

**Факултет инжењерских наука Универзитета у
Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос топлоте и масе

Број индекса: 128/2011

Марко Г. Томашевић

Изолациони материјали

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Небојша Лукић, редовни професор -
ментор**

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Сажетак рада

Изолациони материјали

У овом раду описани су изолациони материјали, врсте изолационих материјала и њихове особине. Главна улога изолационих материјала је да спрече пренос топлоте, звука, влаге и пожара из једне средине у другу.

Рад је фокусиран на особине и врсте термоизолационих материјала. Најважније особине термоизолационих материјала су: мало упијање воде, постојаност на температурне разлике, паропропустљивост, отпорност на дејство пожара и мрза. Када кажемо термоизолација најчешће мислимо на термоизолациони материјал, чија је функција да заштити објект од спољашњих топлотних промена и одржи константно пријатну температуру у унутрашњости објекта. Да би се један материјал могао назвати термоизолационим, мора да има ниску вредност коефицијента топлотне проводљивости која се обележава грчким словом λ (ламбда). Ламбда изолационог материјала мора да буде мања од 1 W/mK и што је нижа, то је материјал бољи топлотни изолатор. Када се говори о самим материјалима који се користе за термоизолацију у савременом грађевинарству најзаступљенији су производи на бази плуте и отпадака од прераде дрвета, али апсолутна доминација припада производима начињеним на бази полистирола и минералних влакана.

На основу свега претходно наведеног, може се закључити да је термоизолација један од најзначајнијих услова за постизање одговарајуће енергетска исплативости. С тим у вези је веома битан правилан избор врсте изолационог материјала, дебљине слоја датог материјала, као и начин његове уградње у неку конструкцију како би се постигла уштеда енергије, а самим тим оправдала и економска исплативост употребе изолационих материјала.

Abstract

Insulation materials

In this labour are described insulating materials, types of insulation materials and their properties. The main role of insulation material is to prevent heat transfer, sound, humidity and fire from one environment to another.

The work is focused on the characteristics and type of insulation materials. The most important characteristics of thermal insulation materials are: low water absorption, resistance to temperature differences, vapor permeability, resistance to fire and frost. When we say insulation usually refer to the insulation material, whose function is to protect the building from external heat changes and to maintain constant comfortable temperature inside the building. The material can be considered like thermal insulation material, if it has a low coefficient of thermal conductivity, which is celebrated by the Greek letter λ (lambda). Lambda insulation material must be less than 1 W / mK , and the lower it is, it's better thermal insulator material. When we talk about materials used for thermal insulation in modern construction, the most common products are based on cork and waste from wood processing, but absolute dominance belongs to products which are based on polystyrene and mineral fiber.

Based on all previous mentioned, it can be concluded that the insulation is one of the most important conditions for achieving the appropriate energy effectiveness. However, this regard is very important the correct choice of type of insulation material, thickness of the material and the manner of its incorporation into the structure to achieve energy savings, and thus justify the economic viability of the use of insulation materials.

Садржај

1	Увод.....	6
2	Основне особине материјала	7
2.1	Физичке особине материјала.....	8
2.2	Физичке особине под дејством спољних утицаја	10
2.2.1	Преношење топлоте	11
2.2.1.1	Пренос топлоте провођењем	11
2.2.1.2	Стационарно једнодимензионо провођење.....	15
2.2.1.3	Провођење топлоте кроз једнослојни зид	18
2.2.1.4	Провођење топлоте кроз вишеслојни зид	20
2.2.1.5	Коефицијент пролаза топлоте, К.....	22
3	Општи услови за термоизолационе материјале.....	25
4	Термоизолациони материјали органског порекла на бази полимера	29
4.1	Екструдирани полистирен(ХПС)	35
4.2	Термоизолациони материјали органског порекла на бази полимера	36
5	Термоизолациони материјали минералног порекла.....	38
5.1	Камена(минерална) вуна.....	38
5.2	Стаклена(минерална вуна)	41
6	Термоизолациони материјали на бази полиуретана	43
7	Термоизолациони материјали органског порекла на бази природних материјала	44
8	Плоче на бази дрвене вуне или струготина од дрвета и минералних везива	45
9	Термоизолација на бази целулозе	45
10	Иновације у области термоизолационих материјала	46
10.1	ТЕДЕЛИТ - течни термоизолациони материјал	46
10.2	YTONG Multipor.....	48
11	Закључак.....	50
12	Попис ознака.....	51
13	Литература	52

1 Увод

Све до прве половине двадесетог века није се поклањала велика пажња термичким особинама спољних зидова. Зидови су углавном грађени по старим емпиријским правилима.

Код нас је важило правило: довољно је да је спољни зид дебљине 1,5 пуне опеке. Уколико зид није био довољно топлотно изолован, просторије су се јаче грејале, а како енергенти (дрво, угаљ, струја, плин) нису били скупи, термичке особине зидова нису биле меродавне за димензионисање спољних зидова.

Због енергетске кризе изазване великим скоком цене нафте, тзв. нафтног шока, код нас је 1980. године донешен стандард под називом: "Топлотна техника у грађевинарству, технички услови за пројектовање и грађење зграда ", по коме су услови за топлотну заштиту пооштрени.

Према томе, потреба уштеде енергије која се троши на загревање просторија, актуелна је последњих тридесет година. Просечна зграда у Србији на грејање годишње троши 200 до 280 kW / m^2 енергије, стандардно изолована испод 100 kW / m^2 , док савремене нискоенергетске куће троше 40 kW / m^2 , а пасивне 15 kW / m^2 и мање.

Последњих година расправа о значају уштеде енергије добија на интензитету, због потребе да се смањи емисија гаса CO_2 у атмосферу, који је један од главних узрочника најактуелнијег проблема, глобалног загревања. Такође, постоје врло значајни хигијенски и здравствени разлози, због којих се овој појави посвећује велика пажња. На пример, приликом одвођења топлоте у већој количини, површина зида постаје влажна (углови просторије) те долази до образовања плесни. Плесни проузрокују алергијске ефекте и емитују токсине што није само козметички проблема, већ има веома штетан утицај на здравље људи.

2 Основне особине материјала

Сваки материјал који се користи окарактерисан је одређеним основним особинама. Сходно томе, одређује се могућност примене материјала у зависности од самог конструкционог објекта, климе, економике коришћења итд.

Уведена је следећа подела особина материјала:

- **Физичке особине** дефинишу било коју физичку особеност стања материјала или одређују понашање према неком физичком утицају (нпр. према физичком утицају воде, топлоте).
- **Механичке особине** у већини случајева одређују способност материјала да се супротстави дејству разних механичких сила које изазивају притисак, савијање, истезање, увијање или смицање. Ове особине играју велику улогу код материјала, како у току њиховог испитивања, тако и у току њихове примене.
- **Физичко-хемијске особине** одређују утицај физичког стања материјала на одређене хемијске процесе, као што је нпр. утицај степена дисперзије на брзину хемијских реакција.
- **Хемијске особине** описују способност материјала да се у њему одвија одређени хемијски процес. Овде се, пре свега, мисли на хемијске процесе до којих долази у контакту са другим материјалима, при чему ти процеси могу бити корисни или штетни.

Поменуте основне особине материјала, у највећој мери зависе од хемијског састава и структуре самих материјала. Посебно је важно напоменути познавање наведених основних особина материјала, нарочито код њихове производње, како би се добили не само материјали који имају одређене, већ и захтеване особине. Према томе, познавањем ових особина проналази се технолошки процес производње којим се добија материјал жељених особина.

У овом раду је стављен акценат на топлотну проводљивост грађевинских материјала, употребу истих у топлотној изолацији и објашњење зашто су корисни и какве су бенефиције од коришћења таквих материјала. Стога ће рад већином бити конципиран на разматрању физицких особина.

2.1 Физичке особине материјала

Особине које дефинишу физичко стање материјала су:

- 1) специфична маса
- 2) запреминска маса
- 3) густина
- 4) порозност

1) Специфична маса представља масу јединице запремине материјала у “апсолутно густом стању” (без пора). Према томе, ако је маса материјала m у $[kg]$ а његова запремина у апсолутно густом стању V_a у $[m^3]$, специфична маса γ_s $[kg / m^3]$ је дефинисана изразом:

$$\gamma_s = \frac{m}{V_a} \quad (1.1)$$

2) Запреминска маса представља масу јединице запремине материјала у његовом природном стању, заједно са порама. Одређује се помоћу израза:

$$\gamma = \frac{m}{V} \quad (1.2)$$

где је:

γ $[kg / m^3]$ - запреминска маса
 m $[kg]$ -маса материјала
 V $[m^3]$ -запремина материјала

3) Густина неког материјала представља степен испуњености одређене запремине самим материјалом. Густина се може одредити помоћу израза:

$$q = 100 - p = \frac{\gamma}{\gamma_s} * 100\% \quad (1.3)$$

где је: q –густина у %
 p - порозност у %
 γ - запреминска маса
 γ_s - специфична запреминска маса

Густина потпуно непорозног материјала назива се теоријска густина и одређује се израчунавањем масе и запремине јединичне ћелије кристалног материјала. Добија се у $[kg / m^3]$ и практично је идентична са “специфичном” масом код непорозних материјала.

4) Порозност представља степен испуњености одређене запремине порама. Под порама се подразумевају празнине у чврстом материјалу различитог облика, величине и расподеле величина, које су испуњене ваздухом, неким другим гасом или водом. Њихова величина креће се у веома широком распону од 10^{-8} до 10^{-3} m. За одређивање порозности користи се следећи образац:

$$p = \left(1 - \frac{\gamma}{\gamma_s}\right) * 100\% \quad (1.4)$$

Овде је дефинисана такозвана укупна порозност која се састоји од “отворене” и “затворене” порозности. ”Отворена” порозност представља скуп отворених пора које се налазе у унутрашњости чврстог тела и имају везу са спољном околином. Називају се још и “каналне” поре. “Затворене” поре представљају поре које немају међусобног контакта, нити контакта са спољном атмосфером, а налазе се у маси чврстог материјала. Порозност чврстих материјала, који се користе у грађевинарству, креће се у широком распону од 0,1- 0,6% (код мермера и гранита), преко 70-85% (код термоизолационих опека) до преко 90% (код вештачких полимерних материјала). Од ове физичке особине зависи и читав низ других особина, као што су: механичке особине, водопроводљивост итд. Као изолациони материјали, према томе, користе се они материјали који имају високу порозност.

2.2 Физичке особине под дејством спољних утицаја

Овде се прави следећа подела:

-однос према дејству воде:

хигроскопност,
апсорпција воде,
пропустљивост воде,
омекшавање под дејством воде,

-однос према дејству топлоте:

топлотно ширење и скупљање,
топлотна проводљивост,
топлотни капацитет,
отпорност према дејству мраза,
ватросталност,
отпорност према дејству пламена,

-друге особине:

пропустљивост паре и гасова,
електропропустљивост,
отпорност према дејству радиоактивног зрачења итд.

2.2.1 Преношење топлоте

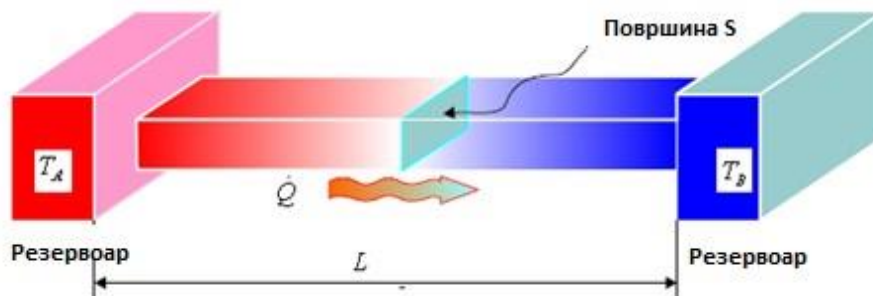
Позната су три основна начина преношења топлоте:

- 1) Приликом преношења топлоте провођењем (кондукцијом) долази до преноса топлоте са једног тела на друго и то без приметног кретања честица тела, у правцу кретања топлотног флукса, тј. са места више темпреатуре на место ниже температуре. Услов да се пренос топлоте одвија искључиво на овај начин је да тела, или делови тела, буду у непосредном контакту.
- 2) Пренос топлоте преношењем (конвекцијом) одвија се путем кретања појединих делова тела и то под дејством разлике у температурама.
- 3) Пренос топлоте зрачењем (радијацијом) је облик преноса топлоте са једног тела на друго тело, посредством кретања електромагнетних таласа у простору између та два тела (тела нису у непосредном контакту).

Сва три Поменута начина преношења топлоте могу се одвијати истовремено, али је увек један од њих доминантан.

2.2.1.1 Пренос топлоте провођењем

Неопходно је наћи начин повезивања провођења топлоте са осталим особинама (механичким, геометријским итд.). Решење овог проблема може се наћи у разматрању протока топлоте кроз проводну шипку постављену између два топлотна резервоара која се налазе на температурама T_A , T_B , као што је приказано на слици 2.1.



Слика 2.1. Провођење топлоте кроз проводну шипку постављену између два резервоара која се налазе на различитим температурама, на температури T_A и T_B , где је $T_A > T_B$. [3]

Логично је претпоставити да ће количина топлоте у јединици времена бити функција температура датих резервоара, геометрије проводне шипке и осталих особина проводне шипке:

$$\dot{Q} = f_1 (T_A, T_B, \text{геометрија и остале особине шипке}). \quad (1.5)$$

У физици се дефинише посебна класа извода коју чине временски изводи. Ознака за временски извод, која се често користи, је тачкица изнад симбола неке физичке величине. Такође је оправдано претпоставити да ће $\dot{Q}$ зависити од температурне разлике $T_A - T_B$. Ако је температурна разлика $T_A - T_B$ нула, тада би и топлотна проводљивост требала бити нула. Према томе, температурну зависност је могуће изразити као:

$$\dot{Q} = f_2 (T_A = T_B, T_A, \text{геометрија и остале особине шипке}). \quad (1.6)$$

Да би се нашао облик функције f_2 , треба да се уведе услов да када је $T_A = T_B$, $f_2 = 0$, користећи Мекларенов развој:

$$f(\Delta T) = f(0) + \left. \frac{\partial f}{\partial (\Delta T)} \right|_0 \Delta T + \dots \quad (1.7)$$

Ако се дефинише ΔT као $\Delta T = T_A - T_B$ и $f = f_2$ добија се:

$$f_2 (T_A - T_B) = \dot{Q} = f_2(0) + \left. \frac{\partial f_2}{\partial (T_A - T_B)} \right|_{T_A - T_B = 0} (T_A - T_B) + \dots \quad (1.8)$$

Познато је да $f_2(0) = 0$. Извод узет у $T_A = T_B$ (термална равнотежа) је величина која се може мерити. Очигледно је, из релације (1.8.), да је топлотни проток позитиван, $\dot{Q} > 0$, ако је температура резервоара А већа од температуре резервоара Б, тј. $T_A > T_B$, или ако је одговарајући извод топлотног протока по разлици температура одговарајућих резервоара, који се појављује у Маклореновом развоју, већи од нуле, $\frac{\partial f_2}{\partial (T_A - T_B)} > 0$.

Такође је логично претпоставити да би, ако би постојале две шипке исте површине које се налазе између резервоара као сто је приказано на слици 1.1, топлотна проводљивост била двоструко већа. Стога можемо претпоставити да

је $\dot{Q}$ пропорционална површини. Мерењем топлотног протока у зависности од дужине шипке, утврђено је да су ови квантитети у обрнутој сразмери. Све ово води према уопштењу који је увео Фурије, да за проводну шипку, извод у једначини (1.8.) има облик:

$$\left. \frac{\partial f_2}{\partial (T_A - T_B)} \right|_{T_A = T_B} = \frac{\lambda S}{L} \quad (1.9)$$

У једначини (1.9.) λ је фактор пропорционалности, који је функција материјала и температуре, S је попречни пресек, а L је дужина проводне шипке. Ако се на растојању Δx између две тачке на шипци дужине L , која спаја резервоаре А и Б који се налазе у стању блиском термодинамичкој равнотежи, деси промена температуре ΔT , израз за топлотни проток постаје:

$$\dot{Q} = \lambda S \frac{T_A - T_B}{L} = - \lambda S \frac{T_B - T_A}{L} = - \lambda S \frac{dT}{dx} \quad (1.10)$$

Где је: $S [m^2]$ - површина пресека нормална на правац преноса топлоте

$\frac{dT}{dx}$ - градијент температуре

λ - коефицијент провођења топлоте у $[W / m \text{ } ^\circ C]$. Према томе, коефицијент ламбда означава количину топлоте израђену у џулима, коју у јединици времена пропусти слој неког материјала јединичне дебљине, и то управо на његову јединичну површину, ако разлика температуре у стационарном стању између граничних површина материјала износи $1 \text{ } ^\circ C$.

Преведена количина топлота по јединици површине у јединици времена, дефинисана је као:

$$\frac{\dot{Q}}{S} = \dot{q} \quad (1.11)$$

Величина $\dot{q}$ се назива топлотни флуks у јединици времена, и има јединицу $[W / m^2]$.

Замењујући једначину (1.10.) у једначину (1.11.) Добија се:

$$\dot{q} = - \lambda S \frac{dT}{dx} \quad (1.12)$$

Ово је једнодимензиони облик Фуријеовог закона за топлотну проводљивост.

У општем случају, топлотна проводљивост је тензорског облика, па би и облик Фуријеовог закона у том случају био:

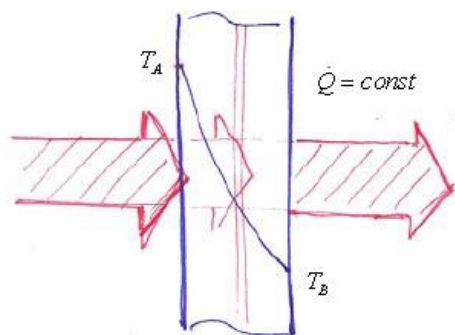
$$\begin{pmatrix} \dot{q}_x \\ \dot{q}_y \\ \dot{q}_z \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} \lambda_{xx} & \lambda_{xy} & \lambda_{xz} \\ \lambda_{yx} & \lambda_{yy} & \lambda_{yz} \\ \lambda_{zx} & \lambda_{zy} & \lambda_{zz} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial T}{\partial x} \\ \frac{\partial T}{\partial y} \\ \frac{\partial T}{\partial z} \end{pmatrix} \quad (1.13)$$

Материјали као нпр. кристали имају изражену анизотропију, па ће сходно томе и топлотна проводљивост ових материјала бити анизотропна, тј. провођење топлоте у једном смеру може да буде веће него у другом смеру. Споменуто је већ да је топлотна проводљивост функција температуре и, у општем случају, код гасова са повећањем температуре се повећава λ , док код флуида и у чврстим телима опада са повећањем температуре.

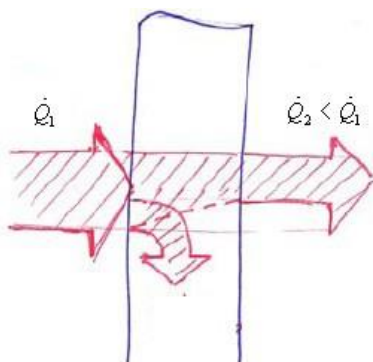
2.2.1.2 Стационарно једнодимензионо провођење

Температурно поље је одређено простором и временом. У случају када је температура у свим тачакама иста, имамо изотермно температурно поље. Можемо дефинисати стационарно и нестационарно температурно поље.

- Стационарно температурно поље је оно у којем се температура на посматраној изотермној површи не мења у току времена, и функција је само просторних координата: $T = f(x, y, z)$. Према томе, пренета количина топлоте у јединици времена је стална величина.
- Нестационарно температурно поље је оно у којем се температура мења у посматраној области у току времена, а температура зависи од просторних координата и времена: $T = f(x, y, z, t)$.



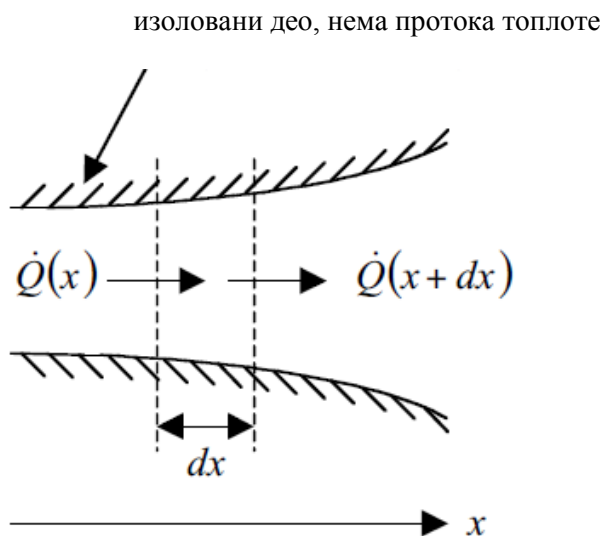
Слика 2.2 Приказ стационарног провођења. У овом случају се не мења профил температурног поља са временом[3]



Слика 2.3 Приказ не стационарног провођења. Услед сталног прилива енергије, температура тела се мења, током времена мења се и профил температурног поља[3]

Највећи пад температуре по јединици дужине добија се у смеру нормалном на изотермну површ. Та разлика температуре назива се градијент температуре.

Уочимо у телу танак слој дебљине dx унутар изотермне површи (слика 2.4.). Како је процес стационаран, улазна количина топлоте у јединици времена мора бити једнака излазној количини.



Слика 2.4 Стационарно провођење топлоте кроз хомоген материјал у смеру нормалном на изотермну површ[4]

Улазна количина топлоте у јединици времена према једначини (1.10.) Је:

$$\dot{Q}(x) = -\lambda \left(S \frac{dT}{dx} \right)_x . \quad (1.14)$$

Количина топлоте у јединици времена која прође кроз дебљину dx је према томе:

$$\dot{Q}(x+dx) = \dot{Q}(x) + \left. \frac{d\dot{Q}}{dx} \right|_x dx + \frac{1}{2!} \left. \frac{d^2\dot{Q}}{dx^2} \right|_x dx^2 + \dots \quad (1.15)$$

Занемарујући више чланове, и узимајући у обзир стационарност процеса, разлика једначина (1.14.) и (1.15.) треба да буде 0.

$$\dot{Q}(x) - \left(\dot{Q}(x) + \left. \frac{d\dot{Q}}{dx} \right|_x dx \right) = 0 \quad (1.16)$$

Узимајући граничну вредност када dx тежи нули добија се:

$$\frac{dQ(x)}{dx}=0 \quad (1.17)$$

Замењујући израз за $\dot{Q}$ из једначине (1. 10.), добија се:

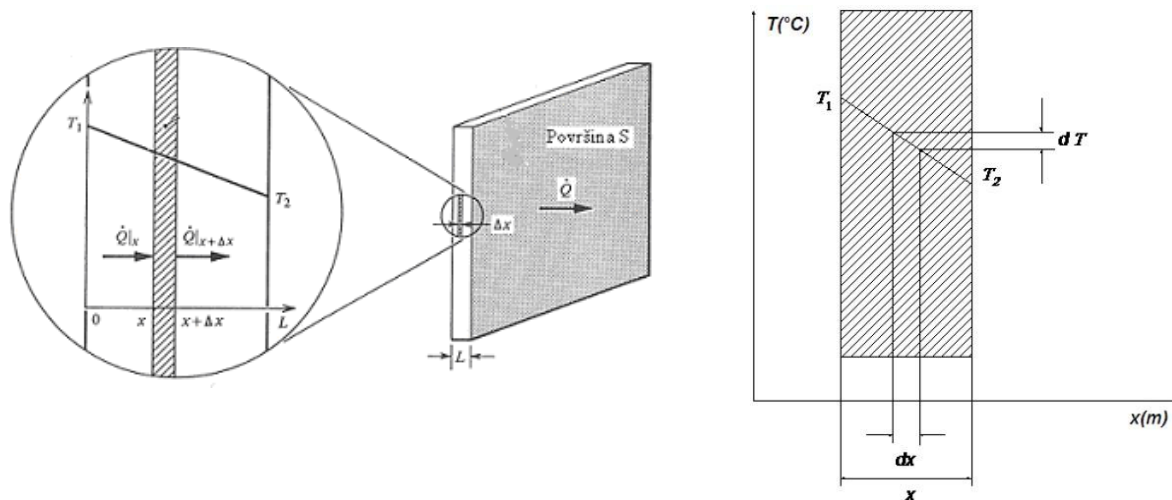
$$\frac{d}{dx} \left(\lambda S \frac{dT}{dx} \right) = 0 \quad (1.18)$$

$$S \frac{d\lambda}{dx} \frac{dT}{dx} + \lambda \frac{dS}{dx} \frac{dT}{dx} + \lambda S \frac{d^2T}{dx^2} = 0 \quad (1.19)$$

Ова једначина описује температурно поље за квази-једнодимензиони стационарну топлотну проводљивост. Анализирана је у случају хомогеног материјала, у наставку рада неопходног за даљу анализу једнослојног равног хомогеног зида, а затим и вишеслојног.

2.2.1.3 Провођење топлоте кроз једнослојни зид

Сада се може применити претходна једначина на раван хомоген зид приказан на слици 2.5



Слика 2.5 Стационарна 1D кондукција кроз раван зид[4]

Смер преноса топлоте је нормалан на изотермну површ. Површина није функција од x , тј. $S = \text{const}$ и узима се да је коефицијент топлотног провођења λ такође константан (јер је он функција температуре, што је већ и раније споменуто, али на њега утиче и влажност ваздуха и димензија пора), према томе једначина (1.19.) се своди на:

$$\lambda S \frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \quad (1.20)$$

Након дељења са λS добија се:

$$\frac{d^2 T}{dx^2} = 0 \quad (1.21)$$

Интеграцијом овог израза добија се:

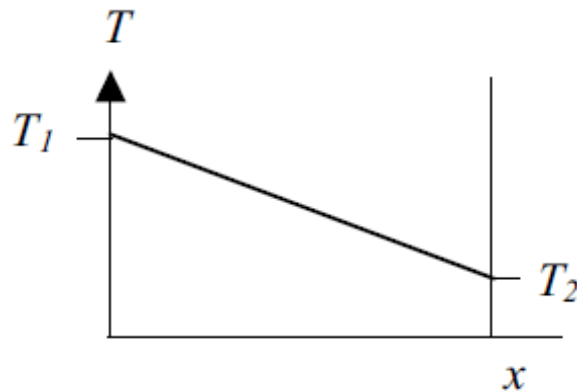
$$\frac{dT}{dx} = a \quad \text{тј.} \quad T = ax + b. \quad (1.22)$$

Ова једначина описује температурно поље зида. У једначини (1.22) a и b су интеграционе константе. Да би се одредиле ове константе, треба увести следеће граничне услове $T(0) = T_1$ и $T(L) = T_2$. Из првог услова $T(0) = T_1$ добија се да је $b = T_1$, а други услов $T(L) = T_2$ даје:

$$T_2 = a L + T_1, \text{ тј. } a = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (1.23)$$

Заменом израза за a и b у (1.22.) добија се:

$$T_x = T_1 + \left(\frac{T_2 - T_1}{L} \right) x \quad (1.24)$$



Слика 2.6 Температурни профил кроз раван зид[4]

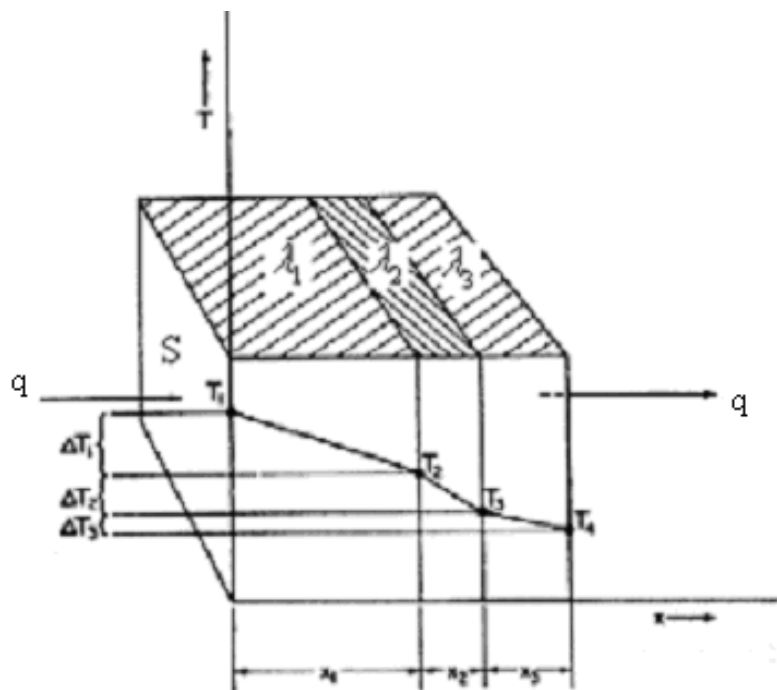
Топлотни флуks у јединици времена је дат једначином (1.12.) и узимајући у обзир да је $S = \text{const}$ и да је узето такође $\lambda = \text{const}$ добија се

$$\dot{q} = - \lambda S \frac{dT}{dx} = - \lambda \left(\frac{T_2 - T_1}{L} \right) = \text{const} \quad (1.25)$$

Према томе, кроз раван хомоген зид, промена температуре је линеарна функција растојања кроз зид. Следи да у изразу за топлотни флуks у јединици времена сада фигуришу само константе. Према томе, и топлотни флуks у јединици времена је константан.

2.2.1.4 Провођење топлоте кроз вишеслојни зид

Сада ће се размотрити случај када се топлота преноси кроз систем који се састоји од вертикалних паралелних слојева. Сваки појединачни слој представља посебан материјал и има одређену дебљину као што је приказано на слици 2.7. И овде ће се разматрати стационарно провођење топлоте.



Слика 2.7 Провођење топлоте кроз вишеслојни зид[4]

Узимајући у обзир једначину (1.25.), може се добити количина топлоте која прође кроз сваки слој појединачно. Уочава се да је код једнослојног зида топлотни флуks константна величина, и замењујући је у једначину (1.11.) након интегралења и примене граничних услова:

$$Q_1(T_2) = Q_2(T_2)$$

$$Q_2(T_3) = Q_3(T_3)$$

...

$$Q_{n-1}(T_n) = Q_n(T_n) \quad (1.26)$$

добија се:

за први слој:

$$Q_1 = \frac{\lambda_1}{L_1} (T_1 - T_2) S_1 t \quad (1.27)$$

за други слој:

$$Q_2 = \frac{\lambda_2}{L_2} (T_2 - T_3) S_2 t \quad (1.28)$$

за n-ти слој:

$$Q_n = \frac{\lambda_n}{L_n} (T_{n-1} - T_n) S_n t \quad (1.29)$$

Наведене релације, које представљају примену Фуријеовог закона на једнослојне и вишеслојне зидове, имају значајну примену код израчунавања провођења топлоте, односно топлотног флукса, потребне дебљине зидова са одређеним коефицијентом топлотне проводљивости итд.

2.2.1.5 Коефицијент пролаза топлоте, K

Као једна битна особина изолационих материјала, често се уместо топлотне проводљивости користи коефицијент пролаза топлоте. То је величина која у јединици времена прође кроз јединичну површину одређене дебљине, када је температурна разлика јединична. Према томе, ако се узме да је дебљина материјала x [m], топлотна проводљивост λ [W / m^0C], коефицијент пролаза топлоте K ће бити:

$$K = \frac{\lambda}{x} \quad (1.30)$$

Јединица коефицијента је [$W / m^2 ^0C$].

Ако топлота пролази кроз систем који чини више материјала поређани један до другог, као што је то анализирано у претходном поглављу, тада се Фуријеова једначина може применити на сваки слој посебно. У случају стационарног провођења, иста количина топлоте пролази у јединици времена кроз сваки слој.

$$\dot{Q} = \frac{\lambda_1}{x_1} S_1 \Delta T_1 = \frac{\lambda_2}{x_2} S_2 \Delta T_2 = \frac{\lambda_3}{x_3} S_3 \Delta T_3 = \dots \quad (1.31)$$

Ако су површине једнаке: $S_1 = S_2 = S_3 = \dots$

$$\dot{Q} = \frac{\lambda_1}{x_1} S \Delta T_1 = \frac{\lambda_2}{x_2} S \Delta T_2 = \frac{\lambda_3}{x_3} S \Delta T_3 = \dots \quad (1.32)$$

Даље се може написати као:

$$S \Delta T_3 = \dot{Q} \frac{x_3}{\lambda_3} \qquad S \Delta T_2 = \dot{Q} \frac{x_2}{\lambda_2} \qquad S \Delta T_1 = \dot{Q} \frac{x_1}{\lambda_1}$$

Узимајући суму ових једначина добија се:

$$S(\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \dots) = \dot{Q} \left(\frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \dots \right) \quad (1.33)$$

Сума температурне разлике кроз слојеве је једнака температурној разлици два спољашња слоја сложеног система:

$$\Delta T_1 + \Delta T_2 + \Delta T_3 + \dots = \Delta T \quad (1.34)$$

Коефицијент пролаза топлоте K дефинисан је као λ/x , према томе добија се:

$$\frac{x_1}{\lambda_1} + \frac{x_2}{\lambda_2} + \frac{x_3}{\lambda_3} + \dots = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2} + \frac{1}{K_3} + \dots = \frac{1}{U} \quad (1.35)$$

где је U укупни коефицијент пролаза топлоте сложеног система у $[W / m^2 \text{ } ^\circ C]$. Добија се израз за сложен систем:

$$\dot{Q} = US\Delta T \quad (1.36)$$

У пракси се топлотна проводљивост врло често оцењује на бази запреминске масе материјала. Коефицијент топлотне проводљивости расте са повећањем запреминске масе, а то значи да опада са повећањем порозности материјала.

Коефицијент λ се може приказати емпиријским обрасцем:

$$\lambda_T = \lambda_0 (1 + 0,005T) \quad (1.37)$$

где је: λ_T - коефицијент топлотне проводљивости на температури T

λ_0 - исти коефицијент за $T=0^\circ C$

Овај образац важи само за температуре до $100^\circ C$. Физички би очекивали $1/273$ уместо коефицијента $0,005$. Ипак, без даљег објашњења овај емпиријски израз се користи у литератури, због тога се и овде тај облик оставља.

Влага која улази у поре материјала повећава његову топлотну проводљивост, пошто је за воду $\lambda=0,85 \text{ W/m}^\circ C$, док смрзавање воде у порама још више повећава топлотну проводљивост јер је $\lambda=2,3 \text{ W/m}^\circ C$ за лед.

Посебан случај преношења топлоте представља топлотно преношење комбинацијом 2 механизма: кондукцијом и конвекцијом, односно провођењем и мешањем. То је нпр. случај преношења топлоте кроз грађевинске елементе изграђене од било ког материјала, који садржи у себи одређене шупљине, односно између 2 флуида који су међусобно раздвојени зидом. У том случају, топлота се кроз чврст материјал преноси провођењем, а кроз гасовит (шупљине испуњене ваздухом) мешањем. Показало се да топлотна проводљивост зависи и од димензија пора јер у порама малог пречника ваздух мирује, док у порама већих димензија долази до кретања ваздуха чиме се повећава топлотна проводљивост. Нпр. Показало се да на $T = 0^{\circ}\text{C}$ топлотна проводљивост ваздуха у порама пречника 3 mm је скоро два пута већа него у порама пречника $0,5\text{ mm}$. При температури до 100°C овај однос износи 1: 3.

Ова размена топлоте се карактерише коефицијентом пролаза топлоте K , због чега је увођење ове величине веома корисно.

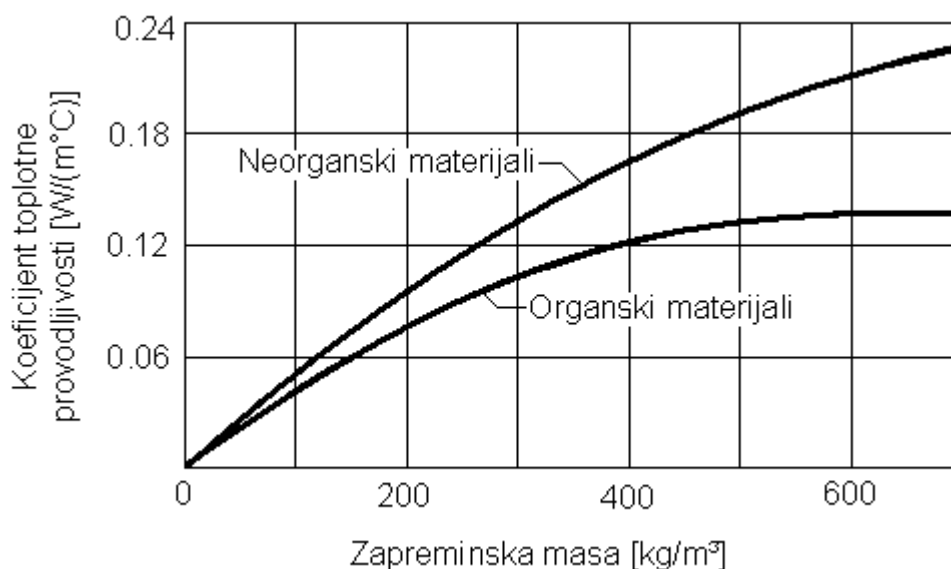
3 Општи услови за термоизолационе материјале

Термоизолациони материјали треба да имају високу порозност и да по могућности представљају супстанце аморфне структуре. Овај закључак произилази из чињенице да кристална тела веома добро проводе топлоту. Основни услов високе порозности код термоизолационих материјала подразумева само присуство пора у виду ситних ваздушних ћелија или танких слојева ваздуха, пошто се у већим празним просторима испуњеним ваздухом топлотна проводљивост материјала јако повећава услед преноса топлоте конвекцијом и зрачењем.

За добијање материјала тзв. ћелија структуре (гас-бетони, пено-бетони, порозне пластичне масе) примењују се технологије у оквиру којих долази до ослобађања одређених гасова и до надимања масе материјала у фази производње, а такође и поступком довођења још неочврслих материјала у пенасто стање. Широку примену имају и поступци који подразумевају да се у фази производње праве мешавине компонената са већим количинама воде, тако да се кроз поступке сушења и печења добије повећана порозност финалног продукта. Формирање влакнастог скелета је основни начин за добијање високе порозности влакнастих термоизолационих материјала (стаклена вуна, минерална вуна и сл.). У оваквим случајевима термоизолациони материјали се добијају поступком извлачења из растопа у врло танке нити или путем распршивања млаза растопа у релативно кратка, али врло танка влакна. У првом случају добијају се влакна и тзв. воали, док се у другом случају добијају материјали типа "вуне".

Као што је напред речено, велики значај у односу на порозност термоизолационих материјала има равномеран распоред и карактер пора у њима. Тежи се добијању материјала са ситним порама затвореног типа. У случају оваквих пора ваздух се не креће, па се тако добијају повољнији ефекти термичке заштите.

Запреминска маса представља главни параметар који одређује топлотну проводљивост па тиме и термоизолациона својства материјала. Уочава се да се вредност коефицијента топлотне проводљивости λ повећава са повећањем запреминске масе γ (слика 3.1). Треба напоменути да приказане вредности коефицијента λ одговарају потпуно сувим материјалима. У случају влажних материјала, топлотна проводљивост се значајно мења, што утиче на погоршавање термоизолационих карактеристика материјала. Вредности коефицијената топлотне проводљивости λ материјала приказани су у табели 3.1, док је на слици 3.2 приказана класификација термоизолационих материјала на основу порекла сировине за производњу.



Слика 3.1 Функционална зависност коефицијента топлотне проводљивости материјала λ и запреминске масе γ [2]

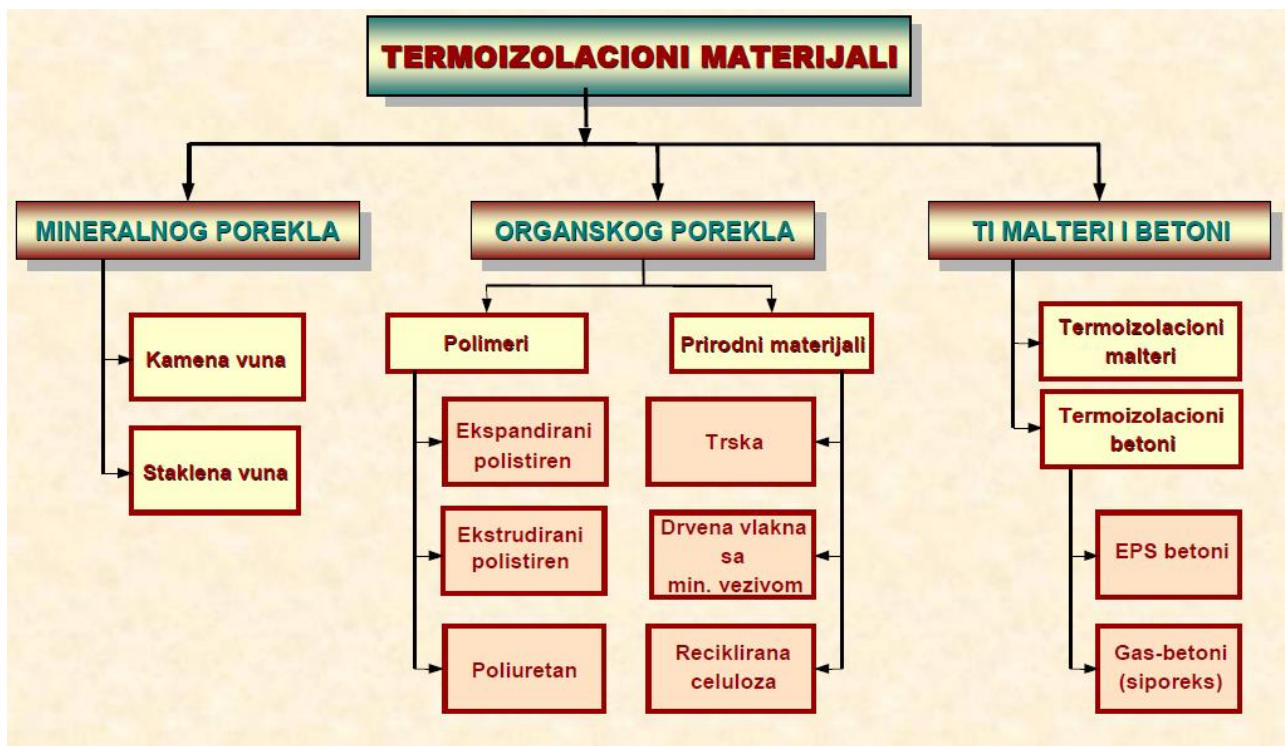
Поред топлотне проводљивости, односно запреминске масе, као још једна карактеристика термоизолационих материјала јавља се чврстоћа. Она је у поређењу са другим материјалима врло мала. Нпр. Чврстоћа при притиску термоизолационих материјала креће се најчешће од 0,2 до 2,5 МПа, а чврстоћа при савијању 0,15-2,0 МПа.

Термоизолациони материјали треба да задовољавају и следеће додатне услове:

- да имају мало упијање воде,
- да буду постојани на повишеним температурама,
- да имају задовољавајућу проводљивост паре и гасова (потребно је да термоизолациони материјали дифундују гас и пару, али у случајевима када је са једне стране термоизолационог слоја присутна изузетно влажна атмосфера, термоизолацију треба штитити хидроизолацијом која се поставља са топле стране),
- да су отпорни на дејство пожара,
- да су отпорни на дејство мраза,
- да имају задовољавајућу хемијску и биолошку постојаност.

Табела. 3.1 Вредности коефицијената топлотне проводљивости материјала [1]

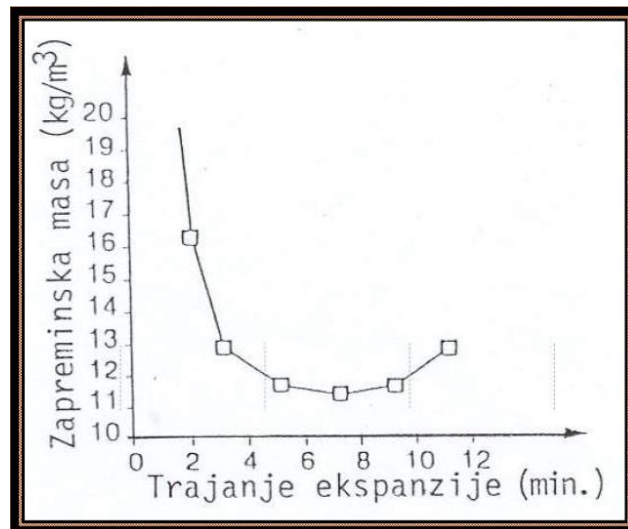
Naziv	Grupa	Zapreminska masa [kg / m ³]	Koeficijent toplotne provodljivosti [W / m ⁰ C]
Obična opeka	Građevinska keramika	1800	0,8
Puna opeka		1700-1900	0,56-0,61
Šuplja opeka i šuplji blokovi		1000-1600	0,32-0,42
Cigla-fasadna opeka		1760	0,7
Giter blok		1200	0,22
Običan beton	Beton	2400	2
Durisol	Lakoagregatni beton	400-800	0,10-0,25
Tarolit i heraklit		350-450	0,25-0,30
Jednozrni-kaverozni betoni	Laki beton	1600-1800	0,55-0,80
Gasobetoni	Čelijasti betoni	500-700	0,14-0,20
Penobetoni		300-1200	
Krečni malter	Malteri za zidanje	1700	0,85
Produžni malter		1800	0,87
Cementni malter		2100	1,4
Azbestni cement		890	0,17
Termoizolacioni malter		600	0,19
Ploče od gipsa		1000	0,5
Ekspandirani perlit	Veštački agregat	100-500	0,052-0,07
Ekspandirani vermikulit		50-200	
Mineralna vata		400	0,05
Azbestna vlakna		200-1200	0,07-0,20
Mineralna vuna		35-250	0,04-0,14
Jela, bor	Četinari	500-600	0,14
Hrast	Listopad	700-800	0,21
Bukva		800	0,2
Meki lesonit	Drvo	200-400	0,05-0,07
Tvrđi lesonit		cca1000	cca 0,20
Ploče iverice		cca 600	cca 0,10
Panel ploče		400-600	0,08-0,12
Ploče od plute		100-200	0,02-0,04
Ploče od prošivene trske	Materijali biljnog porekla	800	0,05
Ploče od prošiene slame		300-350	0,09
Stiropor-ekspandirani polistirol	Poroplast	25-40	0,03-0,05
Poliuretan	Plastične mase	30-500	0,02
Sačaste plastične mase		30-120	0,05-0,06
Penoplasti		15-50	0,08
Parna brana			0,21
Vazduh		1,204	0,023
Zemlja		320	0,7



Слика 3.2 Класификација термоизолационих материјала на основу порекла сировине за производњу[11]

4 Термоизолациони материјали органског порекла на бази полимера

Материјали познати под општим називом стиропор представљају синтетички материјал типа полистирена који се јавља у два основна модалитета-као експандирани и као екструдирани полистирен. У оба случаја ради се о материјалу који се добија на бази нафтних деривата, при чему су разлике између поменутих модалитета превасходно резултат различитих технолошких поступака који се примењују при њиховом добијању. У оба случаја основа за добијање поменутих материјала је иста; то су тврде компактне грануле полистирена, при чему се екструдирани полистирен може добити и од такозваног кристалног полистирена.

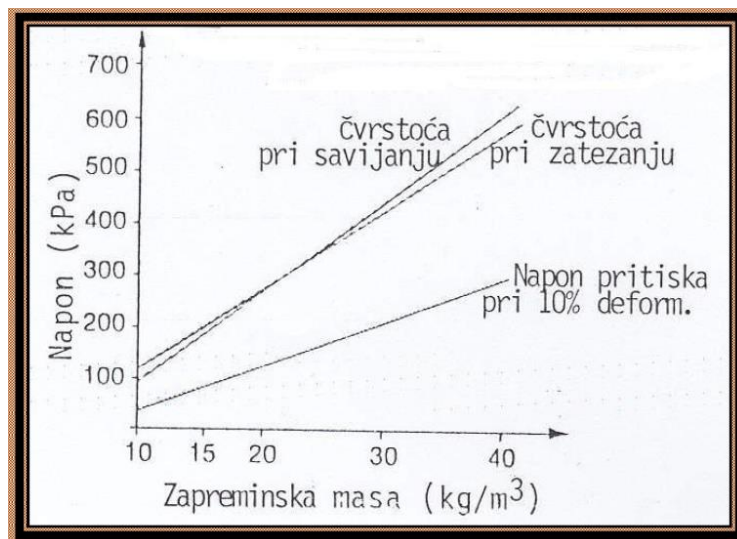


Слика 4.1 Зависност запреминске масе EPS-a од трајања експанзије[5]

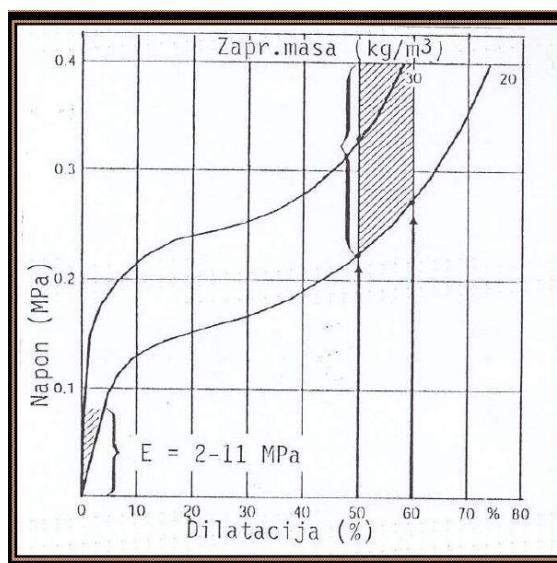
Стиропор (EPS), као што је већ речено, представља експандирани термопластиран материјал добијен полимеризацијом стирена. Он се обично класификује као порозан материјал затворене-алвеоларне структуре. Код EPS-a добијеног у калупима, величина унутрашњих ћелија је између 60-200 милиметара, док се код екструдираног EPS-a та величина креће између 150-500 милиметара. Дебљина зидова између ћелија зависи од запреминске масе и величине ћелија. Тако на пример на запреминску масу од 15 kg/m^3 и величину ћелије од 100 милиметара, дебљина зида износи око 0,4 милиметра. EPS у себи садржи 98% ваздуха и 2% полистирена. Његова запреминска маса је између $10\text{--}30\text{ kg/m}^3$ –за EPS добијен у калупима, док је за екструдирани уобичајена вредност запреминске масе 33 kg/m^3 , мада она може да иде и до 45 kg/m^3 .

Zapreminska masa (kg/m ³)	15	20	30	40
Napon pritiska pri 10% deformacije (MPa)	0,060-0,110	0,100-0,160	0,180-0,250	0,260-0,350
^vrsto}a pri savijanju (MPa)	0,160-0,220	0,210-0,330	0,380-0,520	0,570-0,680
^vrsto}a pri zatezanju (MPa)	0,160-0,240	0,215-0,330	0,350-0,520	0,520-0,660

Табела 4.1 Механичка својства EPS-a[5]

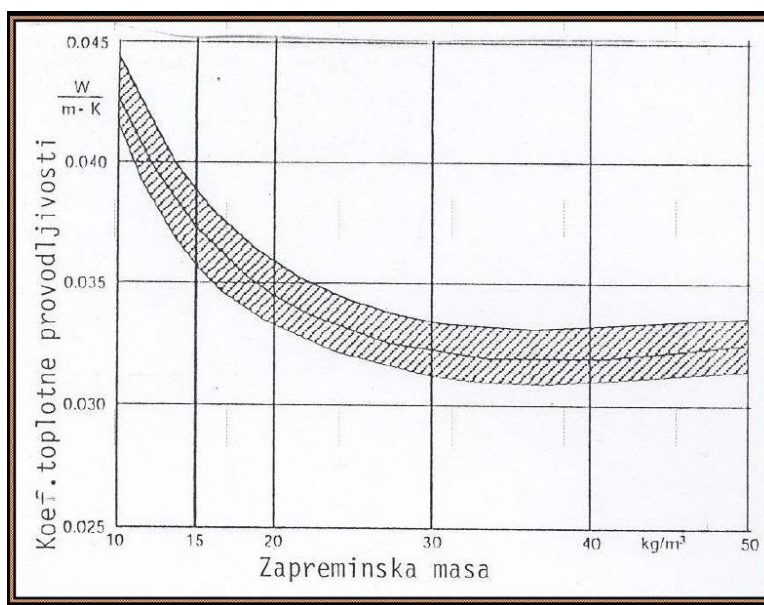


Слика 4.2 Механичке карактеристике стиропора у зависности од запреминске[5]



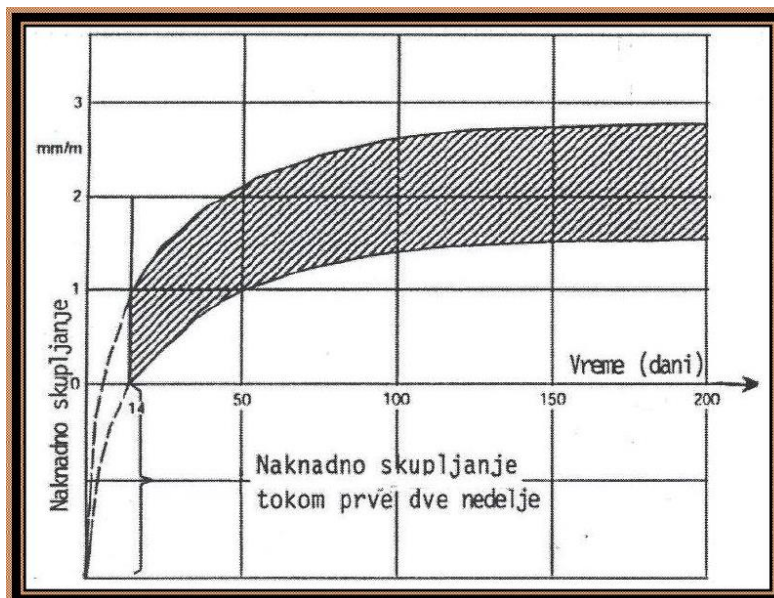
Слика 4.3 Радни дијаграм стиропора[5]

EPS се као што се види одликује малом запреминском масом (слика 4.1), релативно добрим механичким чврстоћама (табела 4.1 и слике 4.2, 4.3), одличним изолационим својствима, малом апсорпцијом воде и веома малом пропустљивошћу водене паре. Структура затворених ћелија испуњених ваздухом, као и хидрофобност основног полимера, чине да је EPS отпоран према деловању воде. Другим речима, због система затворених ћелија EPS капиларно не упија воду. Вода продире једино у просторе између ћелија; због тога интензитет упијања зависи од квалитета затворености ћелија. EPS, као и свака термопластична маса, има својства која зависе од температуре. Иначе, EPS је слаб проводник топлоте, с тим што његова термичка проводљивост варира у зависности од садржаја влаге, при чему важи правило да се за сваки проценат апсорбоване влаге, коефицијент топлотне проводљивости повећава за 3,8%, што значи да се термоизолациона својства погоршавају.



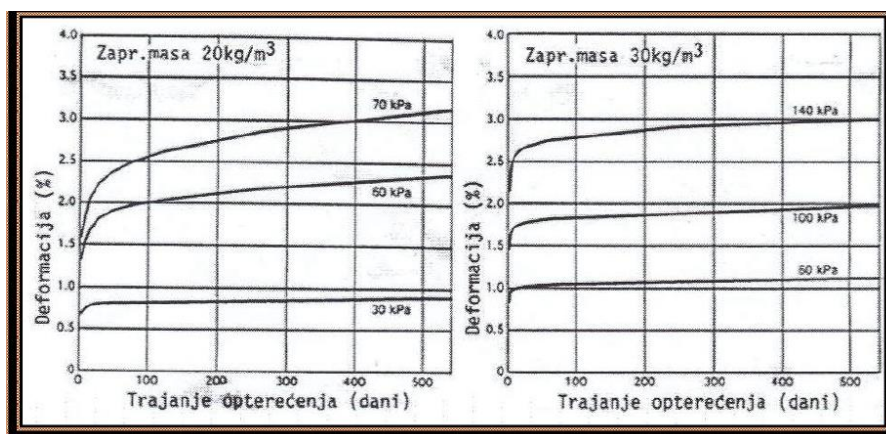
Слика 4.4 Зависност коефицијента термичке проводљивости стиропора од запреминске масе[5]

Апсорпција воде при потапању *EPS-a* у трајању од 28 дана износи 3-5%. Ова карактеристика *EPS-a* је практично независна од запреминске масе, али свакако зависи од процеса производње, пошто вода може да пенетрира само кроз уске канале између ћелија. Што се тиче накнадног скупљања *EPS-a*, оно је углавном последица губитка агенса за експанзију, при чему оно исто тако зависи од запреминске масе материјала, времена одлеђавања, типа структуре... Димензионалне промене *EPS-a* које се манифестују после више од 24h од експандирања и називају накнадним скупљањем имају вредност 0,3-0,5%, зависно од запреминске масе сировине. Овде су приказане димензионалне промене *EPS-a* од 14 дана након производње до 200 дана. Као што се види, коначне вредности се достижу после 150 дана и крећу се у опсегу од око 1,5-2,0 mm/m. Ове димензионалне промене су, насупрот димензионалним температурним променама, неповратне.



Слика 4.5 Деформације скупљања стиропора[5]

Треба истаћи да укупно скупљање на датом примеру панела *EPS-a* представља суму скупљања у оквиру блока у калупу, накнадног скупљања истог блока и накнадног скупљања панела-плоче исечене из предметног блока. О свему овоме се мора водити рачуна.



Слика 4.6 Деформације течења стиропора под напонима притиска[5]

Хемијска својства *EPS-a* слична су својствима која поседује обичан полистирен. Наиме, *EPS* је отпоран на воду, разблажене киселине и базе, алифатичне алкоhole, гликоле и полигликоле, а неотпоран је на ароматичне угљоводонике, аminer, амиде, кетоне и естре.

Agens	Otporan	Ograni~eno otporan ⁽¹⁾	Neotporan ⁽²⁾
cement, kre~, malter, beton	x		
morska voda	x		
alkohol, soda, amonijak	x		
silikoni, sapuni, ve{ta~ka ubriva	x		
razbla`ene kiseline	x		
vazelin, jestivo ulje, benzin		x	
aceton, benzen, stiren, trihloretilen, cikloheksan			x
te~na goriva			x
bituminozni mastiksi sa rastvara~ima, katran			x
bitumen, mastiksi, bituminizirane vodene ili uljane emulzije	x		
sredstva za beljenje (hlorna voda, hipohlorit, vodonikperoksid)	x		

Napomena: ¹⁾ povr{insko nagrizaње; ²⁾ nagrizaње i razgradnja

Табела 4.2 Отпорност стиропора према деловању хемијских агенаса[11]

Биолошка отпорност

EPS је отпоран на гљивице и бактерије. Будући да нема хранљиву вредност, он не привлачи мраве, термите и глодаре. Није подложен труљењу нити другим облицима корозије, није растворан у води, тако да не даје у води растворене производе који би могли да контаминирају воду. Како производња стиропора датира око 50ак година, за то време нису примећени никакви штетни утицаји на здравље људи.

Отпорност на радијацију

Након кратког излагања *UV* зрацима, *x* зрацима а и *g* зрацима констатовано је да стиропор постаје крт. Овај процес свакако зависи од врсте зрачења, његовог интензитета и времена. Тако на пример, после дужег излагања *UV* зрацима површина *EPS* постаје крта, што омогућава даље оштећење.

Термичка отпорност

Што се тиче утицаја температуре на стиропор, практично не постоји доња граница за његову примену. Што се, ипак, тиче повишених температура, постоји податак да се до 85°C стиропор не разграђује, а да може поднети и краткотрајне температуре преко 100°C. Међутим, дужа излагања високим температурама доводе до његовог омекшавања и синтеровања.

Горивост

Као већина органских материја и стиропор је запаљив. При његовом сагоревању производи који се ослобађају су следећи: угљенмоноксид, угљендиоксид и вода. EPS због мале масе по јединици запремине ослобађа при горењу минималну количину топлоте и тако ствара мала пожарна оптерећења. Приликом горења, примећује се топљење материјала без капљања. Том приликом се према важећим стандардима бележи дужина изгорелог дела, време горења до момента гашења, брзина горења. Посебни додаци који се додају за постизање својства самогоривости стиропора делују по принципу ловца радикала. Наравно, понашање према горењу зависи од тога да ли је стиропор произведен без додатака или са специјалним додатком за обезбеђење самогоривости. У таквим случајевима стиропор се означава ознаком S. Што се пак тиче токсичности продукта сагоревања, установљено је да се при горењу EPS-а ствара много мање опасног угљенмоноксида него код горења дрвених и сличних производа.

4.1 Екструдирани полистирен(ХПС)

Основна својства

- доминантна је затворена порозност
- мала паропропустљивост
- изразито мало упијање воде

Процес производње се састоји из:

- екструзије
- обраде табли

Процес почиње у уређају за дозирање гранулираних и прашкастих компоненти. Смеша се даље у првом екструдеру греје и топи, при томе се уводи погонски гас. Хомогеност смеше има значајног утицаја на квалитет производа. Даље, у другом екструдеру врши се хлађење и темпирање растопа и дефинитивна хомогенизација у статичком миксеру, који је саставни део екструдера. Потхлађена маса улази у широку дизну са тачно одређеним параметрима температуре и притиска. Из дизне маса прелази у калибратор који јој даје форму траке. Трака се хлади да би очврсла, јер само чврста трака може добро да се сече и обрађује. Пре отпреме материјал мора да одлежи најмање 7 дана.

4.2 Термоизолациони материјали органског порекла на бази полимера

Полистирен (полистирол) се добија полимеризацијом мономера "стирола". Стирол је безбојна течност, нерастворљива у води, али растворљива у органским растварачима (Шпиритус, етер итд.) У току процеса добијања полистирена додају се различити адитиви и пентан као средство за експанзију. Полимеризацијом се добијају компактне грануле полистирена, пречника 0.2-3mm. Грануле пречника 0.2-1 mm користе се за добијање амбалаже за паковање. Крупније грануле (1-3 mm) користе се за добијање материјала за термоизолацију:

- експандираног полистирена (ЕПС) и
- екструдираниог експандираног полистирена

Процесом експандирања производи се:

- невезане грануле ЕПС-а,
- обликовани ЕПС.

Процес производње невезаних гранула ЕПС-а састоји се у загревању компактних гранула полистирена помоћу воде температуре 980°C или прегрејане водене паре $T = 1100^{\circ}\text{C}$. Том приликом долази до повећања запремине материјала за 50-60 пута и стварања тзв. алвеоларне структуре - затворених ћелија пречника 60-200 mm.

Основна својства

Физичка својства

γ [kg/m ³]	λ [w/mK]
10-30	0.028-0.040

Табела 4.3 Вредности параметара[11]

- порозност до 98 процената
- доминантна затворена порозност
- постојаност на температурама до 80 степена

Предности:

- мала запреминска маса
- низак коефицијент топлотне проводљивости
- мало упијање воде и веома мала пропусност водене паре
- релативно добра мејаничка својства
- материјал са ниским пожарним оптерећењем
- самогасивост
- отпоран на гљивице, микроорганизме и бактерије
- могућност потпуног рециклирања

Недостаци

- дробљивост
- кртост
- мала отпорност на дејство мраза
- мала отпорност на UV зрачење
- неотпоран на неорганске раствараче, течна горива и њихова испарења, неорганске киселине, амонијак, сумпордиоксид...

Производи од ЕПС-а:

- невезане грануле
- различите врсте плоча: једнослојне и комбиноване са лесонитом, иверицом, алуминијумом и другим материјалима

Примена:

- као агрегат за справљење лакоагрегатног бетона
- као додатак глини за производњу керамичких термоблокова
- термоизолација зидова
- изолацију равних и косих кровова
- за израду насипа у путоградњи

5 Термоизолациони материјали минералног порекла

5.1 Камена(минерална) вуна

Камена или минерална вуна састоји се од стакластих влакана и стврднутих капи силикатног растопа. Добија се топљењем мешавине природних минералних стена. Основне сировине су стене магматског порекла: базалт, дијабаз, габро и андезит. Коректори састава и топитељи су:

- стене седиментног порекла: кречњаци, кречњаци са примесом доломита, доломити и глина
- топионичке згуре: згура куполастих пећи, згуре Сименс-мартинових пећи, згура високих пећи

Основна својства

Хемијска својства

SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	TiO_2	K_2O
42-44.5	9-22.5	14-16.5	6.5-7.2	7-9.2	2.5-3	1-1.4	0.4-0.6

Табела 5.1 Хемијски састав у процентима[11]

- хемијски инертан материјал
- постојана на утицај воде, водене паре и различитих једињења изузев флуора,

Физичка и механичка својства

γ [kg/m ³]	λ [w/mK]
45-160	0.035-0.041

Табела 5.2 Вредности параметара[11]

- дебљина влакана 5-7 μm
- изразито велика порозност
- доминантна отворена порозност
- изразито велика способност упијања воде

- пропустљивост влаге
- постојаност на високим температурама
- добра апсорпција звука
- мала отпорност на дејство мраза

Предности

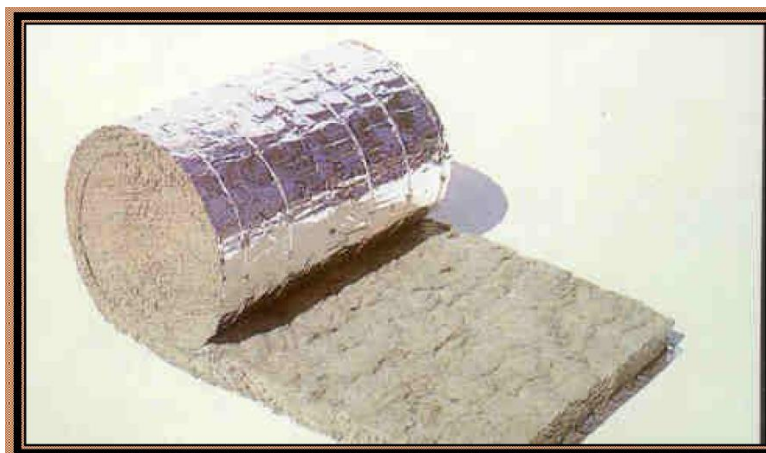
- мала запреминска маса
- низак коефицијент топлотне проводљивости
- широк температурни интервал примене
- негорив материјал
- приликом топљења не ослобађа штетне гасове
- биоразградљивост

Недостаци

- велико упијање воде и веомавелика пропусност водене паре
 - драстично смањење ефекта термоизолације,
 - мала отпорност на дејство мраза,
 - склоност ка појави буђи,
 - могућност појаве корозије метала у присуству влаге

Производи од неимпрегниране камене вуне

- јастуци, обични или упаковани у PVC фолију и
- прошивени или непрошивени филц за подлогу од: картона, битуменизираног папира, стакленог воала, поцинкованог плетива, алуминијумске фолије...



Слика 5.1 Прошивени филц на алуминијумској фолији[7]

Примена

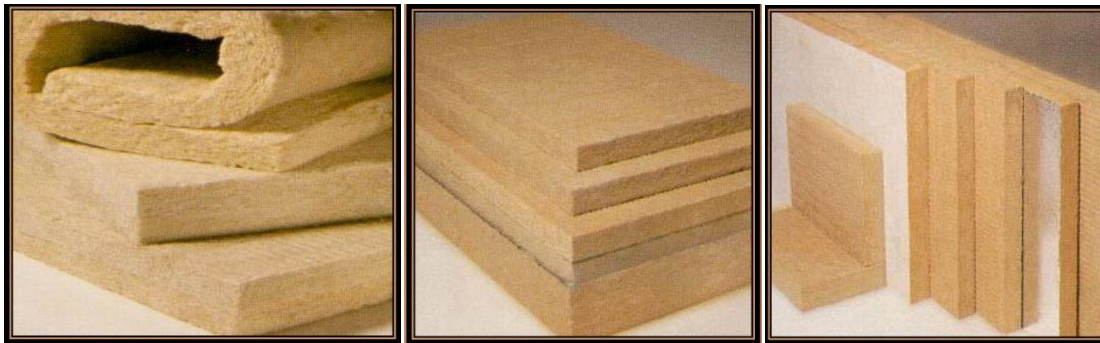
-За термоизолацију у случајевима када нису оптерећени на притисак међуспратних конструкција, у случајевима када се примењују спуштени плафони, преградних зидова, поткровља и косих кровова.

- За противпожарну заштиту индустријских пећи, котлова, цистерни... до радне температуре 700⁰С.

Производи од импрегиране вуне:

- меке плоче,
- полутврде плоче и
- тврде плоче

Дебљина плоча се креће од 2-10cm



Слика 5.2 Импрегиране меке плоче, импрегниране полутврде плоче и импрегниране тврде плоче[9]

5.2 Стаклена(минерална вуна)

Стаклена вуна се састоји из танких и еластичних стаклених нити. Добија се сличном технологијом као и камена вуна. Најчешће је светло жуте боје. Основне сировине за производњу су стаклени крш и сировине за производњу стакла.

Хемијска својства

SiO_2	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	Na_2O	Br_2O_3
58.5	16	4	0.2	6	11.8	3.5

Табела 5.3 Хемијски састав у процентима[11]

- хемијски инертан материјал
- постојана на утицај воде, водене паре и различитих једињења

Физичка својства

γ [kg/m^3]	λ [w/mK]
< 130	< 0.041

Табела 5.4 Вредности параметара[11]

- дебљина влакана је већа од 1 μm
- изразито велика порозност
- доминантна отворена порозност
- изразито велика способност упијања воде
- пропустљивост влаге
- поседује својство негоривости
- добра апсорпција звука
- мала отпорност на дејство мраза

Производи од импрегниране стаклене вуне

- различите врсте филцева
- плоче од стаклене вуне: меке, полутврде и тврде



Слика 5.3 Производи од импрегниране стаклене вуне[8]

Примена

За термоизолацију преградних зидова, међуспратних и подних конструкција, равних и косих кровова. У односу на камену минералну вуну стаклена вуна има слична физичко-механичка својства, већу порозност, влакна веће дужине, већу хемијску отпорност, не изазива корозију метала.

6 Термоизолациони материјали на бази полиуретана

Полиуретанске пено-пластичне масе се добијају као резултат сложених реакција, које се одвијају у мешавини полазних компонената: полиестера, диизоцијанида, воде, катализатора и емулгатора

Основна својства

Физичко-механичка својства

-по физичким својствима сличан је стиропору а по механичким ЕЕПС-у

γ [kg/m ³]	λ [w/mK]
30 - 50	0.030-0.037

Табела 6.1 Вредности параметара[11]

Полиуретански термоизолациони материјали најчешће се производе као круте плоче обложене лимовима, распрскавајуће пене, које се директно наносе на површине елемената конструкције које се термички изолују.

7 Термоизолациони материјали органског порекла на бази природних материјала



Слика 8.1 Плоча од трске[10]

Плоче од трске добијају се пресовањем нељуштених тршчаних стабљика и прошивањем жицом, управно на правац стабљика. За прошивање се користи челична или поцинкована жица. Иначе, користе се за топлотну изолацију међуспратних конструкција, подова, зидова и кровова.

Основна својства

Предности:

- природан и еколошки подобан термоизолациони материјал
- лака обрада
- добра адхезија са малтером

Недостаци:

- могућност оштећења од глодара
- труљење
- горив материјал
- тешко причвешћивање ексерима

8 Плоче на бази дрвене вуне или струготина од дрвета и минералних везива

Добијају се очвршћавањем мешавине дрвене струготине или дрвене вуне и минералног везива. Процес производње се састоји од: припремања цементне пасте, мешање цементне пасте са дрвеном струготином, пресовање припремљене масе у калупима, запаривање плоча у коморама за убрзано очвршћавање. Дебљина плоча се креће од 2,5-10cm.

Основна својства

- природан и еколошки подобан термоизолациони материјал
- полусагорив материјал
- противпожарна отпорност од 30 минута
- добра адхезија са малтером
- лако се механички обрађују

9 Термоизолација на бази целулозе

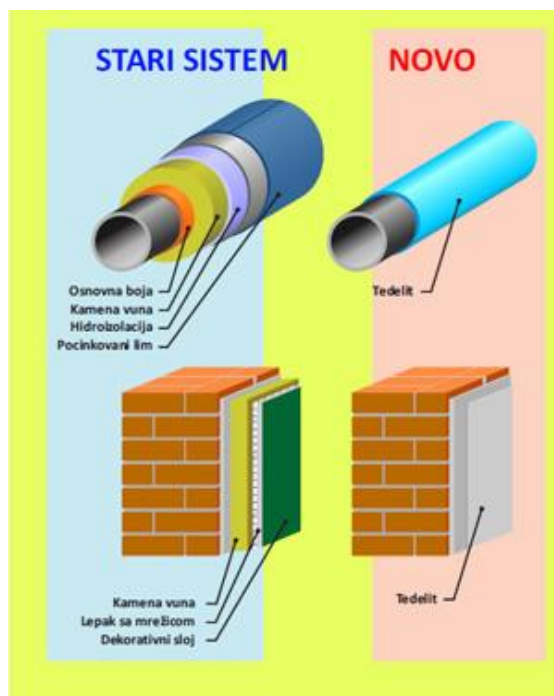
Средином прошлог века у Скандинавији и Америци се почела користити термоизолација на бази рециклиране новинске хартије. Процес производње се састоји од: млевења и уситњавања старих новина у влакнасте комадиће и додавање борне соли.

Примењује се за топлотну изолацију зидова, кровова и међуспратних конструкција, али у комбинацији са водонепропусним и паропропусним фолијама. У пракси су могућа два поступка извођења топлотне изолације: удувавањем материјала и насипањем.

10 Иновације у области термоизолационих материјала

10.1 ТЕДЕЛИТ - течни термоизолациони материјал

(јединствен термоизолациони материјал развијен на бази нано технологије)



Слика 10.1 Паралела између традиционалне изолације и теделита[12]

Термоизолациони материјал Теделит представља течну композицију на воденој основи, која се састоји из синтетичког каучука, акрилних полимера неорганских пигмената, у чију су структуру уграђене вакумиране керамичке микросфере и шупље силиконске сфере. Ова изузетна комбинација изолационих материјала и јединствена структура чине материјал лаким, гипким, растегљивим и изузетно адхезионим.

Главна карактеристика овог материјала је његово изванредно термоизолационо својство већ у слојевима од 0.5 до 1мм. Међутим имајући у виду његов састав и структуру, овај материјал је одличан звучни и хидро изолатор.Захваљујући хидроизолационом својству, (водоотпорности и водонепропусности), Теделит штити третиране површине од корозије, што је веома важно у применама у индустрији и на превозним средствима.Теделит се карактерише изузетним веком експлоатације - не мање од 10 година на отвореном и не мање од 25 година у затвореном простору!Течни изолациони керамички материјал Теделит наноси се на метал, бетон, циглу, дрво, стакло, пластику, гуму, картон и на скоро све друге индустријске и грађевинске материјале и подлоге.Теделит се веома лако и једноставно наноси "аирлесс" распршивачем или молерском четком -

ваљком. Температурни опсег примене од -60° до $+260^{\circ}$ (до 500°), чиме је покривен комплетан спектар индустријских и војних примена.

Карактеристике изолационог материјала Теделит

Могућност наношења на објекте чија је површинска температура од 5 до 150°C . Тиме је омогућено наношење на већини индустријских објеката без заустављања технолошких процеса (процесна индустрија, топлане, котларнице и сл.). Материјал је водоотпоран, па самим тим спречава корозију и кондензацију. Погодан за заштиту грађевинских објеката. Омогућава наношење на скоро све материјале који се примењују у грађевинарству, код превозних средстава и индустрији. Карактерише се изузетном постојаношћу нанетог слоја у условима високе влаге, јаких ветрова и агресивне средине. Еколошки је потпуно безбедан. Материјал је незапаљив. Могуће је комбиновање са другим изолационим материјалима, као и са свим врстама боја.

Неке од области где се примењује Теделит

- Топлотна изолација фасада - чиме се постиже смањење топлотних губитака зими, као и смањење прекомерног загревања лети, стамбених и индустријских грађевинских објеката, као и монтажних објеката (хангара, гаража и сл.).
- Топлотна изолација доставних возила са расхладним уређајима, хладњача и свих врста комора за хлађење - самим тим се смањују трошкови хлађења климатизованих возила.
- Изолација цеви топловода, паровода, топлотних инсталација у термо - централама и котларницама.
- Изолација опреме у процесној индустрији, без заустављања процеса.
- Термичка и антикорозивна изолација ауто - цистерни, вагон - цистерни и танкова за чување и превоз нафтних деривата и хемијских производа.

*** Техничке карактеристике**

Коефицијент топлотне проводљивости $\lambda=0,002-0,007[\text{W} / \text{m}^{\circ}\text{C}]$

Специфична тежина нанетог осушеног материјала 280 kg/m^3

Koeficijent refleksije svetlosti 98 %

10.2 YTONG Multipor

YTONG Multipor је минерална термоизолациона плоча произведена са циљем боље изолације грађевина. Примерен је за рециклирање што свеукупно доприноси очувању човекове средине. Састоји се од природних сировина: креча, песка, цемента и воде, чији састојци у производњи стварају материјал са великим бројем ваздушних пора са одличним термичким карактеристикама.

YTONG Multipor плоче изворно су произведене у Немачкој према високим стандардима квалитета у енергетски ефикасном производном поступку и поседују европско техничко одобрење ЕТА-05/0093.

Сви термоизолациони материјали од велике су важности при смањењу потрошње енергије поједине грађевине, те увелико утичу на очување природне човекове средине. Термоизолационе YTONG Multipor плоче своје кориснике ће додатно изненадити низом предности односно комбинацијом природности, противпожарности, веће отпорности на притисак те једноставне примене и обликовања.

Посебне предности YTONG Multipor-а су:

- Одлична термоизолација
- Негорив материјал - Класа А₁ што значи да је материјал незапаљив и негорив, не испушта гасове у случају пожара и веома споро се греје
- Није подложен стварању бактерија и гљивица и тиме доприноси бољој микроклими у објекту
- Једноставна, брза и економична обрада и монтажа лепљењем доприноси бржој и ефикаснијој градњи
- Лако обрадив
- Стабилног облика и отпоран на притисак

YTONG Multipor је изванредан материјал за:

1. Изолацију плафона и таваница
2. Термоизолацију спољних зидова са спољашње стране
3. Термоизолацију зидова са унутрашње стране што је идеално за санацију и реновирање старих објеката и фасада које су под заштитом, у складу са стандардима енергетски ефикасне градње због добрих особина дифузије водене паре и капацитета чувања топлоте, без појаве влаге
4. Решавање термомостова на скелетним конструкцијама

Термоизолациона плоча YTONG Multipor је материјал који ће сигурно задовољити потребе свих оних који граде или реновирају стамбене и пословне објекте у Србији.

YTONG Multipor pruža mogućnosti vrhunске термоизолације са унутрашње или спољашње стране објекта, уз једноставну монтажу лепљењем. Мултипор термоизолационе плоче су једноставне и сигурне за употребу, омогућавају разне завршне обраде, паропропусне, недопуштају задржавање буђи и микроорганизама, те на тај начин чине дом здравим и угодним за живљење.

	Multipor termoizolacione ploče	Multipor laki malter
dimenzije	600x500mm; debljina: 50/75/100/125/150/200mm	
Odstupanje u dimenzijama	±2mm	—
Gustina (u suvom stanju)	100-115kg/m ³	cca. 770kg/m ³
Računski koeficijent toplotne provodljivosti	$\lambda_{\text{т}} = 0,045 \text{ W/(mK)}$	$\lambda_{\text{т}} = 0,27 \text{ W/(mK)}$
Specifični toplotni kapacitet	c=1300J/(kgK)	—
Koeficijent otpora difuziji vodene pare	$\mu = 3$	$\mu \leq 10$
Koeficijent apsorpcije zvuka	$\alpha_{\text{w}} = 0,35$	—
Protiv požarna zaštita prema EN 13501-1	A1 - negoriv	A2 - negoriv
Čvrstoća na pritisak (u sredini)	$\geq 0,34 \text{ N/mm}^2$	CSII - 1,5 - 5,0N/mm ²
Zatezna čvrstoća	$\geq 0,08 \text{ N/mm}^2$	—
Deformabilnost	$\leq 1,0 \text{ mm}$ pri 1000N opterećenja u jednoj tački	—
Apsorpcija vode	pri kraćem potapanju DIN EN1609, $W_p = 2,0 \text{ kg/(m}^2 \text{ min}^{0,5})$ pri dužem potapanju DIN EN 12087, $W_{\text{p}} = 3,0 \text{ kg/(m}^2 \text{ min}^{0,5})$	$\leq 0,2 \text{ kg/(m}^2 \text{ min}^{0,5})$
Ravnotežna vlaga	$\leq 6 \%$ mase (pri 23°C i 80 % relativne vlažnosti)	—

Слика 10.2 Техничке карактеристике материјала[13]

11 Закључак

Улагања у толотну заштиту су економски оправдана због уштеде енергије за грејање. На тржишту има пуно различитих изолационих материјала, а ефекти њихове примене првенствено зависе од:

- избора одговарајућег термоизолационог материјала
- дебљине слоја одабраног термоизолационог материјала
- правилног уграђивања у елемент конструкције

R. broj	M a t e r i j a l	γ [kg/m ³]	λ [W/(mK)]
1	Ekspandirani polistiren (EPS)	30	0.032
2	Kamena vuna	50	0.035
3	Staklena vuna	50	$\lambda < 0.06$ 0.037
4	Poliuretan	30	0.035
5	Ploče od trske	180	0.046

Табела 11.1 Упоредни преглед основних својстава анализираних термоизолационих материјала[11]

Термоизолација је један од основних начина за добијање потпуног комфора у неком објекту. Последњих година исцрпљивање природних ресурса и пораст цене енергије додатно истиче значај термоизоловања простора као основног начина да се дође до задовољавајућег степена енергетске ефикасности. Сваки одговоран архитекта, извођач, и пре свега инвеститор (нарочито када се истовремено говори и о кориснику простора) мора велику пажњу посветити овом делу изградње или реконструкције објекта.

Не треба да буду прописи оно што ће натерати све учеснике једног пројекта да примењују стандарде препоручене од стране стручњака. Проста рачуница показује да ће термоизолација исплатити себе у првих неколико година, чак и не узимајући у обзир најцрња предвиђања у вези са ценом и могућностима снабдевања енергијом већ за пар деценија (што је ипак знатно мање од употребног века објекта).

12 Попис ознака

$m[\text{kg}]$ -маса материјала

$V[\text{m}^3]$ -запремина материјала

$T[^\circ\text{C}]$ -температура

$L[\text{m}]$ -дужина

$K[\text{W}/\text{m}^2\text{ }^\circ\text{C}]$ -коэффициент пролаза топлоте

$\gamma [\text{kg}/\text{m}^3]$ - запреминска маса

$\dot{Q}[\text{J}/\text{kg}]$ - количина топлоте

$\lambda[\text{W}/\text{m}^\circ\text{C}]$ коэффициент провођења топлоте

$\gamma_s [\text{kg}/\text{m}^3]$ - специфична запреминска маса

13 Литература

- [1] Михаило Мурављов, Београд, Грађевински материјали: Грађевинска књига, 2007 (Зрењанин: Будућност)
- [2] Бранислав М. Живановић, Материјали у грађевинарству : Факултет техничких наука, ООУР Научно-образовни институт за индустријску градњу, Нови Сад 1981
- [3] Dietmar Lochner, Wolfgang Ploss (превод Јасмина Русов), Топлотна и звучна изолација у зградама, Београд: Грађевинска књига, 1984
- [4] Daniel W. Mackowski, Conduction Heat Transfer (Notes for MECH 7210), Mechanical Engineering Department Auburn University, 1994
- [5] William S. Janna, Engeneering heat transfer, The University of Memphis, Memphis, Tennessee, 1999
- [6] [http:// www.gradjevinarstvo.rs/](http://www.gradjevinarstvo.rs/) (приступљено 05.10. 2016.)
- [7] <http://www.energysavingtrust.org.uk/>(приступљено 05.10. 2016.)
- [8] [http://www.gradjevinarstvo.rs/TekstDetaljiURL/Termoizolacija_-
_gradite_pametno_izolujte_pametnije.aspx?ban=820&tekstid=296](http://www.gradjevinarstvo.rs/TekstDetaljiURL/Termoizolacija_-_gradite_pametno_izolujte_pametnije.aspx?ban=820&tekstid=296)
(приступљено 06.10. 2016.)
- [9] [http://geothermal.mas.bg.ac.rs/termodinamika/handouts/termoB/15.1_Provodj
enje kondukcija toplote.pdf](http://geothermal.mas.bg.ac.rs/termodinamika/handouts/termoB/15.1_Provodjenje_kondukcija_toplote.pdf) (приступљено 06.10. 2016.)
- [10] [http://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-050-thermal-
energy-fall-2002/lecture-notes/10_part3.pdf](http://ocw.mit.edu/courses/aeronautics-and-astronautics/16-050-thermal-energy-fall-2002/lecture-notes/10_part3.pdf) (приступљено 07.10.2016.)
- [11] http://www.grf.bg.ac.rs/p/learning/termoizolacioni_materijali_1387814173320.pdf
(приступљено 07.10. 2016.)
- [12] <http://www.termodom.rs/tedelit.html> (приступљено 07.10. 2016.)
- [13] <http://www.buildmagazin.com/index2.aspx?fld=tekstovi&ime=bm0736.htm>
(приступљено 07.10. 2016.)

