovodi do zakazivanja materijala i loma.

Utjecaj na metale

Potencijalan utjecaj fenolnih pjena na metale vidljiv je u graditeljstvu, što je dokumentirano u mnogobrojnim publikacijama u SAD-u u kojima je opisan problem metalnih gradbenih komponenti zbog djelovanja kiselih dodataka. Problem se može pojaviti kada se pjena upotrebljava u izravnom kontaktu s metalnim cijevima. U težim slučajevima reakcija između fenolne pjene i električnih žica utvrđena je kao uzrok požara u stambenim zgradama.

Taj se problem posebno javlja kod sustava za hlađenje s bakrenim cjevovodom, gdje se kvar može pojaviti već za dvije do tri godine. Iako izolacije cijevi imaju vodonepropusnu barijeru, potrebno je posebno paziti da barijera dobro brtvi cijelom dužinom cijevi, osobito na krajevima i mjestima spajanja s drugim materijalima. Problem je povezan s velikom upojnošću iz atmosfere, koja može biti čak nekoliko puta veća od prvotne

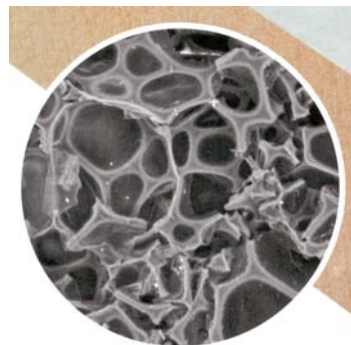
* Ingle, M., Clark, S.: *Phenolic insulation*, Materials World, November 2013., 33-35.

mase smole. S time povezano otpuštanje kiselih komponenti može dovesti do stvaranja točkastih pukotina na stijenkama cijevi i kroz njih do prodora vode u mrežu. Kako su tako nastali gubici mali, izlazeća voda može dovesti do daljnjeg zasićenja na granici cjevovod/pjena mnogo prije negoli voda počne istjecati. Neka mjerenja uvedena su kako bi se smanjio taj utjecaj, kao što je uključivanje prevlaka od natrijeva silikata u provrte na instalacijama. No to ima samo ograničen utjecaj i zaštita će popustiti kako se nastavlja sakupljanje vlage. Iako su pjene koje sadržavaju i natrijev silikat već u primjeni, one tek trebaju dokazati svoju učinkovitost.

Struktura ćelija

Fenolne krute pjene sastoje se od otvorenih i zatvorenih ćelija (slika 2). Budući da se voda sakuplja u otvorenim ćelijama, pjene za izolaciju moraju imati udio zatvorenih ćelija veći od 90 % prema *BSEN 13166:2008*. U fenolnim smolama s otvorenim ćelijama (dobar primjer je zelena pjena kojom se koriste cvjećari) velika sposobnost upijanja vlage još raste s povišenjem temperature. U izolacijskim pločama zamijećen je udio apsorbirane vlage od 24 % uz kontrolirane uvjete topline od 70 °C i vlažnosti od 90 % relativne vlage. To je važno pri projektiranju izolacijskih sustava; ako bi pjena mogla apsorbirati vlagu, treba uzeti u obzir povećanje mase pjene kako bi se smanjio rizik od degradacijskih procesa. Rezanje ploča uzrokuje povećan broj otvorenih ćelija na ravni rezanja, pa je potrebno minimirati rezanje radi smanjenja apsorpcije vlage. Struktura ćelija može

se odrediti primjenom pretražnoga elektronskog mikroskopa, SEM, iako se pukotine u pjeni, koje također pomažu apsorpciju vode, mogu katkad vidjeti i golim okom.



SLIKA 2 – Ćelijasta struktura fenolne pjene snimljena skenirajućim elektronskim mikroskopom

Ako dobavljač izolacije ne može jamčiti prikladnost predložene kombinacije materijala za određenu primjenu, potrebno je istražiti literaturu i analizirati materijale radi dobivanja uvida u njihovu kompatibilnost. Sva ispitivanja trebaju uzeti u obzir i okolinu u kojoj će materijali djelovati, posebno naprezanja pri servisiranju i ekstremne vrijednosti temperature i vlažnosti.

Poliimidni aerogelovi

Privedio: Vedran POLJAK, Fakultet kemijskog inženjerstva i tehnologije Sveučilišta u Zagrebu

Polyimide aerogels

A new class of polymer aerogels is being developed. More than 500 times stronger than conventional silica aerogels, organic, cross-linked polyimide aerogels represent flexible, durable, non-soluble, high modulus, super insulating materials that are stable up to 600°C. They are primarily intended for use as thermal insulators in harsh space environment. Because of their many novel properties usage on Earth is restricted only by human imagination.

Uvod

Kad se danas spomene aerogel, većinom se misli na anorganski SiO₂ aerogel, što je isto kao i kad se rabi izraz plastika misleći na polietilen, iako ima i drugih vrsta plastike (polipropilen, polistiren, poliakrilati...). Tako postoje i druge vrste aerogelova, najlakših materijala na svijetu. To su npr. metalni oksidni aerogelovi (TiO₂, Fe₂O₃, oksidi lantanida i aktinida), ugljični, bakreni i zlatni aerogel, u novije vrijeme aerografen, koji je vrlo zanimljiv za skladištenje električne energije, te razni organski polimerni aerogelovi. Aerogelovi se dobivaju ekstrakcijom kapljevite komponente gela, najčešće superkritičnim sušenjem. Pritom se ne narušava struktura gela i ujedno nastaje porozni materijal s udjelom zraka većim od 85 %.¹ Naime, struktura gela je dvofazna i sastoji se od čvrste trodimenzionalne mreže nastale spajanjem čestica, koja u sebi sadržava uklopljenu kapljevину. Ekstrakcijom kapljevine u umreženu strukturu umjesto nje ulazi zrak koji čini aerogelove najboljim izolatorima na svijetu (slika 1) jer su dva od tri procesa prijenosa topline, kondukcija i konvekcija, smanjeni gotovo na nulu. Iako anorganski aerogelovi posjeduju impresivna svojstva poput najmanje toplinske provodnosti, $\kappa = 0,016 \text{ W m}^{-1}\text{K}^{-1}$, i najniže

gustoće za krutinu, $\rho = 0,0011 \text{ g/cm}^3$, najveće specifične površine monolita, SSA = 3200 m²/kg, najmanje dielektrične konstante čvrstih materijala i najmanje brzine zvuka kroz krutinu, a ovisno o gustoći mogu izdržati i do 2 000 puta veću težinu od sebe samih, mane su im da su kruti, pucanjem stvaraju puno prašine i nepostojani su na neka otapala.² Tako SiO₂ aerogel dobiven superkritičnim sušenjem s CO₂ ima hidrofilnu površinu na koju se veže voda koja hidrolizira Si atome i vodi do otapanja aerogela te se stoga površina mora modificirati. Uz to je nepostojan na jake baze, kao i SiO₂ u masi. Organskim polimernim aerogelovima topivost u vodi pak ovisi o polarosti komponenata od kojih su napravljeni. Organski polimerni aerogelovi najčešće su hidrofobni i postojani su na širok raspon otapala, pogotovo na anorganske kiseline i baze, dok zbog svoje umrežene strukture tek ograničeno bubre u nekim otapalima.

Organski polimerni aerogelovi

Prvi aerogel rezultat je oklade dvaju znanstvenika da će osušiti želatinu bez narušavanja njezine strukture. To je 1931. za rukom pošlo američkom kemijskom inženjeru Samuelu Kistleru.³ Kako je želatina građena od heteropolisaharida pektina, prvi je aerogel bio organski polimer. Iako su poznati još od tridesetih godina 20. stoljeća, organskim polimernim aerogelovima nije se pridavala važnost do 1980., kad je u nacionalnom laboratoriju *Lawrence Livermore* započela sinteza organskih aerogelova od fenolnih smola. Rick Pekala i Joe Satcher sintetizirali su prvi resorcinol-formaldehidni organski aerogel, istog sastava kao fenol-formaldehid, poznatiji pod nazivom *bakelit*, koji se, kako je njegov izumitelj Baekeland sam rekao, radio za 1 000 namjena zbog svoje odlične toplinske stabilnosti, dobrih mehaničkih i izolacijskih svojstava.^{4,5} Drugi poznati organski polimerni aerogelovi su fenol-formaldehidni, melamin-formaldehidni, krezol-formaldehidni, fenol-furfuril-alkoholni, poliakrilamidni, poliakri-