

ТЕРМОИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛИ НА БАЗИ АЕРОГЕЛА ЗА ПРИМЕНУ У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Арпад Чех¹
Карољ Касаш²
Милан Кекановић³
Рита Немеш⁴
Голуб Караман⁵

УДК: 691:699.8

DOI: 10.14415/konferencijaGFS2014.076

Резиме: Термоизолацијски материјал на бази аерогела је флексибилан, нанопорозан материјал, произведен је нанотехнологијом, у лабораторијама NASA (САД), првенствено за потребе свемирских истраживања. Данас је тај материјал, који има изузетно мали коефицијент топлотне проводљивости ($\lambda=0,0131 \text{ W/mK}$) доступан у комерцијалној продаји и за потребе грађевинарства. Може да се користи и за допуну традиционалних термоизолационих материјала, на одређеним местима, где је неопходна примена уских трака изолационог материјала, као на пример око прозора, врата, или на местима где је остало мало простора за уградњу адекватног материјала, ради спречавања проблема топлотних мостова. Може се применити и на веома високим и ниским температурама.

Кључне речи: Аерогел, нанотехнологија, термоизолација

1. ТЕХНОЛОГИЈА ПРОИЗВОДЊЕ ТЕРМОИЗОЛАЦИОНИХ МАТЕРИЈАЛА НА БАЗИ АЕРОГЕЛА

У технолошком процесу производње термоизолационих трака и панела на бази аерогела прво се мора направити аерогел. Да би се дошло до аерогела прво се мора произвести сам гел. Тај примарни гел назива се алкогел. Настаје полимеризацијом силикон-алкоксида $\text{Si}(\text{OR})_4$, где је R алкилна група са водом и етанолом. Након

¹ Асистент Арпад Чех, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: ceh@gf.uns.ac.rs

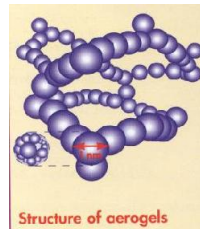
² Проф. др Карољ Касаш, дипл. инж. техн., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: kkasas@gf.uns.ac.rs

³ Проф. др Милан Кекановић, дипл. инж. грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: kekec@gf.uns.ac.rs

⁴ Rita Nemes, PhD, Budapest University of Technology and Economics, Faculty of Civil Engineering, Department of Construction Materials and Engineering Geology, Műegyetemrkp. 3, H-1111 Budapest, Hungary, tel: 00-36-1-463-3454, е-маил: nemes.rita@gmail.com

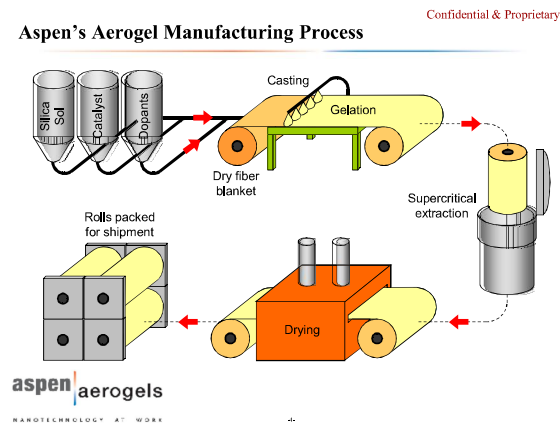
⁵ Виши лаборант Голуб Караман, инж. грађ., Грађевински факултет Суботица, Козарачка 2а, тел: 024/554-300, е-маил: golub@gf.uns.ac.rs

хидролизе и полимеризације, долази до реакције сједињавања молекула алкоксида и формирања силикон-кисеоничке везе, формирајући тиме олигомере (мини-полимере). Повезивањем олигомера, настаје један огроман молекул, који представља део гела (Слика1.). Силика-матрикс (везиво-скелет) алкогела је испуњен етанолом, са садржајем пора величине од 5 до 150 нанометара. Те поре етанола у гелу се називају нанопоре.



Слика 1. Структура молекула аерогела (Aspen Aerogels, Inc.)

Састојци аерогела се помешају и ливењем наносе на траку или панел, што може бити на бази полиестра, стакла, угљеника, керамике, после чега следи технолошки процес добијања аерогела у структури траке или панела, суперкритичном екстракцијом и сушењем. Након тога следи формирање ролни или пакета, већ готових термоизолационих материјала, на бази аерогела, као што је приказано на Слици 2.



Слика 2. Технолошка шема производње траке на бази аерогела (Aspen Aerogels, Inc.)

2. ВРСТЕ И ПРИМЕНА АЕРОГЕЛА

Када је реч о аерогелима нове врсте аерогела се развијају свакодневно, па заустављајући се на аерогелима који су већ у примени, постоје 3 велике групе аерогела: силика, карбон и метал-оксидни аерогели. [1] Најпознатији и најраспрострањенији су свакако силика аерогели који су до 2011. године држали 15 светских рекорда. Захваљујући заиста фантастичним особинама, као што је

њихова густина од $1,9 \text{ kg/m}^3$ при атмосферском притиску (ради упоређења густина ваздуха је $1,2 \text{ kg/m}^3$), запреминска порозност од 99,8 % или специфична површина од $400\text{--}1,000 \text{ m}^2/\text{g}$ (што је око 1000 пута веће од специфичне површине цемента) веома брзо су постали познати као најбољи термоизолациони материјали ($\lambda=0,004\text{--}0,03 \text{ W/mK}$ – где је доња граница постигнута при полувакумским условима од 50 mbara), најбољи звучни апсорбери, изузетно порозни са порама величине неколико 1-100 nm, имају одличну моћ акумулације енергије, упијања, итд.



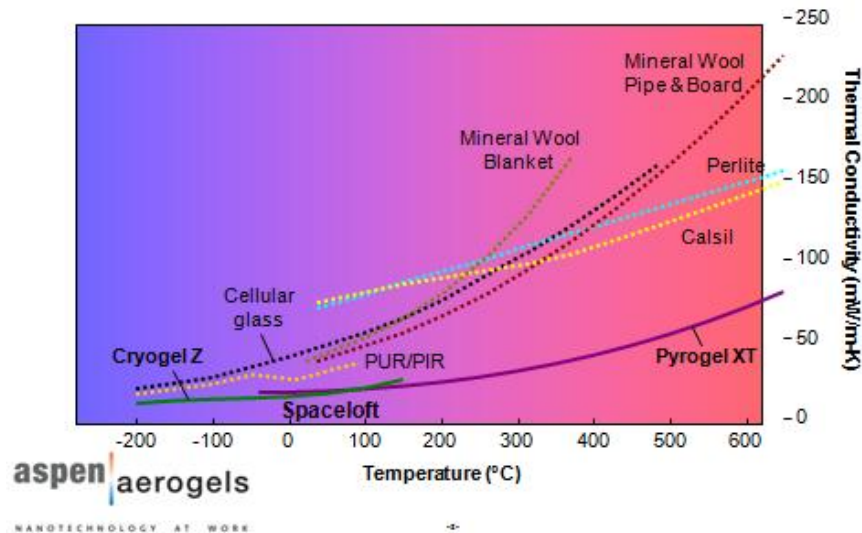
Слика 3. Цвет изнад Бунсеновог пламеника – доказ изузетних термоизолационих особина (Lawrence Berkeley National Laboratory)

Са овим изузетним особинама примена аерогела је веома широка, али пошто се ради о новим материјалима чија производња је доста захтевна и скупа, примена у свим сегментима свакодневног живота је још пред нама, мада данас термоизолациони материјали на бази аерогела (траке, панели, итд.) су већ доступни јавности с тим да цена је још увек прилично висока, са тенденцијом пада, као и за све нове материјале. Тренутно се примењују пре свега у научне сврхе (не само као термоизолациони материјали, него и као суперкондензатори, медији за прихватање свемирске прашине, катализатори, апсорбери енергије од експлозије, сензори, резервоари за водоник), али се већ и индустријски производе пре свега као термоизолациони материјали, користе се у индустрији козметичких препарата, боје, лекова, па чак и тениских рекета. Како научна и инжењерска популација више упозната са јединственим физичким особинама аерогела, расте и интересовање ширећи се и поље примене, а истовремено катализирајући и његов даљи експлозиван развој. [2]



Slika 4. Primeri primene aerogela: termoizolacija svemirskog odela, IC prigušenje i NASA-in "Spacedust collector" (Aspen Aerogels, Inc)

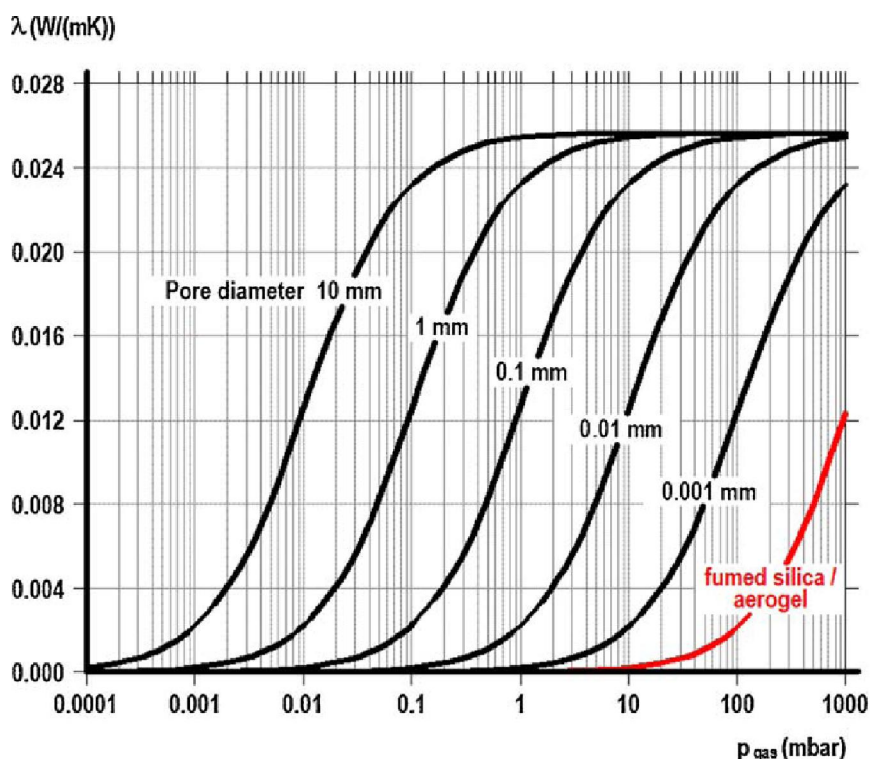
Најпознатији и најраспрострањенији су термоиолациони аерогели у примени су Spaceloft[®], Pyrogel[®] i Cryogel[®], производи компаније Aspen Aerogels, Inc. (Northborough, MA, US). Њихова примена покрива веома широк температурни дијапазон. Cryogel[®] одликује најбољим термоиолационим карактеристикама при ниским температурама (0 до -200°), па се користи углавном за иолацију резервоара криогених горива, цевовода, али и за производњу термо обуће и одеће, спаваћих врећа, рукавица, итд. Pyrogel[®] је дизајниран да буде одличан термоиолатор при високим температурама (до 650°), па се користи пре свега при иолацији цевовода, генератора, итд. Међутим са аспекта грађевинарства потребно је нагласити да се одлично показао и при иолацији котлова и цеви и користи се као материјал противпожарне заштите. Spaceloft[®] се користи при температурама од -100° до +200°. Поље примене са аспекта температуре средине поменутих врста аерогела и других традиционалних термоиолационих материјала су приказани на слици 5.



Slika 5. Функције зависности коефицијента топлотне проводљивости и температуре примене за различите врсте аерогела и других термоиолационих материјала

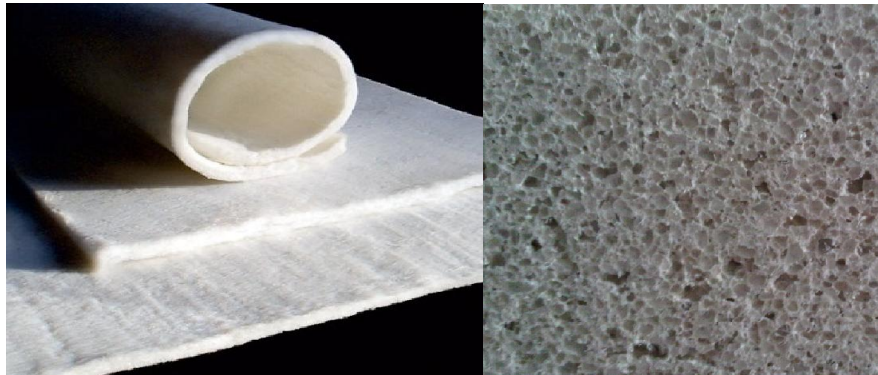
3. АЕРОГЕЛ – ТЕРМОИЗОЛАЦИОНИ МАТЕРИЈАЛ

Аерогел са коефицијентом топлотне проводљивости и до $\lambda = 0,0131 \text{ W/mK}$ (што је декларисана вредност Spaceloft® - а [7]) је тренутно најбољи термоизолациони материјал у примени. Мада постоје решења као што су VIP (Vacuum insulation materials) и GIM (Gas insulation materials), на којима је у лабораторијским условима измерена и мања вредност од аерогела, ти материјали/решења за сада још немају постојане физичке параметре и јављају се потешкоће при њиховој примени. [3] Силика аерогели своју фантастично ниску вредност коефицијента топлотне проводљивости, што је знатно мања од ваздуха ($\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$), имају захваљујући својим нанопорама величине 1-100 nm. [4] Наиме, иако се у тим, отвореним порима налази ваздух, његов коефицијент топлотне проводљивости је знатно мањи услед ткзв. Кнудсен-ефекта. [5] Утицај овог ефекта је приказан на слици 6.



Слика 6. Топлотна проводљивост ваздуха, функција величине пречника поре и притиска поре

Аерогели се данас примењују за термоизолацију у облику трака, јоргана, панела (нпр. већ спемениути Spaceloft® - производ Aspen Aerogel Inc. – Слика 7. лево) дебљине до 1цм или у облику термоизолационог малтера (пример Fixit 222 Aerogel® – швајцарског произвођача Fixit AG – Слика 7. десно).



Слика 7. Spaceloft® јоргани (лево) и Fixit Aerogel® малтер (слика:ЕМПА) (десно)

Аерогел – јорган (Spaceloft®)

Траке, јоргани, панели Spaceloft® имају коефицијент топлотне проводљивости $\lambda_{10} = 0,0131 \text{ W/mK}$ и оно што га чини најбољим термоизолационим материјалом данашњице је постојаност тог параметра (за разлику од VIP и GIP), класификован према отпорности на пожар на Еврокласу Ц, хидрофобан је материјал, лак је за обликовање, веома добро подноси притисак (70 kPa при 10% деформације), има изузетно добру паропропустљивост ($\mu=5$) и густину 150 kg/m^3 . Важно је напоменути да су честице аерогела у облику праха величине 45-500 μm (свега је 3% мања од 45 микрона), а поре у њима су нано-величина (средња вредност пречника 20-40 nm). [6] На тај начин потпуно је безбедан за рад и захтева исту заштитну опрему као и рад са цементом. Може се сећи на одговарајуће димензије најобичнијим алатима за сечење, као што су обичне маказе за текстил. Веома лако и брзо се поставља и није потребна посебна технологија код постављања. На њега се може нанети малтер, како традиционални малтер на бази креча, тако и малтер на бази акрила и других савремених материјала.

Fixit Aerogel® термомалтер

Fixit 222 Aerogel малтер је настао у сарадњи са институтом ЕМПА. Ради се о термоизолационом малтеру које је предвиђено за машинско малтерисање. Одликују га одличан коефицијент топлотне проводљивости $\lambda_{10} = 0,0261 \text{ mW/mK}$, паропропусност ($\mu < 5$) и водоодбојност, густине је 220 kg/m^3 . [8] Из аспекта заштите околине, примена оба материјала је безбедна, располажу са сертификатом Европске Уније.

4. ПРИМЕНА АЕРОГЕЛА У ГРАЂЕВИНАРСТВУ

Аерогел термоизолациони материјали се могу применити за топлотну изолацију свих елемената омотача зграда, подова и фасадних зидова, кровова, итд... Ипак

имајући у виду да тренутно још веома скупи, ови материјали су намењени за решење проблема термоизолације на местима где је простор ограничени где на малој површини можемо постићи значајне уштеде. Могу се користити за допуну традиционалних термоизолационих материјала на местима топлотних мостова, као на пример око прозора, врата, код носача зидова код монтажне суве градње, код балкона, са унутрашње стране фасадног зида иза радијатора, на местима где је због инсталација имамо тачкасте губитке топлоте, или на местима где је остало мало простора за уградњу адекватног материјала (у становима вишеспратних стамбених објеката). (Слика 8.)



Слика 8. Термоизолација надпрозорне греде и балкона

Веома сукорисни материјали за санацију топлотних губитака код објеката који су под заштитом споменика и културе, због мале потребне дебљине за постизање изузетно добрих термоизолацијских параметара и одлично прати облике зидова и остале делове објеката. (Слика 9.)

Логична су решења и у свим случајевима када се термоизолација не може поставити са вањске стране објекта, па би постављање класичне термоизолације адекватне дебљине значајно смањило нето унутрашњи простор.



Слика 9. Постављање аерогел термоизолације на објекте под заштитом споменика и културе

Прозори са оквирима са аерогел пуњењем веома брзо би се требали наћи у продаји, па ће бити значајни елементи при изградњи пасивних и нуленергетских кућа. [9]

Очекује се да ће као и VIP и GIP и аерогели даље развијати у правцу побољшања термоизолацијских параметара заменом ваздуха у порама са гасом чији је коефицијент топлотне проводљивости мањи (Ar, Xe, Kr) или вакумом.

5. ЗАКЉУЧАК

Међу материјалима који се тренутно користе у грађевинарству, термоизолацијски материјали на бази аерогела тренутно имају најнижу вредност коефицијента топлотне проводљивости.

Ти материјали су веома погодни за уградњу, јер не захтевају посебне алате и технологије, могу се сећи, бушити и постављати са обичним алатима као и остали термоизолациони материјали (стиропор, минерална вуна, итд.). Такође се на њих може нанети стандардном технологијом малтер и класичан и синтетички.

Мора се водити рачуна приликом рада са термоизолацијским материјалима на бази аерогела да се користе адекватне заштитне маске, јер прах лако излази из трака, панела и јоргана тог типа приликом манипулације, сечења и постављања.

Пред грађевинарством је још један изазов, а пред произвођачима задатак да још више усаврше тај производ по свим параметрима, посебно економским.

ЗАХВАЛНОСТ

Захваљујемо Петеру Кемивешу представнику „Aspen Aerogels“ Inc. у Србији и Отоу Темешу власнику „Н-Јон“ Развојно-иновационог д.о.о. из Мађарске, на вишегодишњој сарадњи и пруженој помоћи из области ових материјала.

Овај рад је урађен у оквиру Научно-истраживачког пројекта III-42012, који финансира Министарство просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>, преузето 04.02.2014.
- [2] Hrubesh, L.W.: Aerogel applications, Section 8. Applications, *Journal of Non-Crystalline Solids*, 1998., Vol. 225, стр. 335-342
- [3] Jelle, B.P.: Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions – Properties, requirements and possibilities, *Energy and Buildings*, 2011, vol. 43., стр. 2549–2563
- [4] Gaosheng, W., Yusong, L., Xinxin, Z., Fan, Y., Xiaoze, D.: Thermal conductivities study on silica aerogel and its composite insulation materials, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 2011., vol. 54., стр. 2355–2366

- [5] Baetens, R., J. V., Thue, Tenpierik, M. J., Grynning, S., Uvsløkk, S., Gustavsen, A.: Vacuum insulation panels for building applications: A review and beyond, *Energy and Buildings*, 2010, vol. 42., стр. 147-172
- [6] <http://www.aerogel.com/> , преузето 05.02.2014.
- [7] Test report No. F.2-192a/09, FIW-München, 2009
- [8] <http://www.fixit.ch/aerogel/> , преузето 05.02.2014.
- [9] Hanus, M.J., Harris, A.T.: Nanotechnology innovations for the construction industry, *Progress in Materials Science*, 2013, Vol. 58, стр. 1056–1102

AEROGEL BASED THERMAL INSULATION MATERIALS FOR BUILDING APPLICATIONS

Summary: *Thermal insulation materials based on aerogels are flexible, nanoporous materials, produced using nanotechnology in the laboratories of NASA (USA), primarily used in space exploration. Today these materials with an extremely low coefficient of thermal conductivity ($\lambda = 0.0131 \text{ W/mK}$) are available for commercial use and for construction purposes. It can also be used to go together with other traditional insulating materials in certain places where the application requires a narrow strip of excellent insulating material such as around windows, doors or in a places where only a small space is available for the installation of appropriate thermo insulation in order to prevent the problem of thermal bridges. They are applicable for both extreme high and low temperatures.*

Keywords: *Aerogel, nanotechnology, thermo insulation*