

Факултет инжењерских наука

Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Енергетика и процесна техника

Предмет: Пренос масе и топлоте

Број индекса: 96/2010

Милош З. Поскурица

Топлотни мостови

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др. Небојша Лукић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

објасни основе пролаза топлоте кроз грађевинске објекте са посебним освртом на губитке топлоте услед топлотних мостова.

Оквирни садржај рада:

1. Увод
2. Пренос топлоте
3. Правила прорачуна потребне топлоте за грејање зграда
4. Енергетска ефикасност грађевинских објеката
5. Термоизолација
6. Начин деловања топлотних мостова
7. Избегавање топлотних мостова
8. Улога инфрацрвене термографије
9. Ризик формирања буђи и кондензације
10. Уградња топлотних мостова
11. Закључак
12. Литература

Препоручена литература:

[1] Слободан Зрнић, Живојин Ћулум, “Грејање и климатизација”, Научна књига, осмо издање

Крагујевац, 2013

ментор:

др Небојша Лукић, ред. проф.

Резиме рада

Завршни рад се заснива објашњавању пролаза топлоте кроз грађевинске објекте и енергетској ефикасности објеката са посебним освртом како топлотни мостови негативно као топлотни губици негативно утичу на потрошњу топлоте. Приказани су примери како топлотни мостови делују и неки начини како се они могу решити и тако довести до побољшања потрошње топлотне енергије.

Кључне речи: пренос топлоте, енергетска ефикасност, термоизолација, топлотни мостови

Abstract

The final paper is based on the explanation of heat transfer through buildings and energy efficiency of buildings with special reference to thermal bridges do negatively as heat losses adversely affect the consumption of heat. Some examples of how thermal bridges work and some ways of how they can be solved which leads to an improvement of heat energy consumption.

Keywords: heat transfer, energy efficiency, insulation, thermal bridges

Садржај

1. Увод	6
2. Пренос топлоте	7
2.1 Провођење топлоте или кондукција	7
2.1.1 Топлотни флуks и топлотна проводљивост	7
2.2 Конвекција	8
2.3 Зрачење	9
3. Правила прорачуна потребне топлоте за грејање зида	10
3.1 Основне поставке прорачуна за нормалне случајеве	10
3.2 Прорачун стандардне потребне топлоте за нормалне случајеве зида	10
3.2.1 Стандардна спољна и унутрашња температур	11
3.3 Стандардна потребна трансмисиона топлота	11
3.3.1 Стандардни коефицијент пролаза топлоте	12
3.3.2 Спољни и унутрашњи грађевински елемент	13
3.4 Стандардна потребна топлота за проветравање	13
3.4.1 Потребна количина за проветравање при природној вентилацији	13
3.5 Стандардна потребна топлота за зграду	14
3.6 Прорачун топлотних отпора	14
3.6.1 Вишеслојни грађевински елемент	14
3.6.2 Топлотни мостови	14
4. Енергетска ефикасност грађевинских објеката	15
4.1 Енергетски пасош	15
4.2 Енергетски ефикасне куће	16
5. Термоизолација	19
5.1 Врсте топлотних изолација	19
5.1.1 Аерогел	20
5.1.2 Минерална вуна	20

5.1.3 Полистирен	21
6. Топлотни мостови	22
7. Избегавање топлотних мостова	23
7.1 Изолација изнутра	24
7.2 Бетонска тераса или балкон као термички мост	25
7.3 Спој темеља зида и пода	26
7.4 Тавански надзидак и забат	29
7.5 Парцијална изолација	30
7.6 Тавански отвор	30
7.7 Изолација таванске плоче на примеру	33
8. Улога инфрацрвене термографије	34
9. Ризик формирања буђи и кондензације	35
9.1 Ризик по здравље	36
10. Уградња топлотних мостова	36
11. Закључак	37
12. Литература	38

1. Увод

У природи се стално долази до преноса топлоте са једног места на друго. Две основне физичке величине које одређују размену топлоте између два тела су: количина топлоте и температура. Док количина топлоте коју тело поседује представља прост збир кинетичке енергије свих молекула тела, температура је одраз интензивности њиховог кретања. Два тела у физичком контакту размењују енергију (топлоту) све док се интензивност кретања њихових молекула (температура) не изједначи. Кажемо да је температурна разлика два тела погонска сила за размену топлоте међу њима. Топлота спонтано – природним путем, увек прелази с тела више на тело ниже температуре. У неким случајевима се тежи што бољем преношењу топлоте, као на пример између ложишта и котла, централног грејања, хладњака на моторима итд. У другим случајевима настоји се да се спречи прелаз топлоте као код зидова зграда, хладњака, термос боца, калориметара итд.

Србија данас има, нажалост, најнижи степен енергетске ефикасности у Европи и налази се на самом дну лествице међу земљама које рационално користе енергију. Као алармантну чињеницу морамо прихватити податак да зграде у Србији троше чак 60 одсто укупне потрошене енергије, док тај проценат у Европи износи 40 процената. Чак 60 процената те енергије се односи на грејање простора, а остатак на хлађење, вентилацију, освету и остале електричне уређаје у домаћинству. Ту чињеницу потпуно илуструје и податак да у Србији преко 300-400 хиљада кућа нема термоизолацију, што их сврстава у енергетски неефикасне куће са потрошњом од $220 \text{ kWh/m}^2\text{год}$ енергије, док је европски просек потрошње енергије 70 kWh/m^2 . Овакво стање могло би значајно да се побољша применом енергетски ефикасних метода у пројектовању и одговарајућим избором материјала код новопроектлованих зграда и применом свих принципа који омогућавају квалитетну енергетску рехабилитацију постојећих неизолованих објеката. Требало би обратити пажњу на: побољшање термоизолације, смањење хладних мостова, непропустивост ваздуха, добру изолованост врата и прозора, механичку вентилацију и загревање топлим ваздухом, минимизирање губитка топлоте при припреми и дистрибуцији санитарне воде као и на примену обновљивих извора енергије, енергетски ефикасних сијалица и кућних апарата.

Топлотни мостови су локализовани делови зграде који приказују увећане топлотне губитке. Могу бити узроковани избором геометријских компоненти као на пример у случају балкона или коришћењем материјала са већом топлотном проводљивошћу као што је случај са алуминијским прозорима без топлотног прекида. Топлотни мостови су често резултат саме структуре зграде, појављују се на споју између зидова и подова, између зидова и крова, у угловима или око прозора уколико нису правилно постављени. Топлотни мостови не могу бити у потпуности избегнути, али циљ је да се негативни ефекти ових мостова умање на толерантни ниво и да не креирају никакво оштећење зграде.

Топлотни мост је мање подручје у омотачу грејаног дела грађевине кроз који је топлотни ток повећан ради промене материјала, дебљине или геометрије грађеног дијела зграде. Топлотни мостови и са енергетског и са хигијенског гледишта представљају слабе тачке у конструкцији зграде. Удео топлотних мостова у губицима преноса енергије може износити до 20%, чак и више. Истовремено расте ризик акумулирања кондензата, што уз одређене предуслове може довести до стварања буђи. Уз све веће побољшање грађевинске топлотне заштите, допринос топлотних мостова губицима преноса топлоте добија на значењу.

2. Пренос топлоте

Топлота је облик енергије који се преноси под одређеним условима. До топлотног преноса долази само у случајевима постојања температурних разлика унутар делова тела, између два тела или пак система. Процес преноса се обавља сам од себе, увек од тачака више ка тачкама ниже температуре. Он временски траје све док температурно поље не хомогенизује. Температурно поље је скуп тачака посматраних у односу на њихову температуру у одређеном времену. Пренос топлоте може бити нестационаран (прелазни режим) и стационаран, односно устањен.

2.1 Провођење топлоте или кондукција

Провођење топлоте је процес у коме се топлота преноси директно кроз материјал при чему не долази до премештања саставних делова материјала.

У чврстим телима су молекули распоређени по чворовима кристалне решетке на међусобном растојању које је одређено јачином међумолекулских сила, односно природом супстанце. Они осцилују око својих равнотежних положаја са амплитудом и учестаношћу пропорционалним температури тела. Ако се молекулима у једном подручју тела повиси кинетичка енергија осциловања (температура), њихово интензивније осциловање ће се механички пренети на суседне молекуле, са ових на следеће итд, доћи ће до преноса кинетичке енергије молекула кроз тело – протока топлоте при чему молекули задржавају своја места у кристалној решетки. Да би до преноса енергије дошло, очигледно је да молекули морају ступати у међусобне физичке контакте. Брзина преноса топлоте кроз тело зависи од величине и масе појединих молекула, као и сила које међу њима владају, карактеристична је за свако тело. Код флуида су међумолекулске силе много слабије него у чврстом телу, тако да се молекули крећу хаотично у свим правцима, међусобно се сударајући и измењујући кинетичку енергију. При условима изједначене температуре, молекули флуида се налазе у стању динамичке енергетске равнотеже, али када се у једном подручју повиси температура, равнотежа се ремети. Молекули с вишком кинетичке енергије се сударају са другим, споријим молекулима и предају им један део те енергије, па се тако, у макро-смислу, кроз флуид преноси топлота. Треба запазити да се овде ради о мирном флуиду код којег у уобичајеном смислу није могуће приметити било какво кретање. Оно се одвија искључиво на молекулском нивоу. Као код чврстих тела, и овде брзина преноса топлоте зависи од брзине и масе молекула, што је условљено првенствено природом флуида.

Ако се било које парче неког материјала загрева на једном месту онда ће се мање или више загревати и остала места тог материјала (нпр ако се један крај металног штапа стави у пламен, а други држи у руци осетиће се да се онај део који се држи у руци све више греје иако није у контакту са пламеном). Уочено је да су метали најбољи проводници топлоте. У металима се пренос топлоте може вршити и слободним електронима.

2.1.1 Топлотни флуks, Фуријер-ов закон и топлотна проводљивост

Уколико постоје разлике температура у посматраном телу ће доћи до преноса топлоте од средина са вишим према нижим температурама. Размењена количина топлоте (образац 1) при томе ће бити једнака:

$$Q = qAt \quad (1)$$

Где су: A (m^2) повшина размене топлоте

τ (s) време за које се топлота размењивала

q (W/m^2) (средњи) специфични топлотни флуks топлоте

Укупни (средњи) топлотни флуks (образац 2) је

$$Q = qA \quad (2)$$

Из искуства знамо да ће се топлота преносити у правцу ниже температуре, да ће тај износ бити већи уколико је већа разлика температуре, као и да на њу има утицај карактеристика материјалне средине. Фуриер је на основу сличног искуства поставио израз (закон провођења топлоте) за специфични топлотни флуks (образац 3) у облику:

$$q = -k \cdot gradT = -k \frac{\partial T}{\partial n} n_0 \quad (3)$$

Где је k (W/mK) коефицијент топлотне проводљивости. Дакле, топлота се преноси у смеру супротном од смера градијента температуре. За одређивање специфичног топлотног флуksа потребно је познавање температурног поља, као и карактеристике материјала k .

Коефицијент провођења топлоте је физичко својство материје и одређује се експериментално, коришћењем једне од више доступних метода. По експерименталном дефинисању специфичног топлотног флуksа и градијента температурног поља, топлотна проводљивост (образац 4) се израчунава као:

$$k = \frac{|q|}{|gradT|} \quad (4)$$

Генерално топлотна проводљивост зависи од притиска, температуре и структуре материје.

Утицаји структуре материјала на вредност топлотне проводљивости (k) су вишеструки:

- Постоје значајне разлике у вредностима k за метале и неметале.
- Постоје значајне разлике у вредностима k за гасовиту, течну и чврсту фазу исте супстанце.
- Постоји директна веза између електричне и k код метала (Wiedemann-Franz-ов закон).
- Постоји директна веза између вискозности и k за парне фазе материје.
- Значајан је утицај нечистоћа у материјалу, начина обраде (хладно деформисање) и легирања на вредност топлотне проводљивости.
- Поједини материјали се понашају анизотропно што се тиче вредности k

2.2 Конвекција

За разлику од провођења топлоте које је, како је то већ речено, микроскопска појава (кретање електрона, осциловање атома и молекула), конвекција представља макроскопску појаву где су носиоци топлотне енергије флуидни делићи који се крећу. Делићи флуида више температуре крећу се и мешају са делићима ниже температуре и на тај начин врше пренос топлоте.

Како је конвекција везана за флуиде и њихово кретање, поред познавање температурног поља у средини, потребно је и познавање поља брзина. У суштини конвекција подразумева размену топлоте кретањем флуидних делића али и уз истовремено провођење топлоте (кондукцију) између њих. Утицај кретања флуидних делића је од знатно већег значаја на конвекцију од увек присутних ефеката провођења топлоте кроз флуид.

За праксу је посебно значајан случај када се топлота размењује између флуида и чврсте површине и обратно. Ова појава се назива прелаз топлоте, а при том размењени топлотни флуks (образак 5), q (W/m^2) се израчунава као:

$$q = h (T_z - T_f) \quad (5)$$

где су h (W/m^2) коефицијент прелаза топлоте, T_z (K) температура зида и T_f (K) температура флуида. Иако једначина ова изгледа веома једноставно, израчунавање коефицијента прелаза топлоте представља један од најкомпликованијих проблема теорије преноса топлоте. Величина h зависи од физичких особина флуида (топлотна проводљивост, густина, вискозност, специфична топлота, ...), које су опет зависне од притиска и температуре, зависи од брзине и врсте струјања (ламинарно или турбулентно), као и од геометријских карактеристика струјног канала или површине.

2.3 Зрачење

Електромагнетно зрачење чији је састав и интензитет зависан, поред природе материја од њене температуре назива се температурно зрачење. Свако тело температуре више од 0 K зрачи температурно зрачење. Пренос топлоте зрачењем се за разлику од кондукције и конвекције одвија и кроз нематеријалну средину (вакум), а на тај начин нам долази сва енергија са Сунца. Електромагнетни таласи настају осцилацијама наелектрисаних честица, електрона и јона. Енергија зрачења има двојну природу таласну и корпускуларну. Тело емитује и апсорбује енергију зрачења у дискретним износима, фотонима. Када електромагнетни таласи падну на тело они, најчешће делом бивају апсорбовани, при чему се енергија фотона трансформише у унутрашњу енергију тела. Посматрано тело део своје унутрашње енергије трансформише у енергију електромагнетних таласа и зрачи у окружење.

Температурно зрачење се практично одиграва при свим таласним дужинама, а у зависности од њиховог опсега, зрачење је подељено на врсте, као што су гама зрачење, x зрачење, ултравиолетно, видљиво, инфрацрвено, радио зрачење. Чврста тела и течности зраче непрекидни спектар зрачења (у датом опсегу), док гасови и паре (и специјално поједине чврсте површине) зраче селективно зрачење. Овакво зрачење карактеришу таласне дужине електромагнетних таласа у уском опсегу таласних дужина. Уколико материја зрачи на једној таласној дужини ради се о монохроматском зрачењу.

За изучавану област преноса топлоте, најинтересантније је температурно зрачење у опсегу таласних дужина од 0,4 до 1000 μm (видљиво и инфрацрвено зрачење).

3. Правила прорачуна потребне топлоте за грејање зграда

Овај стандард важи за потпуно и делимично загреване зграде у којима се, са изузетком неколико споредних просторија, све остале просторије загревају до уобичајене пројектне температуре. Делимично загреваним се сматрају оне зграде у којима у суседним просторијама могу бити ниже температуре. Уређаји за грејање могу у климатским условима блажим од оних на којима се заснива стандардни прорачун, омогућити такође задовољавајуће грејање ако повремено раде са извесним ограничењем или прекидом.

Поступак за нормалне случајеве се може применити за претежно највећи број зграда које се јављају у пракси, на пример : стамбене зграде, библиотеке, ресторани, управне зграде и друге зграде.

3.1 Основне поставке прорачуна за нормалне случајеве

Стандардном потребом за топлотом у једној просторији сматра се количина топлоте која се мора довести, у стандардним климатским условима да би се успоставили дефинисани стандардни услови унутар просторије.

При прорачуну је претпостављено стационарно стање, тј. временска устаљеност свих прорачунских величина. Затим је усвојено да је температура на граничним површинама са грејаним суседним просторијама једнака температури ваздуха, а да се спољни зидови налазе у размени зрачења само са унутрашњим граничним површинама просторије.

Стандардна потреба за топлотом је под оваквим претпоставкама осбина зграде. Постављање грејних тела са знатним уделом зрачења испред стаклених површина, доводи до тако великих одступања, да се грејни уређаји не могу димензионисати према стандардној потреби за топлотом.

Стандардна потреба за топлотом неке просторије састоји се од стандардне трансмисионе количине топлоте (топлотни губици због провођења топлоте преко обухватних површина) И стандардне потребне топлоте за проветравање (количина топлоте потребна за загревање ваздуха који споља продире у просторију). Стандардна потребна трансмисиона количина топлоте мора се одвојено прорачунати, за све делове површине са различитим отпорима пролазу топлоте односно температурским разликама.

Прорачун стандардне топлоте потребне за проветравање полази од поједностављеног одређивања количине ваздуха које могу ући кроз незаптивене процепе под одређеним условима.

3.2 Прорачун стандардне потребне топлоте за нормалне случајеве

Стандардна потребна количина топлоте Q_N (образац 6) састоји се из стандардне потребне трансмисионе топлоте Q_T и стандардне топлоте потребне за проветравање Q_L :

$$Q_N = Q_T + Q_L \quad (6)$$

3.2.1 Стандардна спољна и унутрашња температура

Прорачун стандардне потребне топлоте израчунава се на основу најниже дводневне средње вредности спољне темепратуре која је у временском периоду од 20 година десет пута достигнута или подбачена. Уколико стандардни климатски услови трају краће, предвиђено је снижење унутрашње температуре за 1 К. Претпостављена рачунска вредност стандардне спољне темепратуре зависиће од акумулационе способности зграде. То се обезбеђује преко коректуре спољне темепратуре Δt_a : $\Delta t_a = t_a' + \Delta t_a$, где је t_a – стандардна спољна температура. Коректура стандардне спољне темепратуре одређује се у зависности од конструкције зграде:

За лаки тип = $\Delta t_a = 0$ К

За тешки тип = $\Delta t_a = 2$ К

За веома тешки тип = $\Delta t_a = 4$ К

Наведени типови грађе засновани су на следећим физичким карактеристикама:

Лаки тип: $\frac{m}{A_a} < 600 \text{ kg/m}^3$

Тешки тип: $600 \leq \frac{m}{A_a} \leq 1400 \text{ kg/m}^3$

Веома тешки тип: $\frac{m}{A_a} > 1400 \text{ kg/m}^3$

Где је: m – акумулациона маса просторије, ΣA_a – сума свих спољних површина просторије. Акумулациона маса (образац 7) сведена на спољне површине израчунава се само за најнеповољнију просторију са максимално два спољна зида:

$$m = 0,5 \cdot m_{\check{c}} + 2,5m_d + m_o_a + 0,5 \cdot 0,5m_{\check{c}} + 2,5m_d + m_o_i \quad (7)$$

Где је m – маса грађевинског дела, а индекси значе:

$\check{c}$ – грађевински део од челика

d – грађевински део од дрвета

o – грађевински део од других материјала

a – маса спољних површина

i – маса унутрашњих површина

Као унутрашња темепература узима се за прорачун стандардне потребне топлоте тзв. осетна температура, при чему се узимају у обзир и температура ваздуха и средња темепратура околних површина.

3.3 Стандардна потребна трансмисиона топлота

Стандардна потребна трансмисиона топлота (образац 8) је збир количина топлоте које просторија одаје услед пролаза топлоте кроз зидове, прозоре, врата, таваницу и под.

$$Q_T = \sum_j A_j \cdot q_j \quad (8)$$

Где су : A_j – површина грађевинског елемента j , q_j – специфични флуks елемента j
 За грађевинске елементе специфични флуks (образац 9) који се граничи са спољним ваздухом или суседним просторијама важи :

$$q = k_N \cdot \Delta_t \quad (9)$$

Где је k_N – стандардни коефицијент прелаза топлоте, Δ_t – температурска разлика.

3.3.1 Стандардни коефицијент пролаза топлоте

Отпор пролазу топлоте (образац 10) неког грађевинског елемента одређује се помоћу израза:

$$R_k = R_i + \sum_j R_{\lambda j} + R_a = \frac{1}{\alpha_i} + \sum_j \frac{d_j}{\lambda_j} + \frac{1}{\alpha_a} \quad (10)$$

Где су : R_i – унутрашњи отпор прелазу топлоте
 R_a – спољашњи отпор прелазу топлоте
 $R_{\lambda j}$ – отпор провођењу топлоте j - тог слоја конструкције
 α_i – унутрашњи коефицијент прелаза топлоте
 α_a – спољашњи коефицијент прелаза топлоте
 d_j – дебљина j - тог слоја конструкције
 λ_j – топлотна проводљивост j - тог слоја конструкције

Коефицијент пролаза топлоте k (образац 11) одређује се из израза:

$$k = \frac{1}{R_k} \quad (11)$$

Овако израчунатом коефицијенту пролаза топлоте додаје се коректурна вредност (образац 12) која код спољашњих површина изједначава утицај нижих температура на услове угодности, а код прозора утицај Сунчевог зрачења:

$$K_N = K + \Delta K_A + \Delta K_S \quad (12)$$

Где су: ΔK_a - коректура коефицијента пролаза топлоте од утицаја спољних површина,
 ΔK_s - коректура коефицијента пролаза топлоте услед утицаја сунца

Коректура Δk_a се одређује према DIN 4701, табели 3, у зависности од коефицијента пролаза топлоте спољашњих површина.

Коректура Δk_s узима у обзир и топлотни добитак од дифузног значења. Она је увек негативна и независна од оријентације према страни света.

3.3.2 Спољни и унутрашњи грађевински елементи

Специфична количина топлоте q (образац 13) за спољне грађевинске елементе, израчунава се из израза:

$$q = k_N(t_i - t_i') \quad (13)$$

За унутрашње грађевинске елементе, специфична количина топлоте (образац 14) се израчунава помоћу израза за :

$$q = k(t_i - t_i') \quad (14)$$

Где је: t_i' - унутрашња стандардна температура суседне просторије.

3.4 Стандардна потребна топлота за проветравање

За потребну топлоту за проветравање (образац 15) важи :

$$Q_L = Q_{FL} + Q_{RLT} \quad (15) \quad , \text{ односно } Q_L = Q_{Lmin} \text{ где је:}$$

Q_{FL} - потребна количина топлоте за проветравање при природној вентилацији

ΔQ_{RLT} - додатна количина топлоте за ваздух који струји под дејством вентилационих уређаја

Q_{Lmin} - минимална вредност потребне топлоте за проветравање

3.4.1 Потребна количина топлоте за проветравање при природној вентилацији

Зграде уобичајеног типа градње пропуштају ваздух у огранишеним размерама. Спољни ваздух који продире може се загрејати до температуре ваздуха у просторији. За ову потребну топлоту за проветравање (образац 16) важи:

$$Q_L = V \cdot c \cdot \rho(t_i - t_a) \quad (16)$$

Где је: V - проток ваздуха
 c - специфична топлота
 ρ - густина

За струјање ваздуха кроз процепе (образац 17) може се узети:

$$V = a \cdot l \cdot (p_a - p_i)^n \quad (17)$$

Где је: a - коефицијент пропустљивости процепа
 l - дужина процепа
 p_a - притисак споља
 p_i - притисак унутра

За процепе у грађевинским елементима, експонент n за разлику притисака се може узети да је $2/3$ са довољном тачношћу. Разлика притисака ($p_a - p_i$) може настати услед силе ветра и узгона.

3.5 Стандардна потребна топлота за зграду

Удео трансмисионе топлоте у стандардној потребној топлоти за зграду добија се из збира стандардних трансмисионих потребних количина топлоте свих просторија. Укупни удео потребне топлоте за проветравање је мањи од суме вентилационе потребне количине топлоте свих просторија, с обзиром да се она израчунава за најнепоновљивије услове. У истом тренутку, само у једном броју просторија унутар зграде, постоји максимално потребна просторија за проветравање.

Стандардна потребна топлота зграде Q_{NG} (образац 18) добија се из једначине:

$$Q_{NG} = \sum_j Q_{t,j} + \vartheta \sum_j Q_{L,j} \quad (18)$$

Где је:

$Q_{t,j}$ - стандардна трансмисиона потребна количина топлоте просторије (j)

$Q_{L,j}$ - стандардна потребна топлота за проветравање просторије (j)

ϑ - Фактор истовремености топлотног удела за вентилацију (DIN 4701, табела 14)

3.6 Прорачун топлотних отпора

У једначинама за прорачун трансмисионе потребне топлоте претпостављено је једнодимензионално протичање топлоте. Извесна одступања од ове претпоставке у ивичним зонама грађевинских елемената могу се занемарити, с обзиром да не утичу у већој мери на тачност прорачуна.

3.6.1 Вишеслојни грађевински елементи

За грађевинске елементе који се састоје из више наслаганих слојева у правцу простирања топлоте, укупни отпор пролазу топлоте R_k (образац 19) се израчунава као збир отпора провођењу топлоте R_λ (према DIN 4108, делу 4) и отпора прелаза топлоте унутрашњег R_i и спољашњег R_a (према DIN 4701, делу 2, табели 16).

$$R_k = R_a + \sum R_\lambda + R_i \quad (19)$$

3.6.2 Топлотни мостови

Додатни топлотни флуks који пролази кроз топлотни мост услед дводимензионалног простирања топлоте, у прорачунима потребне топлоте се само у изузетним случајевима узима у обзир. Ово важи такође за геометријски условљене топлотне мостове са повећаним топлотним флуksом. Такви топлотни мостови се, према DIN 4108, делу 2, изолују тако да не долази до снижења температуре у односу на непоремећен зид. На тај начин избегава се прорачун додатног пролаза топлоте преко топлотних мостова с обзиром да се остаје у границама довољне тачности прорачуна потребне топлоте. За топлотне мостове без додатне изолације, прорачун је врло сложен. Овде су дате приближне формуле за 2 најчешћа случаја.

1. Носач смештен у спољашњем зиду

Количина топлоте која пролази кроз носач (образац 20) израчунава се саобразно топлотном флуксу кроз хомогени зид према једначини:

$$\Delta Q = \frac{A_{st}}{R_k} (t_i - t_a) \quad (20)$$

Где је:

$$R_k = R_i \frac{s}{b} + R_\lambda + R_a \frac{s}{b}$$

$$R_\lambda = \frac{d}{\lambda}$$

Овде су означени са : A_{st} - површина носача (дебљина - b , s - дужина)

R_k - еквивалентни отпор пролазу топлоте носача

λ - топлотна проводљивост материјала носача

Мерне ознаке су назначене у ДИН 4701, делу 2 на сл.5

2. Građevinski element sa svih strana zatvoren metalnim omotačem

Топлотни флукс кроз омотач (образац 21) израчунава се саобразно израчунатом топлотном флуксу кроз унутрашњу попуњу:

$$\Delta Q = \frac{U \cdot \delta}{R_u} (t_i - t_a) \quad (21)$$

4. Енергетска ефикасност грађевинских објеката

Однос човека према околини пре индустријске и технолошке револуције и њеног даљег просперитета био је усмерен прилагођавању човека природи и животу у хармонији са њом. Међутим, последице пост индустријског развоја, са немилосрдним исцрпљивањем природних ресурса као и неодговарајућег начина градње објеката, допринеле су алармантном епилогу. У великој мери нарушено је и загађено природно окружење и доводи се чак у питање и опстанак човека на Земљи. Данас је извесно, да човек уз помоћ технике може само у периоду од неколико векова, деградирати и поништити процесе који су се одвијали у природи од њеног постанка па све до данас. Дакле може се рећи да, имајући сазнање о величини проблема који сада већ окружује, човечанство се управо налази на енергетској прекретници. Свет мора да престане нерационално да користи енергију из исцрпљивих горива и почне да се ослања на обновљиве и чисте изворе, као и да почне рационално да производи и троши енергију у свим доменима. Једино тако можемо обезбедити себи сигурније и безбедније снабдевање енергијом у будућности, као и постојање будућности.

4.1 Енергетски пасош

Идеја енергетског пасоша је да свака зграда има „личну карту“ потрошње енергије што би временом требало да уведе додатни ред на тржишту некретнина, али и да постави више стандарде градње, односно живљења. Одговарајућа категоризација

постиће се утврђивањем степена енергетске ефикасности сваке зграде. Зграде ће бити рангиране у седам категорија, од А за највећу енергетску ефикасност, до G за најнижу. Степен ефикасности у пасошу поред енергетске валоризације објекта, утврђује и тржишну вредност некретнине приликом продаје или рентирања. Ово је приказано на слици 1.



Слика 1 Нивои енергетског пасоша

Према новим законима о енергетској ефикасности зграда, пројекти ће морати предвидети, а објекти остварити, одређен степен енергетских уштеда како би добили енергетски пасош са одговарајућом категоризацијом, који ће бити предуслов за добијање грађевинске и употребне дозволе. Та обавеза се односи на нове зграде, али и на све саграђене објекте и све фазе пројектовања, извођења, коришћења и одржавања.

4.2 Енергетски ефикасне куће

Ефикасност и коришћењу енергије и ресурса постала је најважније мерило квалитета зграде. Зграде су у чврстој вези са тлом а самим тим и са природом из које могу да црпе сву потребну енергију. Циљ је да количина те енергије буде што мања. Улагање у енергетску ефикасност зграда требало би да буде приоритет, јер је улагање у енергетску ефикасност, уједно и уштеда. Кроз улагање у материјале за термоизолацију и коришћење обновљивих извора енергије повећава се вредност зграде и омогућава се брз повратак уложених средстава у периоду од пет до десет година.

Vrste energetski efikasnih kuća:

1. "Обична" кућа: куће које захтевају просечно 80 до 100 kWh/m²god, потребне енергије за грејање. Према једноставном прорачуну произлази да ће таква кућа на грејање трошити отприлике 9 lit/m²god. лож уља, 9 m³/m²god. природног гаса или 18 kg/m²god. дрвених палета.

2. Нискоенергетски објекти - стандардна кућа: су објекти са системима загревања базираним на традиционалним начинима грејања. Годишње потребе за загревањем простора између $40\text{--}60 \text{ kW/m}^2$. Такве куће у правилу имају добро изолиране зидове и кров, квалитетну енергетски ефикасну столарију са вишеслојним изолацијским стаклима. У правилу овакве куће имају класичан начин грејања и грејних тела и по правилу немају посебне/додатне инсталације вентилације.

3. " Тролитарске куће": Примарни разред ниско-енергетске куће, годишње потребе за загревање 30 kW/m^2 . Према једноставном прорачуну произлази да ће таква кућа на грејање трошити отприлике $3 \text{ lit/m}^2 \text{ god.}$ лож уља, $3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ god.}$ природног гаса или $6 \text{ kg/m}^2 \text{ god.}$ дрвених палета. Смањење топлотних губитака овакве нискоенергетске куће могу остварити се на следеће начине:

- правилном оријентацијом куће ка јужној страни,
- формирање и одвајање топлинских зона куће (дневна соба према југу, оставе ка северу),
- компактна градња (одабир материјала и правилан начин уградње),
- посебна пажња на одабиру термо изолације комплетног објекта,
- квалитетан одабир конструкције и материјализације врата и прозора (нпр. са 3-слојним стаклом),
- нискотемпературни састав грејања,
- контролисана вентилација просторија са рекуперацијом, са квалитетним усмеравањем и коришћењем енергетских потенцијала

Како би повећали добитке енергије препоручује се:

- активно кориштење сунчеве енергије помоћу соларних топоводних колектора (топла вода) и фотонапонских колектора (струја) и
- пасивно кориштење сунчеве енергије преко великих стаклених површина оријентисаних ка јужној страни

4. Пасивне куће: Ниско-енергетска кућа, потрошња на годишњем нивоу највише 15 kW/m^2 . То је објекат који троши максимално $15 \text{ kWh/m}^2 \text{ god.}$ енергије за грејање. Такве се куће зову и "једнолитарске куће". Према једноставном прорачуну произлази да би таква кућа на грејање трошила отприлике $1,5 \text{ lit/m}^2 \text{ god.}$ лож уља, $1,5 \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ god.}$ природног плина или $3 \text{ kg/m}^2 \text{ god.}$ дрвених палета. Овде је битно за нагласити да пасивне куће немају више потребе за класичним системом грејања грејања, оне своје потребе за топлином добијају преко софистицираног система вентилације са рекуперацијом, са квалитетним усмеравањем и коришћењем прикупљене енергије и додатним системима за евентуално догревање, односно хлађење. Приказ на слици 2а.

Системи који користе геотермалну енергију или енергију подземних вода у оваквим зградама су готово правило, док су врло честа појава и соларни колекторски системи. Још једна битна одлика оваквих врста објеката је систем смањивања потрошње енергије ове зграде код вентилације користећи систем рекуперације, који

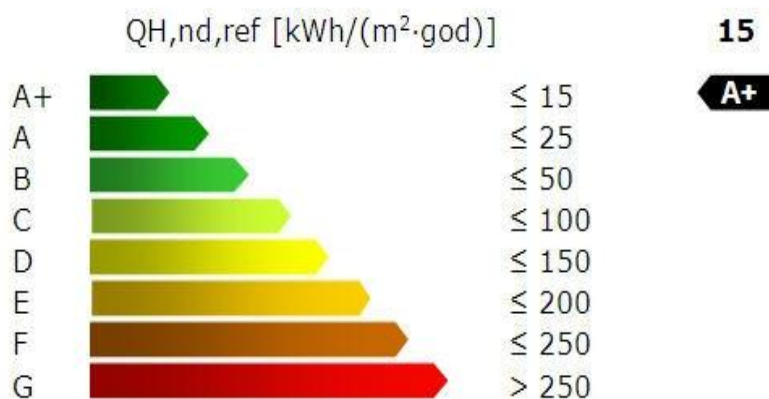
омогућава загревање/хлађење ваздуха који се убацује у простор преко размене температуре са "отпадним" ваздухом који се из објекта извлачи. Основне разлике између нискоенергетске и пасивне куће су:

- масивни слојеви изолације објекта,
- контролисана вентилација са рекуперацијом и могућношћу догрејавања/хлађења,
- прозори са 3-слојним стаклом пуњеним гасом или другим системима затварања конструкције прозора и врата,
- непостојање конвенционалног система грејања због врло ниских топлинских губитака.



Слика 2а

На слици 2б је приказана енергетска подела са примером пасивне куће (разред А+). "Обична" кућа могла би се сврстати у разред С, док би се, старији објекти на нашој територији могли сврстати у разреде Е или F:



Слика 2б Енергетска подела пасивне куће

5. "Нулта" енергетска кућа: то је објект који све своје потребе за енергијом добија само коришћењем сунчеве енергије, енергије ветрова и/или уз коришћење геотермалних извора, уз квалитетну топлотну изолацију. Оваква кућа лети дистрибуира вишак енергије, док исти зими потражује назад и на тај начин њен годишњи енергетски биланс је једнак нули. Објекти оваквих карактеристика још увек су зависни од прикључка на јавну електричну, топлинску или плинску мрежу и повремено током године је у неповољним (климатским) приликама зависе од спољних

дистрибутивних и енергетских градских система. Са друге стране ако су услови за производњу енергије из обновљивих извора, нарочито коришћење соларне енергије, повољни и резултују, доводе до веће производње енергије од оне која је у одређеном тренутку потребна за одржавање објекта, тада се вишкови пласирају у јавну мрежу. На тај начин настоји се да коначни баланс потрошње енергије буде једнак нули. Типично су овакве куће одлично изоловане и немају традиционалан систем грејања већ облачне, хладније дане премошћују коришћењем "резервоара топлоте". Она је приказана на слици 6.



Слика 3 Приказ нулте енергетске куће

6. Енергетски самостални, независни објекти: објекте овог разреда карактерише потпуна независност од јавних енергетских мрежа и традиционалних енергетских извора. Своју независност постижу постижу интегрисањем свих онбвљивих и еколошких система и начина сунчеве енергије, као и примену биоклиматских и термодинамичких принципа функционисања структуре објекта. Оваква врста грађевинских објеката није прикључена на јавну мрежу и сав вишак произведене енергије најчешће се користи усмерава и чува за примену у зимским месецима, путем система енергетских резервоара и акумулатора.

5. Термоизолација

Термоизолација ако је недовољна, доводи до повећаних топлотних губитака зими, хладних ободни конструкција, оштећења насталих кондензацијом (влажом) и прегрејавањем простора лети. Последице су оштећења конструкције, неудобно и нездраво становање и рад. Загревање таквих простора захтева већу количину енергије, што доводи до повећања цене коришћења и одржавања простора, али и до већег загађења околине. Побољшањем топлотних изолацијских карактеристика зграде могуће је постићи смањење укупних губитака топлоте грађевине за просечно од 40-80%.

5.1 Врсте топлотних изолација

Понуда топлотно изолационих материјала на тржишту је разнолика, а могу се поделити на анорганске и органске материјале. Од анорганских материјала највише се користе камена и минерална вуна, док је међу органским материјалима најпопуларнији

полистирен. Остали материјали са топлотно изолационим својствима су и глина, перлит, вермикулит, памук, дрвена вуна, целулоза, плута, слама и друго. Све већа потражња за топлотно изолацијским материјалима у све већим дебелинама довела је до развоја нових технологија, па се тако данас у свету могу наћи и прозирна и вакуумска топлинска изолација. Прозирна изолација омогућава пријем Сунчеве енергије и пренос у зграду, а истовремено спречава као и обична топлотна изолација губитке топлоте из зграде. Вакуумска изолација ради се у модуларним панелима, а због изузетних изолацијских својстава потребне су знатно мање дебелине од конвенционалне топлотне изолације за иста топлотна својства. Ова изолација још увек врло скупа и примјењује се највише код санација објеката где није могуће уградити веће дебелине изолације због нпр. споменичке вриједности објекта.

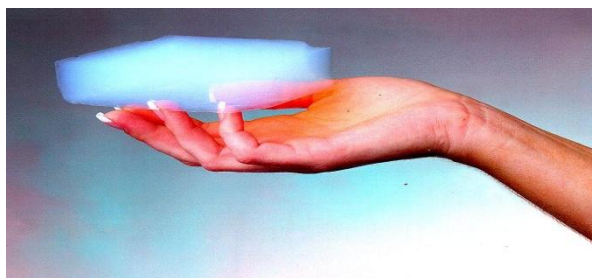
5.1.1 Аерогел

Аерогел је најлакши познати тврди материјал. Често се назива замрзнути дим или модри дим. Веома је крт, има највећу вредност топлотне изолације, најнижу густину и најнижу звучну проводљивост.

Ради се о силикатној чврстој супстанци која садржи 99,8% ваздуха. Ипак, веома дуго он није нашао никакву практичну примену и у великој мери је заборављен. Густина аерогела износи само $0,3 - 3 \text{ g/dm}^3$, а густина неких аерогелова је само за пар процената већа од густине ваздуха.

Иако наизглед имају нежну структуру, многи аерогелови имају веома добре механичке особине, а посебно су отпорни на притисак и развлачење. Могу да издрже притисак на глатку површину масе до 2000 пута веће од њихове. Ипак веома су крти (нису отпорни на ударце) и нису отпорни на савијање и сечење. Силикатни аерогелови су стабилни до температуре топљења силицијума тј. 1200°C . Овај материјал је приказан на слици 4.

Слика 4 Аерогел



5.1.2 Минерална вуна

То је изолацијски материјал минералног порекла за топлотну, звучну и противпожарну изолацију у грађевинарству, индустрији и бродоградњи. Камена вуна има високу отпорност на пожар, паропропусна је и делимично водоотпорна. Отпорна је на старење и распадање, а и на микроорганизме и пауке. Користи се у свим спољашњим конструкцијама за топлотну заштиту, као и у преградним зидовима за звучну заштиту. Једино место где се не препоручује је за изолацију подрумских зидова под земљом.

Добија се или продувавањем паре (ваздуха) кроз ужарену шљаку високих пећи или прелијевањем масе дијабаза (на темп. од $1600-1700^\circ\text{C}$) преко брзо ротирајућих,

шамотних дискова. Добијене fine стакласте нити слажу се у “вуну”. Густоћа ове вуне се креће између 40-50 и 200-300 kg/m³, а зависи од степена збијености. Припрема се у растреситом стању у виду јастука (у ролнама, на мекој подлози или једноставно проширених на пергаменту) и у облику полутврдиh плоча уз додатак везива, фенолних смола. Ове су плоче због тих смола отпорне само до температура од 250 °C. Иначе необрађена вуна подноси температуре до 800 °C. Минерална је вуна, у било којем виду, премекана за директну подлогу хидроизолацији. Ако се уграђује у вертикалном положају, мора се осигурати придржавање (осим за плоче).

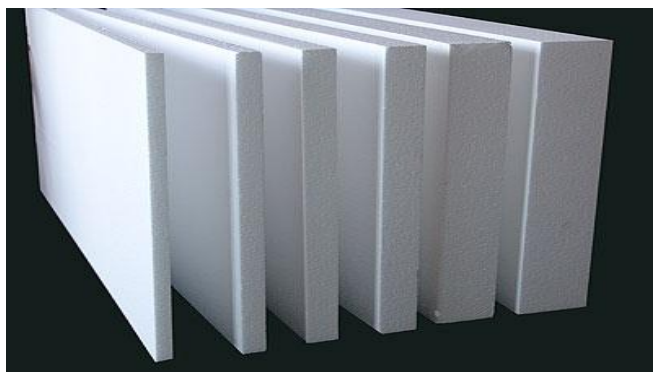
Под минералном вуном се подразумевају и стаклена вуна и камена вуна. Разлика између њих је у сировини од које се добијају, технолошком поступку и крајњим особинама материјала. Главна сировина од које се добија стаклена вуна је кварцни песак с додатком рециклираног стакла. Камена вуна се добија од камених минерала, доломита, базалта и диабазе с додатком кокса. Ово је приказано на слици 5.



Слика 5 Минерална вуна

5.1.3 Полистирен

Полистирен је синтетички ароматски полимер изграђен од стирена, течне петрохемијске супстанце. Полистирен може да буде чврст или у облику пене. Полистирен за уобичајену употребу је транспарентан, трд и крт. Овај полимер има ниску цену по јединици тежине. Веома је пропустљив за кисеоник и водену пару и има релативно ниску температуру топљења. Полистирен је један од највише коришћених пластичних материјала. Обим производње износи неколико милијарди килограма годишње. Природно је безбојан, али се може обојити. Приказ на слици 6.



Слика 6 Полистирен

6. Топлотни мостови

Топлотни мостови су ограничена подручја са густоћом топлотног протока која је већа у односу на друга подручја грађевинских елемената. Услед локално повећаног одвођења топлоте пада температура површине на унутрашњој страни грађевинског елемента. Тиме расте ризик повећања влажности. До тога долази када температура површине унутрашње стране грађевинског елемента у подручју топлотног моста падне испод температуре росе ваздуха површине. Последица је настајање кондензата на површини грађевинског елемента. Под одређеним условима (влажност, температура, трајање изложености) може доћи до стварања буђи. То не представља само оптички недостатак, већ може изазвати и здравствене потешкоће, нпр. алергијске реакције. Учинак топлотних мостова још се појачава погрешним загревањем и прозрачивањем.

У начелу се топлински мостови могу поделити у две групе:

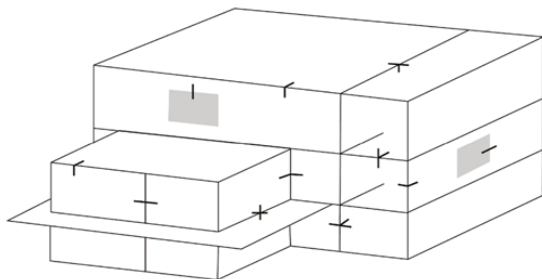
- геометријски условљени топлински мостови који могу бити тачкасти, дводимензионални и тродимензионални
- топлотни мостови условљени материјалима.

У пракси се често сусреће преклапање оба феномена. Типични представник геометријског топлотног моста је спољни угао. У неометаном подручју грађевинског елемента, унутрашња површина која преузима топлоту и спољна површина која предаје топлоту, исте су величине. У супротности са тиме јесте случај када је спољна површина, која предаје топлоту у подручју угла, значајно већа од унутрашње површине која преузима топлоту. Резултат је повећани топлотни ток у подручју угла. Материјалима условљени топлотни мостови карактеризовани су подручјима грађевинског елемента који се налазе једни до других, а код којих постоје значајне разлике у топлотној проводљивости. Примери за то су спој плафона на спољни зид, пролазна плоча од армираног бетона у подручју балкона или носачи од армираног бетона у зиду код скелетне конструкције.

Дводимензионални или линијски топлотни мостови (приказ на слици 7) , углавном се појављују дуж споја два грађевинска дела (углови, судари, продори), а формирају се због промене грађевинског дела у смислу промене врсте материјала, дебљине материјала или геометрије.

Слика 7

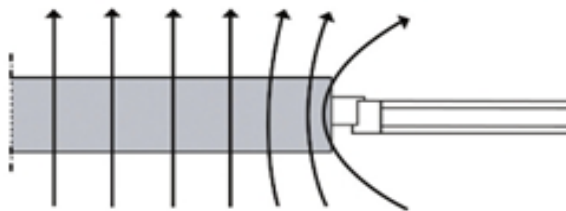
Дводимензионални топлотни мост



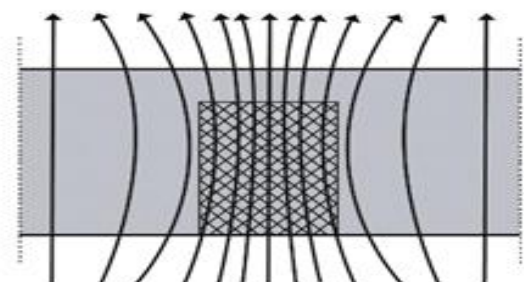
Геометријски топлотни мостови (приказ на слици 8) настају на местима где је промена дебљине слоја материјала или промена геометрије грађевинског дела, јер постоји разлика између површина кроз које улази и излази топлота.

Слика 8

Геометријски топлотни мост



Конструкцијски топлотни мостови (приказ на слици 9) су места где се спајају различити материјали због различитих својстава појединих материјала, што резултира различитим токовима топлоте и узајамног деловања.

**Слика 9**

Конструкцијски топлотни мост

Тродимензионални топлотни мостови се појављују на спојевима спољних зидова са:

1. кровом
2. продором кроз спољни омотач (балкони конзоле и слично)
3. плафоном изнад негрејаног или отвореног простора

7. Избегавање топлотних мостова

Један од кључних аспеката изградње нискоенергетске зграде чини пажња посвећена топлотној изолацији. То значи коришћење правих материјала одговарајуће дебљине који пружају добре топлотне карактеристике. Али то само није довољно. То такође значи да топлотна изолација мора бити правилно постављена тако да нема рупа и пропусти куда би топлота могла да изађе и умањи ефекат те топлотне изолације. Избегавање ових такозваних топлотних мостова је заиста неопходно уколико се граде квалитетне нискоенергетске зграде. Ово је један од аспеката коме се још увек у Србији не поклања нарочита пажња. Инфрацрвени термички приказ зграде је приказан на слици 10.

**Слика 10** Инфрацрвени термички приказ зграде

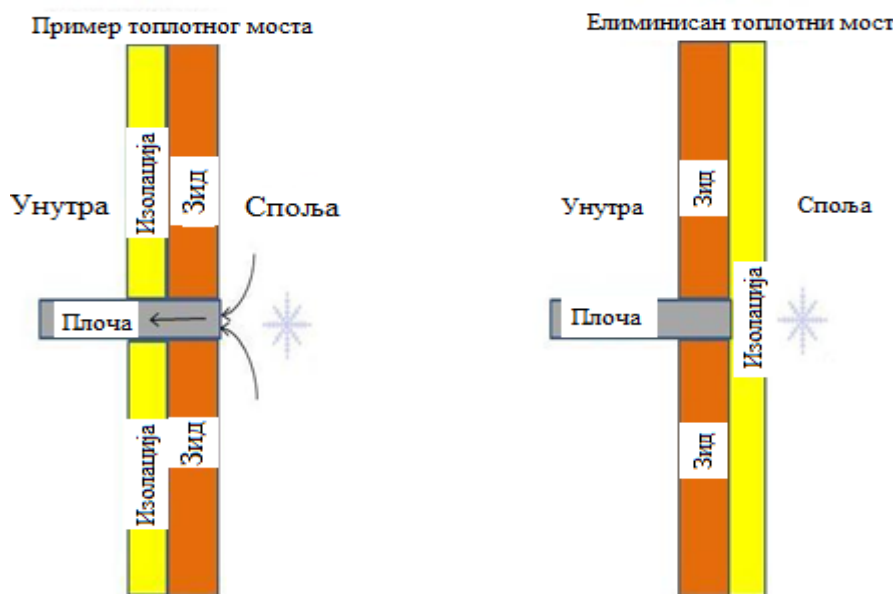
Препоруке за смањење утицаја топлотних мостова:

- разрада пројекта са детаљним решавањем свих топлотних мостова
- постићи континуираност уградње топлотне изолације (без прекида) где год је то технички могуће
- ако постоји додатна топлиотна изолација, поставити је са спољне стране
- прозоре уградити у равни са спољном топлотном изолацијом
- топлотно изоловати кутије за ролетне
- уграђивати елементе за прекид топлотних мостова код продора грађевинских делова слабих топлотно-изолацијских својстава кроз спољни омотач зграде (нпр. продор армирано бетонске плафонске плоче).
- топлотно изоловати подножје зидова, а топлотну изолацију провући делом преко темеља
- зоне зидова негрејаних или отворених простора који се настављају у грејане просторе, обавезно топлотно изоловати у дужини најмање 50 цм од споја конструкција (продужење топлотног моста).

7.1 Изолација изнутра

Типичан пример топлотног моста је када је изолација постављена са унутрашње стране објекта. Бетонска плоча која се ослања на зид није изолована и као таква у зимском периоду представља хладан мост, хладећи под у просторији. Последице тога су губитак енергије и непријатно хладан под и зид у том делу просторије. Такође може да дође до појаве кондензације.

У овом случају зид са својом термалном масом нема никакав утицај на микро климу у објекту јер је одвојен топлотном изолацијом, што је још један недостатак оваквог начина изолације. При том је и сам зид изложен температурним променама. Овај пример је приказан на слици 11.

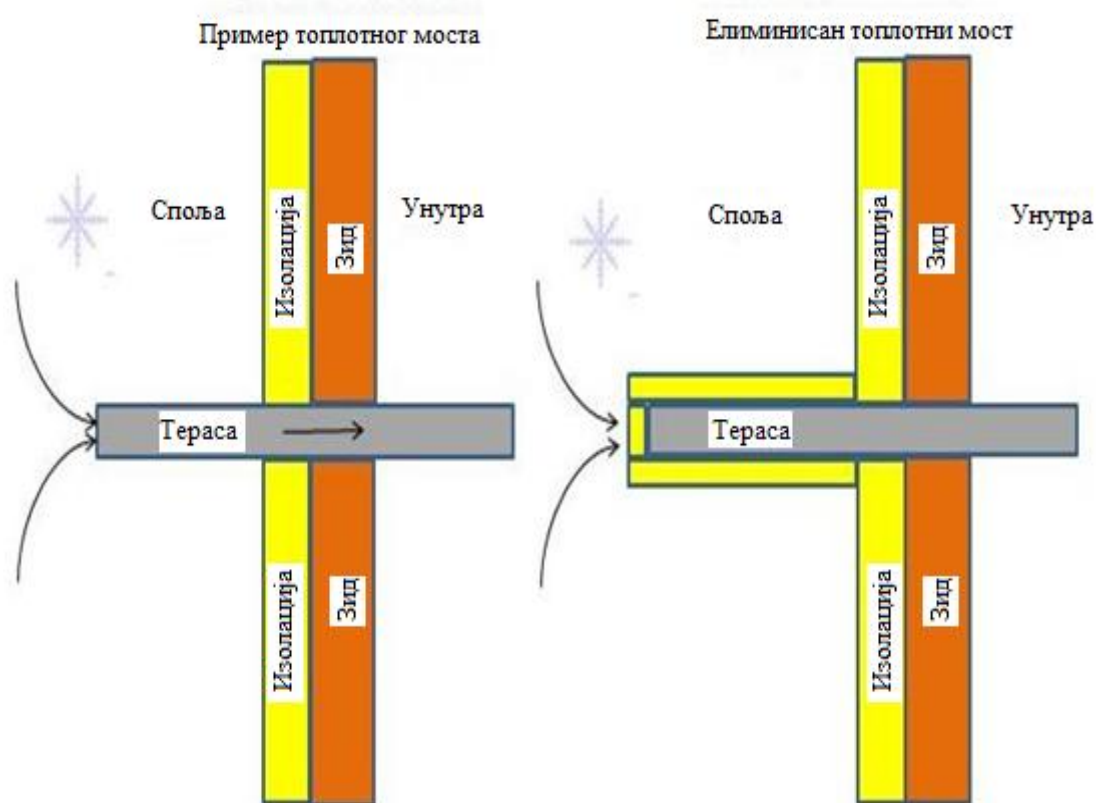


Слика 11 Приказ изолације изнутра

7.2 Бетонска тераса или балкон као термички мост

Спој са балконом или терасом је један од најчешћих извора геометријских топлотних мостова. Армирана бетонска плоча има висок фактор топлотне проводљивости и пресеца слој топлотне изолације. То узрокује пролазак топлоте који води снижењу унутрашње површинске температуре.

Без обзира на врсту изолације, балкони увек креирају топлотни мост који се не може лако избећи. То захтева додатну бригу, и према томе, додатни трошак. И то је вероватно један од разлога зашто нико у Србији не води рачуна о избегавању ових топлотних мостова. Овај пример приказан је на слици 12.

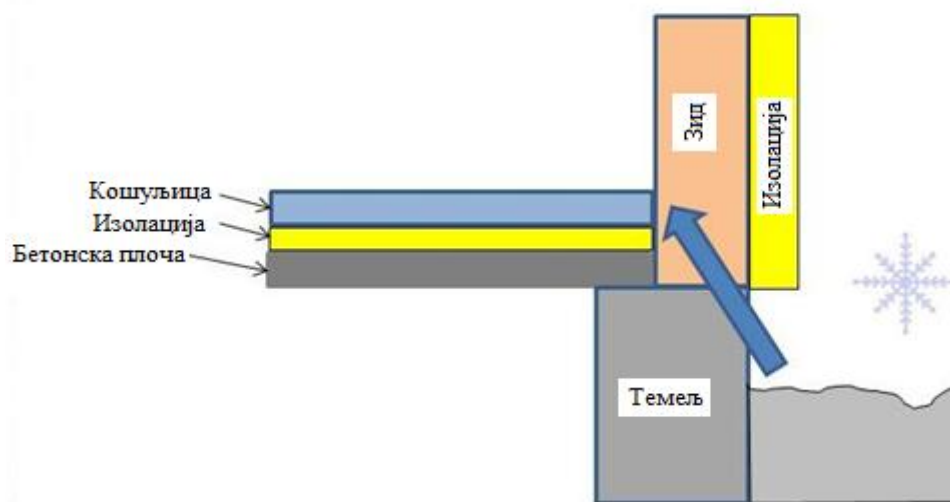


Слика 12 Приказ бетонске терасе као термичког моста

Након постављања изолације на зидове са спољне стране, тераса представља топлотни мост који проводи топлоту хладећи и под у просторији и зид који пресеца. Као и у претходном примеру последица је губитак енергије и хладан под и зид у просторији на којима може да дође до појаве кондензације. Ако је посао већ завршен, односно у питању је адаптација већ саграђеног објекта онда је једноставно неопходно обложити читаву терасу изолационим материјалом, уз све остале пропратне елементе који иду након изолације како би се она заштитила. Данас постоје савремена решења за овај проблем, при самом изливању плоче се уграђују изолациони елементи у равни са зидом који имају потребну чврстину и у значајној мери спречавају пролазак топлоте.

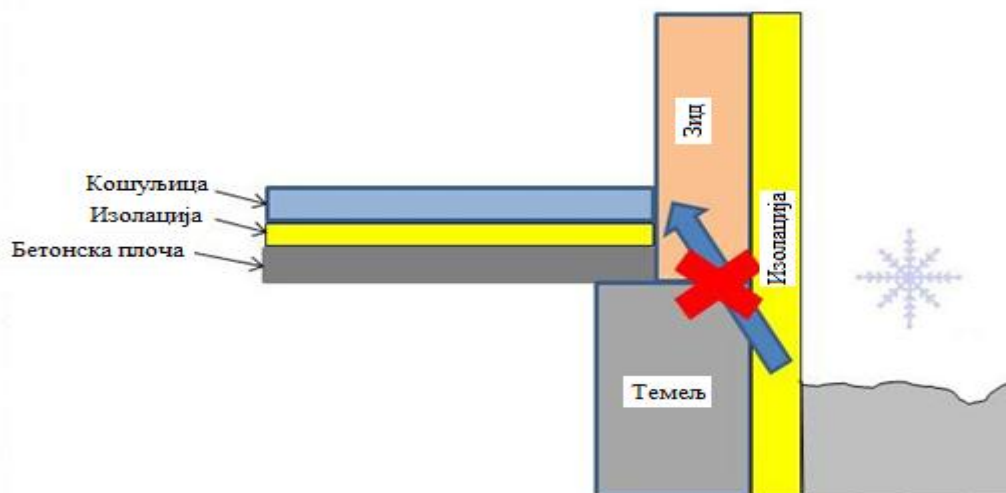
7.3 Спој темеља, зида и пода

Још један занимљив пример топлотног моста је приказан на слици 13. Спој зида и темеља или пода и темеља је најчешће топлотни мост који се у већини случајева не може у потпуности отклонити, али се његов утицај може ублажити. Често се дешава да и након постављања изолације на зид и у под ипак долази до кондензације у доњем делу зида, јер је зид и даље хладан. Наравно, кондензација није обавезна појава, али топлотни губици ипак постоје у том делу.



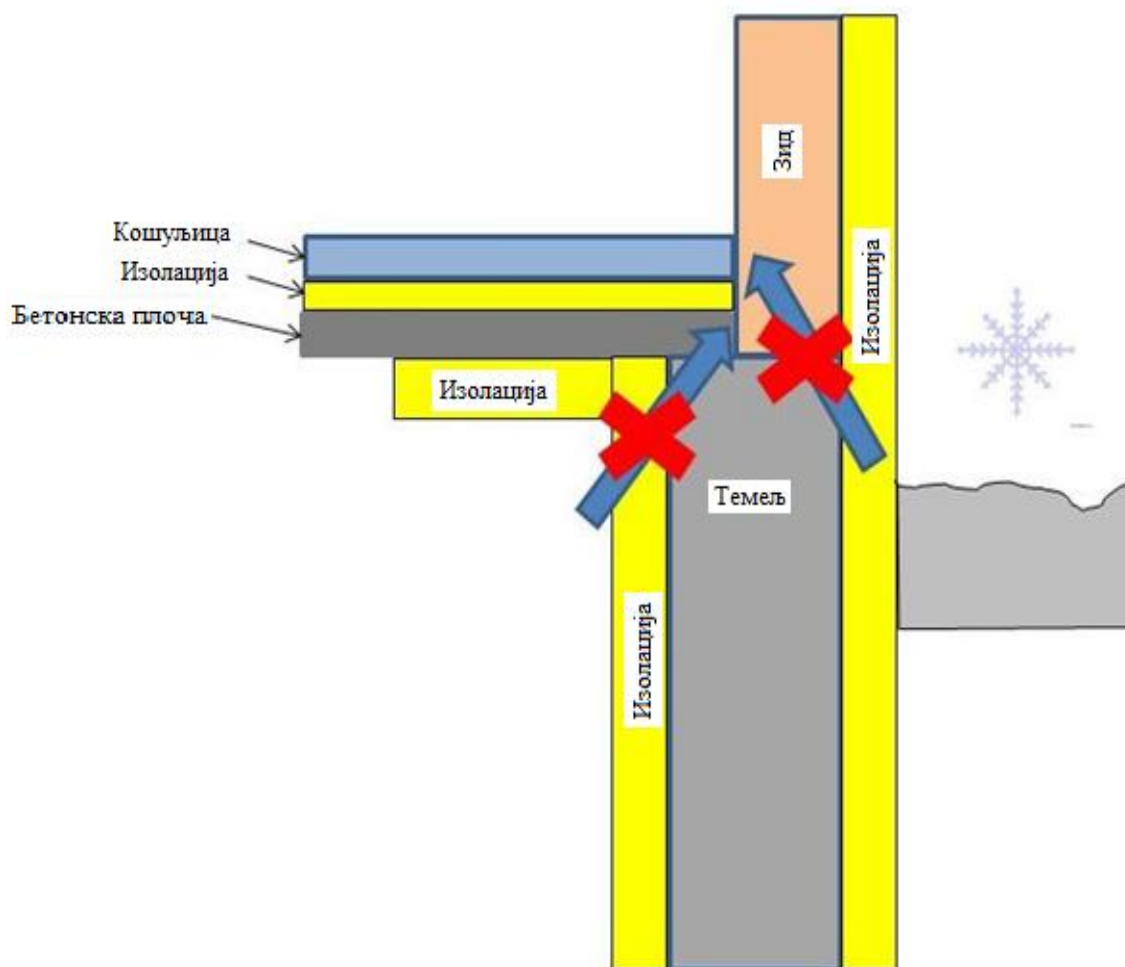
Слика 13 Спој темеља и зида

Постоји неколико начина да се ефекти овог хладног моста ублаже, један о њих је да се са спољне стране изолује темељ. Ако је могуће, добро је са изолационим материјалом потпуно изоловати темељ, до најниже тачке у земљи. Ово је једино прихватљиво решење када је објект већ завршен и нема подрум испод, него је унутрашња плоча на земљи. Наредна слика 14 илуструје овај пример.



Слика 14 Изолован темељ са спољне стране

Уколико потоји подрум испод куће, који се не греје, онда је још боље да се темељ изолује и са унутрашње стране. Плафонска плоча у подруму, преко које је постављена топлотна изолација и кошуљица у просторији такође може да представља термички мост. Она је ослоњена на темељ и у индиректној је вези са зидом. Због тога је у случају подрума који се не греје неопходно изоловати и његов плафон. Циљ је, дакле, да се што више продужи пут топлоти кроз материјале који имају релативно велику топлотну проводност, односно малу топлотну отпорност, у овом случају бетон. Ово је приказано на слици 15.

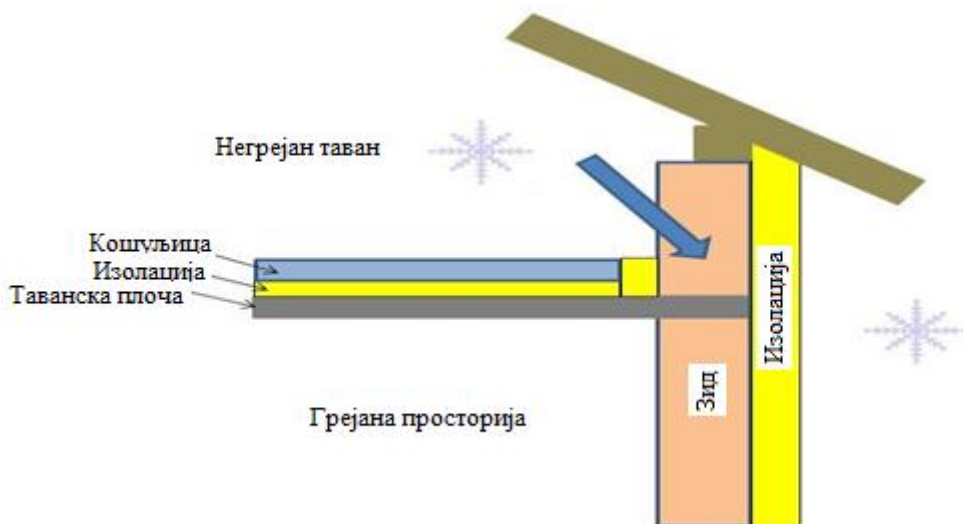


Слика 15 Иолован подрум са спољне и унутрашње стране

Данас постоје савремена решења за овај проблем којима се у великој мери, па чак и потпуно може елиминисати топлотни мост између темеља, зида и пода. Једно решење применљиво је код такозваних лаких конструкција, као што су монтажне куће. То су калупи од изолационог материјала (слика 16) који обавијају темељ који носи основну конструкцију куће. Направљени су од веома густог експандираног полистирена (ЕПС) који може да издржи велико оптерећење.

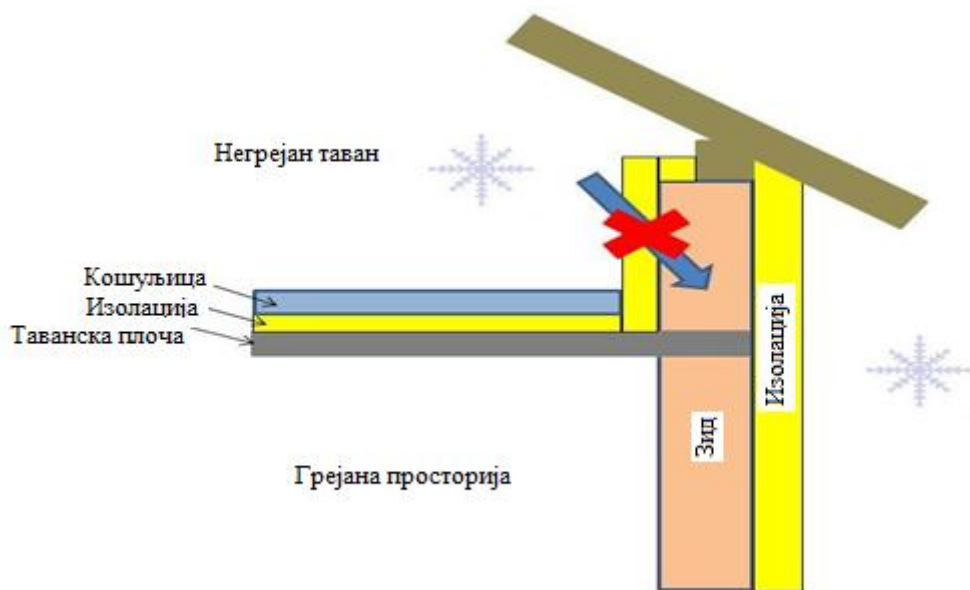
7.4 Тавански надзидак и забат

Чест случај топлотног моста се може видети и на тавану који се не греје. Постављена је топлотна изолација са спољне стране објекта, изолована таванска плоча, међутим забат или надзидак представљају хладан мост. Овај случај је представљен илустрацијом на слици 19.



Слика 19 Забат и надзидак као топлотни мост

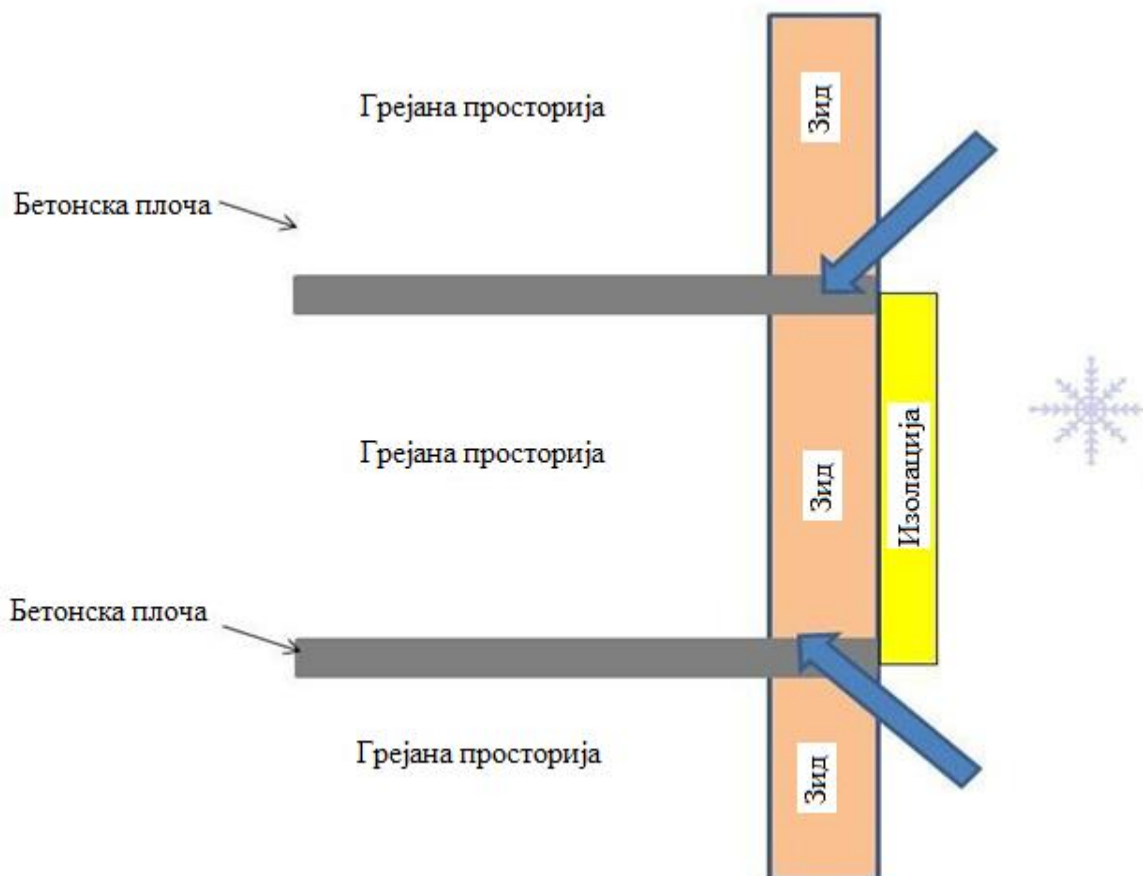
Како би ублажили ефекат овог хладног моста неопходно је изоловати надзидак и забат са унутрашње стране. Најбоље би било изоловати читаву унутрашњу површину ова два зида, али ако се изолује и до висине од 1м, значајно ће се умањити ефекат хладног моста. Ово је приказано на слици 20.



Слика 20 Изоловани забат и надзидак

7.5 Парцијална изолација

Честа грешка у последње време је и парцијална изолација одређених делова објекта (слика 21) . Најтипичнији пример је стамбени објекат са више стамбених јединица, где одређени станари поставе топлотну изолацију на део спољног зида који припада само њиховом стану.

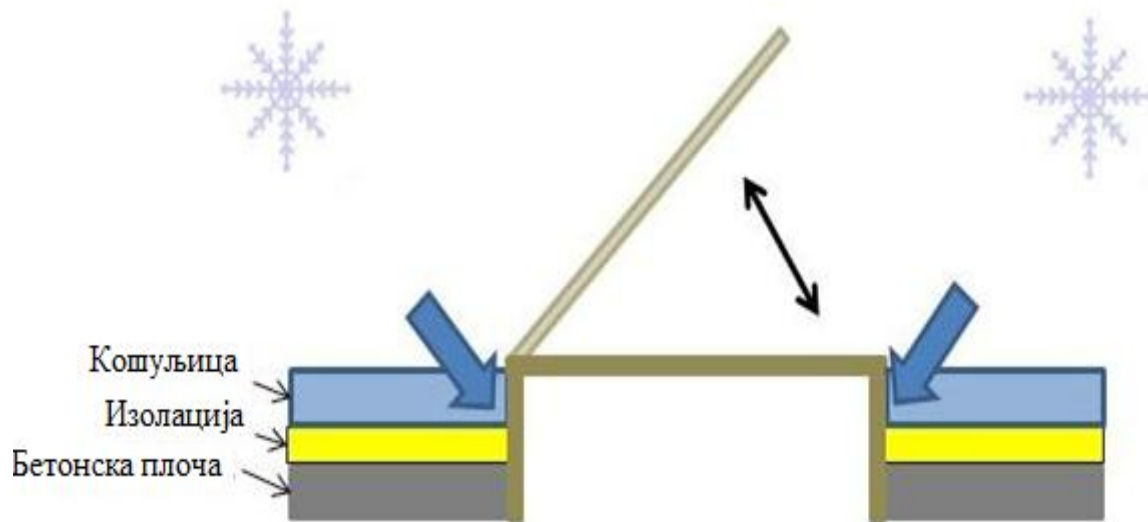


Слика 21 Изолација само одређених делова

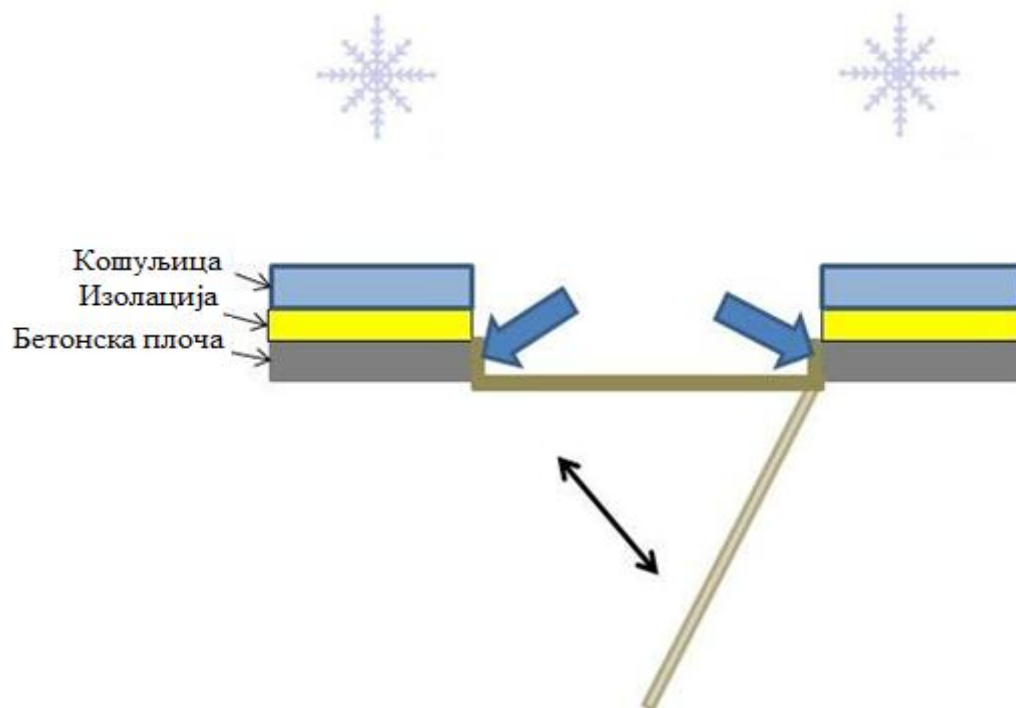
7.6 Тавански отвор

Отвор који је предвиђен за одлазак на таван такође може да представља термички мост, односно да утиче на повећање топлотних губитака. Често је затворен поклопцем ако је у питању таван који се ретко користи или има врата са расклопивим мердевинама, у случају да је таван чешће у употреби. На наредним сликама 22 и 23 приказано је неколико примера појаве термичког мост и како се може решити.

На таванској плочи се налази термоизолација и бетонска кошуљица преко ње. Било да су врата са горње или са доње стране, ако немају термоизолационе карактеристике она исто представљају хладан мост. Оквир на која су она фиксирана такође представља термички мост.

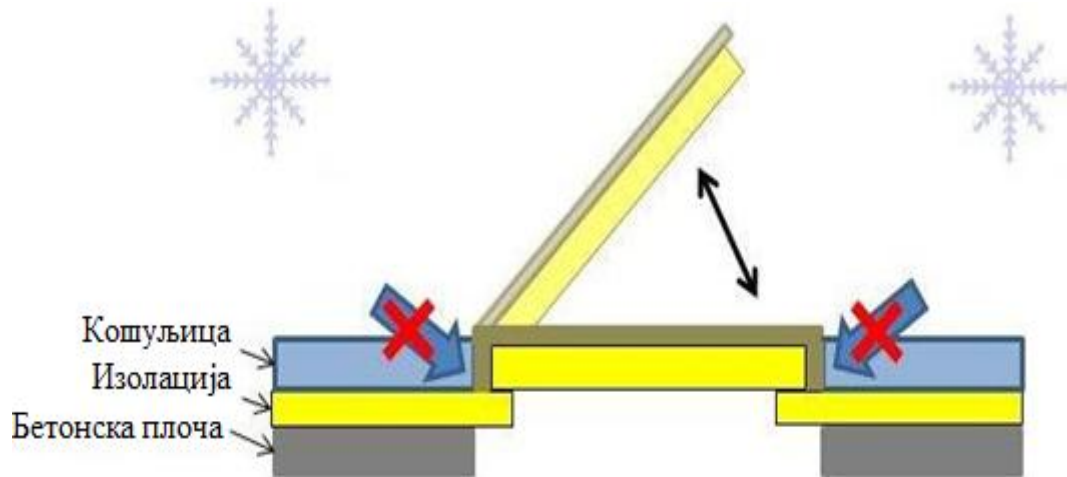


Слика 22 Топлотни мост на вратима таванског отвора када се отварају ка крову

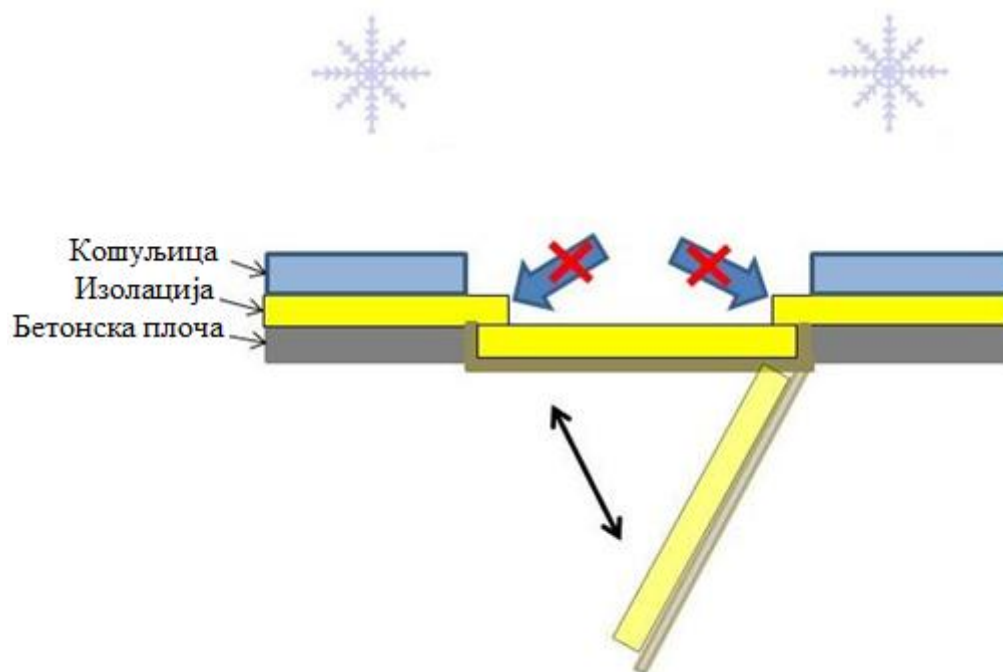


Слика 23 Топлотни мост на вратима таванског отвора када се отварају ка просторији

Када су врата затворена не сме да постоји прекид у изолацији, а друга веома битна чињеница је да не сме да постоји струјање ваздуха. Дакле, чиме год да затворимо отвор мора савршено да дихтује. Како то у принципу треба да изгледа може се видети на сликама 24 и 25 које следе.



Слика 24 Решење топлотног моста на таванском отвору при отварању ка крову



Слика 25 Решење топлотног моста на таванском отвору при отварању ка просторији

7.7 Изолација таванске плоче на примеру

Постоји много производа на тржишту којима се решава овај проблем, од таванских врата са мердевинама које имају декларисану вредност топлотне пороводљивости и гуму која заптива када су врата затворена до разних поклопаца од тврдог или меког материјала који такође херметички затварају отвор и имају термоизолационе карактеристике.

Наредни пример приказује како је овај проблем решен у једној кући у Новом Саду. Таванска плоча је изолована са 15cm стиропора (3x5cm). Првих 5cm је залепљено за таванску плочу грађевинским лепилом а затим је остатак од 10cm поређан преко. Поређани су тако што су плоче мало смакнуте како не би било струјања ваздуха. Пошто се таван ретко користи није стављана бетонска кошуљица, само су поређане даске. Даске су довољно чврсте и терет се распоређује по стиропору тако да се не оштећује.

Првобитна таванска врата су била од иверице која се временом извила и врата нису била равна него су на средини имала трбух. То је за последицу имало огроман отвор куда се губила топлота и било је практично немогуће затворити га. Проблем са старим вратима је био и што су шрафови којима су мердевине и шарке биле причвршћене за њих пролазили кроз иверицу. Метал одлично проводи топлоту, те се јављала кондензација на шрафовима са унутрашње стране објекта, што је додатно утицало на иверицу. Ова врата су замењена новим вратима са расклопивим мердевинама која имају декларисану топлотну проводност од $1,22 \text{ W/m}^2\text{K}$. Као што се може видети на следећим сликама 26 и 27, шрафови не пролазе кроз поклопац врата, чиме је елиминисан топлотни мост.



Слика 26 Елиминисани топлотни мост



Слика 27 Шраф не пролази кроз поклопац врата

8. Улога инфрацрвене термографије

Велики део укупне потрошње енергије отпада на остваривање топлотног комфора у зградама. Инфрацрвена термографија показала се као изузетно корисна метода за визуелизацију топлотних губитака кроз елементе конструкције код истраживања потенцијала повећања енергетске ефикасности зграда. Термографским снимањем зграда, те каснијом стручном интерпретацијом могуће је лоцирати недостатке конструкције и усмерити захвате на санацији према оптималном побољшању енергетске ефикасности система зграде. Недостаци у конструкцији који се могу установити термографским снимањем су:

- нехомогеност материјала зида,
- неисправност или непостојање топлотне изолације,
- влага у конструкцији,
- проблеми равних кровова,
- топлотни мостови,
- отворени пропусти за ваздух-вентилације, фуге и слично, као и концентрација инсталација у зиду.

Осим тога, инфрацрвеном термографијом је могуће детектовати хаварије или мања пропуштања система у смислу процуривања инсталација уграђених у зидове и/или енергетске канале, али такође и евентуалне недостатке и оштећења изолације уграђених инсталација која се не могу установити обичним визуелним прегледом система.

Савремена термографија базирана је на способности инфрацрвене камере да региструје топлотну енергију коју зраче површине тела, открије све неправилности температурног зрачења подлоге, и то претвори у слику, тзв. термограм.

ИЦ термографија данас се показује као изузетно корисна метода у истраживању и унапређивању енергетске ефикасности у зградарству. Помоћу термографских снимака делова конструкције могуће је врло брзо препознати недостатке повезане с топлотним карактеристикама, открити узроке и предложити санацију. Могућност бесконтактног и даљинског снимања укупног температурног поља површине посматраног објекта даје велике предности у односу на класичне анализе конструкције. Примена је подједнако корисна на постојећим објектима, објектима под заштитом као и новим објектима. Управо због наведених

разлога у развијеним земљама се метода термографије све више уводи као обавезна метода код контроле при примопредаји објеката, као и у редовном надзору и одржавању објеката, посебно објеката јавне намене.

Истраживања показују да међу трошковима градње и погона зграде на првом месту често стоје трошкови одржавања. Стога примена термографије може донети значајне уштеде било путем краткорочног спречавања озбиљне деградације система конструкције или пак дугорочног подизања енергетске ефикасности зграде. Уређај који бележи инфрацрвену термографију је приказан на слици 28.



Слика 28 Приказ апарата за инфрацрвену термографију

Циљ даљег развоја примене термографије у зградарству је:

- Помоћ при прегледу и оцени квалитета нових зграда путем одређивања параметара топлотне ефикасности изведене конструкције зграде
- Увођење термографије као стандардне методе за ефикасно одржавање постојећих зграда
- Одређивање топлотне ефикасности зграде мерењем губитака топлоте кроз спољашњи омотач зграде
- Унапређење зградарства на подручју пројектовања и градње, нарочито са становишта уштеде енергије

9. Ризик формирања буђи и кондензације

У пределу око топлотног моста, увећани губици топлоте узрокују значајан пад унутрашње површинске температуре. Чим површинска температура падне испод одређене границе, постоји ризик од формирања буђи. Уколико температура у површинском делу падне још више, влага која је иначе природно присутна у просторији ће се кондензовати на тој хладној површини у форми капљица. Напоменимо да на формирање буђи и кондензације снажно утиче квалитет унутрашњег ваздуха. Без правог вентилационог система који обнавља ваздух, ниво влаге ће бити већи и могућност стварања буђи и кондензације је још већа. Формирање буђи и кондензација ће довести до различитих оштећења зграде. То може утицати на унутрашњу фарбу, малтер, дрво или тапете и лагано узроковати распадање структуралних елемената.



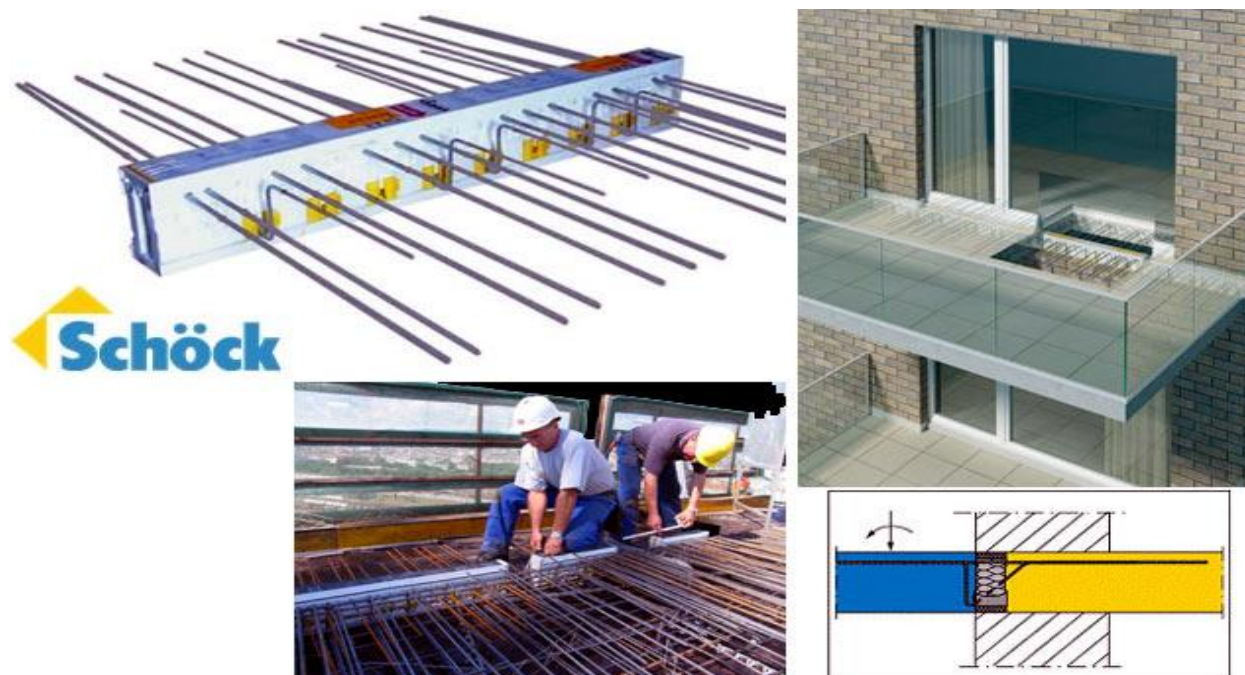
Слика 29 Формирање буђи узроковано топлотним мостовима

9.1 Ризик по здравље

Једном када се буђ формира у пределу топлотног моста, ослобађа споре у просторију. Овеспоре могу проузроковати различите ефекте на здравље; од мањих алергијских реакција као иритиране очи, нос, и грло па до увећаних астматичних симптома. То је зато што су споре алергени који изазивају синусе, рхинитис и астму. Пошто је изложеност у просторији обично продужена, постоји ризик да ове алергијске реакције прерасту у хронична оболења. Да поновимо, недовољна обнова унутрашњег ваздуха довешће до формирања буђи и увећаће њене негативне ефекте по здравље људи. Нажалост, лош квалитет градње ће акумулирати недостатке као што су многобројни топлотни мостови и одсуство праве вентилације.

10. Уградња топлотних мостова

Решења да би се избегли топлотни мостови или умањило њихово дејство на неки прихватљив ниво дефинитивно постоје. Постављање спољашње топлотне изолације или градња са широким опека блоком је најбољи начин спречавања већине топлотних мостова. За преостале топлотне мостове, посебно код балкона и тераса, постоје одлични производи који их комплетно решавају.



Слика 30 Schöck ISOKORB® за спречавање топлотног моста код балкона или тераса

Schöck isokorb је један од примера(приказ уградње на слици 30). То је носиви термо-изолациони елемент који формира топлотни прекид између балкона и унутрашњег пода. Овај елемент је специјално направљен да преноси оптерећење и одржава пун структурални интегритет. Он упарује тврди полистирен за топлотни прекид и нерђајући челик за одржавање структуралног интегритета. Избегавање очигледних топлотних мостова је неопходно да би изградиле квалитетне зграде. Међутим, овај елемент једном уграђен је невидљив у завршеној згради, и зато што људи нису довољно упућени у овај проблем, врло мало инвеститора у Србији, ако и један, га за сада користи у изградњи.

11. Закључак

Топлотни мостови представљају стварни проблем који не би требао бити превиђен код квалитетне градње и требало би обратити пажњу на њих још у току градње стамбених зграда и кућа. Ови мостови узрокују значајне топлотне губитке који доводе до смањења енергетске ефикасности објекта која је у Србији на најнижем степену у Европи. Уклањајући ове мостове уз неку од описаних метода и постављање саме изолације може допринети побољшању степена ефикасности и бољем искоришћењу топлоте. Ови мостови омогућавају појаву буђи, потенцијално узрокујући озбиљне здравствене проблеме и оштећење зграде. Ипак, одлична решења која их спречавају су доступна у Србији. Данас, не постоји прави изговор некоришћења оваквих решења, при изградњи стамбених зграда и кућа.

12. Литература

1. www.ekoneimar.rs
2. www.beodom.rs
3. www.wikipedia.com
4. www.ytong.rs
5. www.designn2.com/home/energetska-efikasnost-gradevinskih-objekata
6. Слободан Зрнић, Живојин Ћулум, “Грејање и климатизација”,
Научна књига, осмо издање
7. Данило Бајчетић, “Правила прорачуна потребне топлоте за грејање
зграда”, Смеитс, 1997
8. Драган Марковић, “Процесна и енергетска ефикасност”, 2010