

Կանաչ Ճարտարապետություն  
Էներգաարդյունավետություն և վերականգնվող էներգիա

# Green Architecture

## Energy Efficiency & Renewable Energy



The textbook is developed and published in the framework of "Improving Energy Efficiency in Buildings" UNDP-GEF project.

web-site: [www.nature-ic.am](http://www.nature-ic.am)  
[www.am.undp.org](http://www.am.undp.org)

ISBN 978-9939-1-0230-6

ԳԼԽԱՎՈՐ ԳԵՐԻՆԱԿ | LEAD AUTHOR

Ալեն Ամիրխանյան  
Alen Amirkhanyan

ԻՍՏԱՅԵՐԻՆԱԿՆԵՐ | CONTRIBUTING AUTHORS

Տիգրան Սեկոյան [մոդուլներ | modules 5; 6; 7; primary author of]  
Tigran Sekoyan [module 9 | մոդուլ 9-ի հիմնական հեղինակ]

Ռուբեն Համբարձումյան [մոդուլ | module 5]  
Ruben Hambartsumyan

Արտակ Համբարյան [մոդուլ | module 6]  
Artak Hambarian

### Module 5

## ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS: BUILDING ENVELOPE



### Մոդուլ 5

## ՇԵՆՔԵՐՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԽՆԱՅՈՂՈՒԹՅՈՒՆԸ. ԱՐՏԱՔԻՆ ՊԱՏՈՂ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ





**Module 5**  
**ENERGY EFFICIENCY IN BUILDINGS:**  
**BUILDING ENVELOPE**



**Մոդուլ 5**  
**ՇԵՆՔԵՐՈՒՄ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԽՆԱՅՈՂՈՒԹՅՈՒՆԸ.**  
**ԱՐՏԱՔԻՆ ՊԱՏՈՂ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐ**

**Module 5**

**Մոդուլ 5**

Module Plan and Learning Outcomes	145	Մոդուլի պլանը և ուսուցման արդյունքները
Core Concepts	146	Հիմնական հասկացությունները
<b>INTRODUCTION</b>	<b>147</b>	<b>ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ</b>
<b>THERMAL COMFORT AND BUILDINGS</b>	<b>148</b>	<b>ՇԵՆՔԵՐԸ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀԱՐՄԱՐԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ</b>
<b>BOX 1. HEAT TRANSFER AND LOSS</b>	<b>153</b>	<b>ՆԵՐԴԻՐ 1. ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀՈՍՔԸ ԵՎ ԿՈՐՈՒՄՏՆԵՐԸ</b>
<b>INSULATION AND THE BUILDING ENVELOPE</b>	<b>154</b>	<b>ՊԱՏՈՂ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՍԵԿՈՒՄԱՑՈՒՄԸ</b>
Insulation Materials	154	Ջերմամեկուսիչ նյութեր
Thermal Insulation Values of Materials: R-Value and U-Value	165	Նյութերի ջերմային պաշտպանության արժեքները: R-արժեք և U-արժեք
Thermal/cold bridges	169	Ջերմային/ցրտի կամրջակներ
<b>BUILDING-ENVELOPE SYSTEMS AND THEIR INSULATION</b>	<b>171</b>	<b>ՊԱՏՈՂ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ</b>
Installation of Insulation Materials	171	Ջերմամեկուսիչ նյութերի տեղադրումը
Exterior Wall Systems	173	Արտաքին պատերի համակարգեր
Roofs	176	Տանիքներ
Openings: Windows, Doors, Skylights	181	Բացվածքներ: Պատուհաններ, դռներ, երդիկներ
<b>BOX 2. BIRDS AND GLASS IN BUILDINGS: A BIG THREAT BUT WITH SIMPLE SOLUTIONS</b>	<b>184</b>	<b>ՆԵՐԴԻՐ 2. ԹՈՉՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԱՊԱԿԻՆ ՇԵՆՔԵՐՈՒՄ. ՊԱՐԶ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐՈՎ ՍԵԾ ՍՊԱՌՆԱԼԻՔ</b>
Reading List	187	Ընթերցանության նյութեր
Audiovisual Materials	187	Տեսաձայնային նյութեր
Discussion Questions	187	Հարցեր բանավեճերի համար

## Module Plan and Learning Outcomes

### PLAN:

Outline and explain the core concepts of achieving greater energy efficiency in buildings through the effective design of the components of the building envelope: walls, roof, flooring, and openings.

### Student Learning Outcomes:

- Demonstrate the ability to explain the relationship between energy efficiency and the building envelope;
- Demonstrate understanding of building envelope insulation material options with their pros and cons;
- Demonstrate understanding of building envelope insulation installation options with their pros and cons;
- Demonstrate understanding of thermal comfort and its various contributing factors in a building;
- Demonstrate understanding of core thermal insulation concepts such as thermal conductivity of a material, U-value, R-value, and thermal bridge.

## Մոդուլի պլանը և ուսուցման արդյունքները

### ՊԼԱՆ

Բնութագրել և բացատրել շենքերի արտաքին պատող կոնստրուկցիաների՝ պատերի, տանիքի, հատակների, բացվածքների արդյունավետ նախագծման շնորհիվ նրանցում ավելի մեծ էներգախնայողությանը հասնելու հիմնական հասկացությունները:

### Ուսանողների ուսուցման արդյունքները.

- Շենքի արտաքին պատող կոնստրուկցիաների և նրա էներգախնայողության միջև եղած կապի հասկացություն և բացատրման հմտություն,
- Ջերմամեկուսիչ նյութերի դրական և բացասական կողմերի, ինչպես նաև նյութի ընտրության չափանիշների հասկացություն,
- Ջերմամեկուսացման իրականացման հնարավոր տարբերակների և դրանց դրական ու բացասական կողմերի հասկացություն,
- Շենքերում ջերմային հարմարավետության և դրան առնչվող տարատեսակ գործոնների հասկացություն,
- Շենքերի ջերմային պաշտպանության հիմնական հասկացությունների ընկալում, ինչպիսիք են՝ նյութի ջերմահաղորդականությունը, ջերմափոխանցման դիմադրության R արժեքը, ջերմափոխանցման U արժեքը և ջերմային/ցրտի կամրջակները:

## Core Concepts

Building envelope  
Thermal insulation  
Thermal insulation materials  
Key decision factors in selecting thermal insulation materials  
R-value  
U-value  
External thermal insulation  
Internal thermal insulation  
Warm roofs  
Inverted roofs  
Green roofs  
Cool roofs  
Exterior walls  
Double-skin facades  
Double-glazed facades  
Ventilated facades  
  
Masonry walls  
Finishing and cladding  
Thermal bridges  
Ventilation

## Հիմնական հասկացությունները

Պատող կոնստրուկցիաներ  
Ջերմային պաշտպանություն  
Ջերմամեկուսիչ նյութեր  
Ջերմամեկուսիչ նյութերի ընտրության որոշիչ գործոններ  
R արժեք  
U արժեք  
Արտաքին մակերևույթի ջերմամեկուսացում  
Ներքին մակերևույթի ջերմամեկուսացում  
Տաք տանիքներ  
Շրջադասված տանիքներ  
Կանաչ տանիքներ  
Չոկ տանիքներ  
Արտաքին պատեր  
Երկշերտ ճակատներ  
Երկշերտ ապակեպատմամբ ճակատներ  
Օդափոխվող օդային միջնաշերտով ճակատային համակարգեր  
Շարվածքներ  
Երեսպատում  
Ջերմային/Ցրտի կամրջակներ  
Օդափոխում

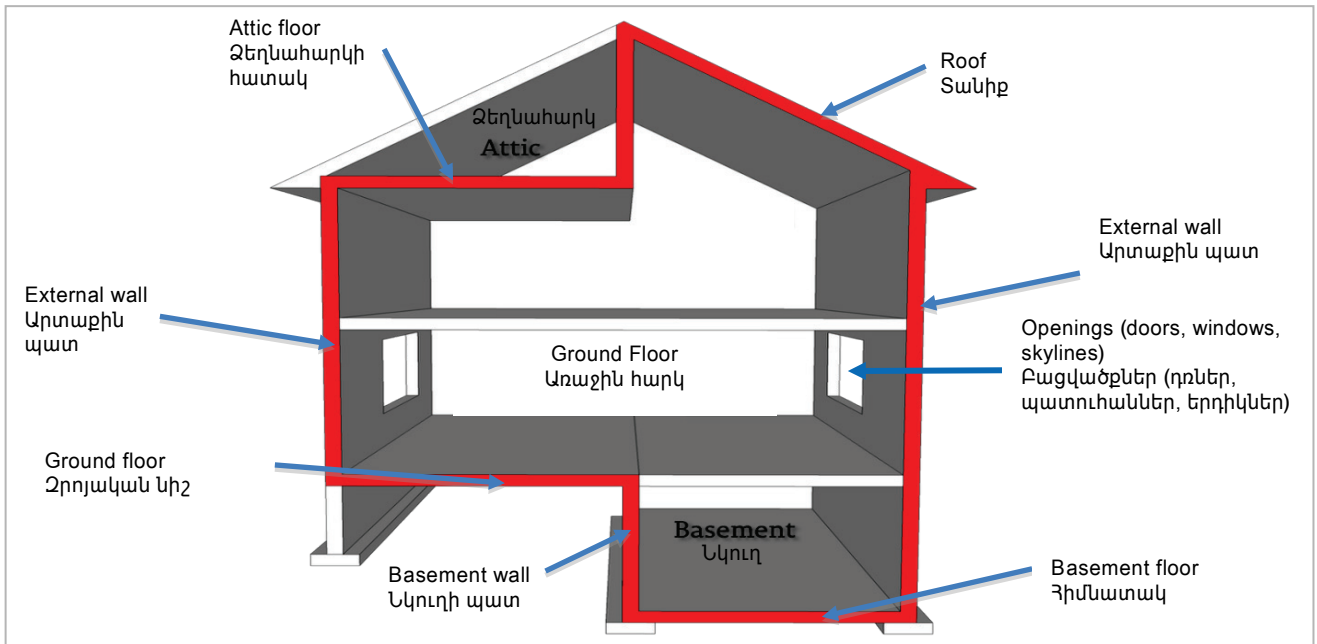
## INTRODUCTION

Energy efficiency in buildings can be gained through various means: passive solutions, mechanical solutions, and good design of the building envelope. Other modules deal with passive solutions and, to some extent, mechanical solutions. This module addresses energy efficiency gains through design of the building envelope. The building envelope is the collective name for the building elements that enclose the internal space. These include the external walls, roof, slabs, doors and windows (Figure 1). Only enclosed constructions separating heated/cooled space from outer conditions can be called the building envelope. Thermal insulation is required only if a room is a livable space. For uninhabitable basements or attics, thermal insulation is not necessary.

## ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Շենքերում էներգաարդյունավետության բարձրացմանը կարելի է հասնել տարբեր ճանապարհներով, որոնցից են պասիվ լուծումները, ճարտարագիտական լուծումները և շենքի պատող կոնստրուկցիաների արդյունավետ նախագծումը: Այլ մոդուլները վերաբերում են պասիվ լուծումներին և որոշ ճարտարագիտական լուծումներին: Այս մոդուլում կքննարկենք շենքերի էներգաարդյունավետության մեծացումը պատող կոնստրուկցիաների արդյունավետ ջերմային պաշտպանության միջոցով: Շենքի պատող կոնստրուկցիաները պարփակում են շենքի ներքին տարածքները: Պատող կոնստրուկցիաներ են՝ արտաքին պատերը, տանիքը, հատակները, լուսաթափանց կոնստրուկցիաները (սկ. 1): Հարկ է նշել, որ պատող կարող են կոչվել միայն այն կոնստրուկցիաները, որոնք տարանջատում են ջերուցվող/հովացվող ծավալն արտաքին միջավայրից: Ջերմային պաշտպանություն պահանջվում է այն դեպքում, երբ շենքում նախատեսվում է մարդու բնակեցում կամ երկարաժամկետ, անընդհատ գործունեություն: Ջերմային պաշտպանություն չի նախատեսվում բնակելի չհանդիսացող սկուղների և ձեղնահարկերի համար:

Figure 1. The building envelope



Սկար1. Պատող կոնստրուկցիաներ

## THERMAL COMFORT AND BUILDINGS

The building envelope encloses the heating volume of a building, i.e. the volume that needs to be climate controlled to create comfort for the inhabitants. The task of an architect or a builder is to provide thermal comfort, including ventilation, with a minimum use of energy. Light and visual comfort are touched upon in Module 4.

Thermal comfort is a state of mind which expresses satisfaction with the surrounding thermal environment.<sup>1</sup> There are several key factors which affect an individual's experience of thermal comfort:

- Air temperature;
- Air velocity;
- Air humidity;
- Radiant temperature.

Other factors are related to an individual's specific conditions, such as:

- Metabolism rate (energy release depending on activity type, age, gender, etc.);
- Clothing and its thermal value.

In colloquial terms, **air temperature** is the degree of hotness or coldness of air, measured in terms of degrees Celsius (°C) or degrees Fahrenheit (°F). Air temperature plays a key role in a person's thermal comfort (see Box 1 for a complete picture of ways in which heat transfer occurs and affects thermal comfort). Local building design codes (thermal codes mostly) often regulate acceptable levels of indoor air temperature.<sup>2</sup> Some codes set an absolute standard for it; other design codes (mostly in the US and the EU) make it flexible and relative. For example, in countries of the former USSR, for residential buildings (in most cases) the

## ՇՆՆՔԵՐԸ ԵՎ ՋԵՐՄԱՅԻՆ ՀԱՐՄԱՐԱՎԵՏՈՒԹՅՈՒՆԸ

Պատող կոնստրուկցիաները պարփակում են շեռուցվող ծավալը, այսինքն՝ բնակիչների համար հարմարավետություն ապահովելու նպատակով շեռուցման/հովացման ենթակա ծավալը: Ճարտարապետ-նախագծողի և շինարարի խնդիրն է՝ նվազագույն էներգածախսով ապահովել ջերմային հարմարավետության պայմաններ (լուսավորումը և վիզուալ հարմարավետությունը քննարկված են Մոդուլ 4-ում):

Ջերմային հարմարավետությունը մարդու ընկալումն է, որով արտահայտվում է միջավայրի ջերմային պայմաններով բավարարվածությունը<sup>1</sup>: Մարդու՝ ջերմային հարմարավետության սուբյեկտիվ ընկալման վրա ազդում են շրջակա միջավայրի հետևյալ հիմնական գործոնները:

- Օդի ջերմաստիճանը,
- Օդի շարժման արագությունը,
- Օդի խոնավությունը, և
- Ճառագայթման ջերմաստիճանը:

Այլ գործոնները վերաբերում են մարդու անհատական վիճակներին, ինչպիսիք են՝

- Նյութափոխանակությունը (մարդուց ջերմության անջատումը՝ կախված գործունեության տեսակից, տարիքից, սեռից, և այլն),
- Հագուստը (մարդու կողմից օգտագործվող հագուստ, վերմակ, ծածկոց և այլն):

Խոսակցական լեզվով ասած՝ **օդի ջերմաստիճանը** օդի տաքության կամ սառնության աստիճանն է, որը, հիմնականում, չափվում է աստիճան Ցելսիուսով (°C) կամ աստիճան Ֆարենհայթով (°F): Օդի ջերմաստիճանը կարևոր դեր է կատարում անհատի ջերմային հարմարավետության հարցում (տե՛ս Ներդիր 1-ը ջերմափոխանցման տարրերակների առաջացման և ջերմային հարմարավետության վրա դրանց ազդեցության վերաբերյալ): Շննքերի ջերմային

<sup>1</sup> ANSI/ASHRAE Standard 55.  
<sup>2</sup> RA CN II-7.02-95 "Building thermo physics of fencing constructions" specifies required values of heat transfer resistance for designing new fencing constructions and those subject to rebuilding for various purposes. This enables sustainable normalized indoor air temperature. According to this code, for residential, clinical and childcare institutions the difference between the temperature of the internal surface of a wall and indoor air temperature must not exceed 4.0°C, 3.0°C and 2.0°C respectively.  
 «Շինարարական ջերմափոխանցման շննքերի պատող կոնստրուկցիաների» ՀՀ ՇՆ II-7.02-95 շինարարական նորմերը սահմանում են պատող կոնստրուկցիաների ջերմափոխանցման պահանջվող դիմադրությունների արժեքները ներսի օդի տարածված ջերմաստիճանով տարբեր նշանակության նոր և վերկառուցվող պատող կոնստրուկցիաները նախագծելիս: Ըստ այդ նորմերի, բնակելի, կլինիկական և երեխաների խնամքի համար նախատեսված հաստատություններում պատի ներսի մակերևույթի և ներսի օդի ջերմաստիճանների տարբերությունը չպետք է գերազանցի 4.0°C, 3.0°C և 2.0°C համապատասխանաբար:



indoor air temperature stipulated in thermal calculations is  $+20$ - $+22^{\circ}\text{C}$  (30-45% humidity and air velocity of no more than 0.2 meters per second. The importance of these additional factors will be discussed below). For commercial and industrial buildings, the value of indoor air temperature will vary depending on the types of working regime and environment.

**Air velocity** is the speed of movement of an indoor air mass. The higher the speed of air movement, the cooler a person will feel. Even if the indoor air temperature stays above the required minimum, fast movement of the surrounding air can cause a feeling of cooling. If there are openings in the room in front of each other, air starts to flow through one opening to another, causing high-speed convection. At a constant indoor air temperature, the more the speed of air movement, the stronger the convection in the room; therefore, that equates to greater heat loss. On hot days, increased movement of air will reduce the cooling load on the building. On cold days, increased movement of air will increase its heating load.

**Air humidity** is another key factor in thermal comfort. Air has the ability to collect vapor. The vapor quantity in grams per cubic meter of air is called “absolute humidity”. The ability of air to collect vapor depends on its temperature. The higher the temperature, the more vapor it can contain. The maximum humidity of air expressed in  $\text{g}/\text{m}^3$  is reached when it cannot contain any more vapor. Such a state is called the “saturation” of air with water vapor.

For example, if the temperature of air is  $+20^{\circ}\text{C}$ , it can contain a maximum of 17.3 grams per cubic meter of air; if the temperature is  $+10^{\circ}\text{C}$ , the water vapor saturation point will be 9.4 grams per cubic meter of air. Typically, air does not contain the maximum amount of vapor. That quantity of vapor is expressed as the ratio between the absolute and maximum humidity of air and is called “relative humidity”. At the National University of Architecture and Construction of Armenia (NUACA, formerly the Yerevan State University of Architecture and Construction) Energy Efficiency Laboratory, equipment is available that measures the relative and absolute humidity of the air.

պաշտպանության տեղային նորմերը կարգավորում են շենքի ներսի օդի սվազագույն թուլաբերելի ջերմաստիճանները՝ մի դեպքում սահմանելով հստակ արժեքներ, մյուս դեպքերում (ԱՄՆ և ԵՄ նորմերը)՝ թողնելով դրանք ճկուն և հարաբերական<sup>2</sup>: Օրինակ՝ նախկին ԽՍՀՄ երկրներում բնակելի շենքերի համար շենքի ներսի օդի հաշվարկային ջերմաստիճանն ընդունվում է  $20$ - $22^{\circ}\text{C}$  (30-45% օդի խոնավությամբ և 0.2 մ/վ-ից ոչ ավել օդի շարժման արագությամբ (այս գործոնները կբացատրվեն ստորև): Հասարակական և արտադրական շենքերի և շինությունների համար ներքին օդի ջերմաստիճանը տատանվում է՝ կախված աշխատանքային միջավայրից, աշխատանքի տիպից և ռեժիմից:

**Օդի շարժման արագությունը** շենքի ներսի օդային զանգվածների շարժման արագությունն է: Որքան բարձր է օդի շարժման արագությունը, այնքան ցուրտ կզգա մարդը: Նույնիսկ երբ օդի ներսի ջերմաստիճանը մեծ է պահանջվող սվազագույնից, շրջակա օդի արագ շարժումը կարող է մարդու մոտ առաջացնել ցրտի զգացողություն: Այն դեպքում, երբ շենքում առկա են իրար դիմաց գտնվող լուսաթափանց կոնստրուկցիաներ կամ բացվածքներ և դրանցով առկա է միջանցիկ քամի, օդի շարժման արագությունը կտրուկ մեծանում է՝ առաջացնելով բարձր արագությամբ օդի կոնվեկցիա: Ներսի օդի հաստատուն ջերմաստիճանի դեպքում, որքան մեծ է օդի շարժման արագությունը, այնքան ուժեղ է կոնվեկցիան շենքում, հետևաբար, այնքան շատ են ջերմակորուստները: Շոգ օրերին օդի շարժման արագության մեծացումը կփոքրացնի շենքի օդափոխման բեռնվածքները, սակայն ցուրտ ժամանակաշրջանում կմեծացնի ջեռուցման բեռնվածքները:

**Օդի խոնավությունը** ջերմային հարմարավետության մեկ այլ հիմնական գործոն է: Օդն իր մեջ կուտակում է գոլորշիներ, որոնց գրամային քանակությունը մեկ խորանարդ մետր օդում կոչվում է օդի բացարձակ խոնավություն: Կախված ջերմաստիճանից՝ օդի գոլորշակլանումը տարբեր է. որքան բարձր է ջերմաստիճանը, այնքան շատ գոլորշի օդը կարող է կլանել: Երբ օդը հագեցած է գոլորշով, գրանցվում է գոլորշու առավելագույն հնարավոր գրամային քանակությունը մեկ խորանարդ մետր օդում: Այդպիսի իրավիճակը կոչվում է օդի հագեցածություն ջրային գոլորշիով:

Օրինակ՝ եթե օդի ջերմաստիճանը  $+20^{\circ}\text{C}$  է, այն կարող է պարունակել առավելագույնը  $17,3 \text{ գ}/\text{մ}^3$  գոլորշի և երբ ջերմաստիճանը  $+10^{\circ}\text{C}$  է, ապա հագեցվածությունը կդիտվի  $9,4 \text{ գ}/\text{մ}^3$  գոլորշու դեպքում: Սովորաբար, օդը չի պարունակում

$$\text{Relative humidity} = \frac{\text{Absolute humidity}}{\text{Maximum humidity}} \cdot 100\%$$

In commercial buildings, humidity depends on whether there are electronics in the room or air conditioning. Relative humidity is usually kept between 40-70%, although it can be higher than 70% on hot humid days or if there are special requirements for air humidity in spaces with a particular function (libraries, museums, etc.). For residential buildings, required relative humidity is set between 50-60% as per RA CN II-7.02-95 "Building Thermo physics of fencing constructions".

**Radiant temperature** refers to the temperature increase from point heating sources such as the sun, fireplaces, hot water and other heating pipes, ovens, electronics, etc. Radiant temperature is a property of the heat radiating from a warm object. Radiant temperature has a greater influence than air temperature on how we lose or gain heat to and from the environment. Our skin absorbs almost as much radiant energy as a matt black object, although this may be reduced by wearing reflective clothing. According to ANSI/ASHRAE Standard 55 on Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy, radiant temperature may have a significant influence on room temperature.

While the aforementioned four factors are key for thermal comfort, an individual's state could affect the point at which a person feels thermally comfortable. Two such individual factors are a person's metabolic rate and his or her clothing. **Metabolic heat** represents the amount of heat we produce as a result of our activities. The more intensive the activity, the more energy we produce and the greater the heat loss to the environment. This loss protects us from overheating.

The **clothing** people wear also has an impact on energy use in a building. Wearing too much clothing can cause a person to overheat; wearing insufficient clothing can cause excessive heat loss (which can lead to feeling cold or chilly). The effective solution for clothing is using layers, which allow a person to regulate his/her clothing according to the surrounding temperature and choose the right, personal thermal comfort level. This pertains to staff working in industrial and public buildings in particular.

All of these factors directly affect the energy consumption of a building. Thermal comfort

առավելագույն հնարավոր գոլորշու քանակություն, այդ իսկ պատճառով օդում առկա գոլորշիների քանակը որոշվում է որպես բացարձակ և առավելագույն խոնավության հարաբերություն: «Ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի» (ՃՇՀԱՀ, Նախկինում՝ Երևանի ճարտարապետության և շինարարության պետական համալսարան) Էներգաարդյունավետության լաբորատորիայում առկա են սարքավորումներ, որոնք թույլ են տալիս չափել օդի հարաբերական և բացարձակ խոնավությունները:

$$\text{Հարաբերական խոնավություն} = \frac{\text{Բացարձակ խոնավություն}}{\text{Մաքսիմալ խոնավություն}} \cdot 100\%$$

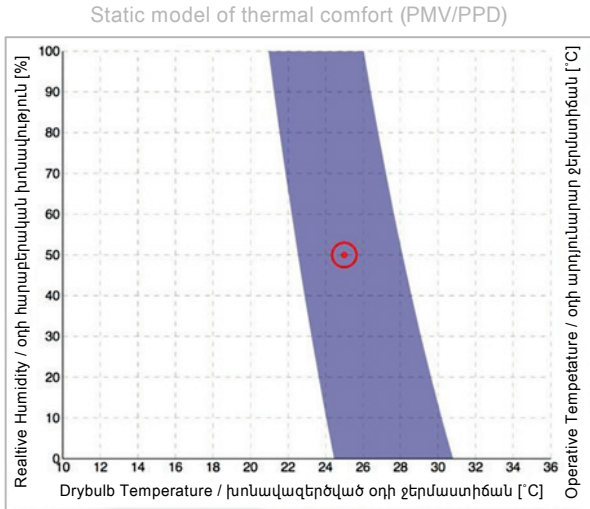
Շենքերում օդի խոնավությունը կախված է առկա օդափոխման և օդորակման համակարգից: Հարաբերական խոնավությունը, սովորաբար, պահպանվում է 40-70%-ի սահմաններում, սակայն կարող է լինել բարձր, քան 70% չոր, շոգ օրերին կամ այն դեպքերում, երբ շենքի ֆունկցիոնալ շահագործումը պահանջում է այդպիսի խոնավություն (գրապահոցներ, թանգարաններ): Բնակելի շենքերում հարաբերական խոնավությունն ըստ «Շինարարական ջերմաֆիզիկա շենքերի պատող կոնստրուկցիաների» ՀՀՇՆ II-7.02-95՝ սահմանվում է 50-60%:

**Ճառագայթման ջերմաստիճանը** վերաբերում է օդի ջերմաստիճանի բարձրացմանը ճառագայթման շնորհիվ կետային ջեռուցող աղբյուրներից, ինչպիսիք են Արեգակը, բուխարիները, ջեռուցման խողովակները, կենցաղային տեխնիկան և այլն: Ճառագայթման ջերմաստիճանը բնութագրում է տաք օբյեկտից ճառագայթվող ջերմությունը: Այն իրականում ավելի մեծ դեր ունի անհատի ջերմային հարմարավետության սուբյեկտիվ զգացումների վրա, քան օդի ջերմաստիճանը, քանի որ մարդու մաշկը կլանում է գրեթե նույնքան ճառագայթային Էներգիա, որքան սև, փայլատ օբյեկտը: Համաձայն ANSI/ASHRAE ստանդարտ 55-ի՝ ճառագայթման ջերմաստիճանը կարող է ունենալ զգալի ազդեցություն շենքի ներսի օդի ջերմաստիճանի փոփոխման վրա:

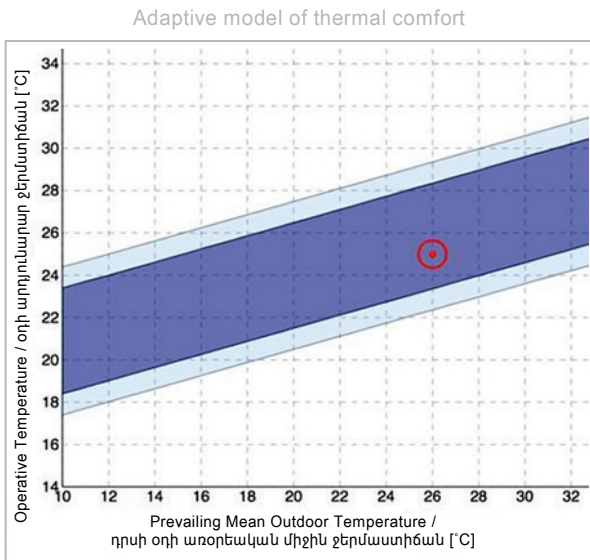
Վերոնշյալ չորս գործոնները առանցքային են ջերմային հարմարավետության համար, սակայն մարդու կոնկրետ վիճակով է պայմանավորված ջերմային հարմարավետության ընկալումը: Անհատական գործոններից է կյուրափոխանակությունը և հագուստը: **Կյուրափոխանակությունը** չափորոշում է ջերմության այն քանակը, որը մարդու օրգանիզմն արտադրում է իր գործունեության ընթացքում: Ինչքան ինտենսիվ է գործունեությունը, այնքան շատ է ջերմության արտադրությունը մարդու

is the starting point for choosing proper thermal insulation for a building, physical design and orientation, and mechanical systems such as HVAC equipment. The characteristics of a building envelope and its construction type also depend on what kind of thermal comfort level must be achieved in a building. There are two models of thermal comfort: static and adaptive (Figure 2).

Figure 2. Static and adaptive models of thermal comfort



Ջերմային հարմարավետության ստատիկ մոդել



Ջերմային հարմարավետության հարմարվողական մոդել

Սկար 2. Ջերմային հարմարավետության ստատիկ և հարմարվողական մոդելները

The static model of thermal comfort (PMV/PPD) states that, regardless of location and surrounding environment, the thermal comfort zone can be the same for all occupants. There should be one set indoor temperature throughout the year, i.e. humans are not expected to adapt to various

օրգանիզմում, հետևաբար, այնքան մեծ են նրա ջերմակորուստները: Վերջիններս պաշտպանում են օրգանիզմը գերտաքացումից:

**Ջագուստը**, որը մարդիկ կրում են, նույնպես ազդում է շենքում էներգիայի օգտագործման վրա: Չափազանց շատ հագուստը կարող է հանգեցնել գերտաքացման, այն դեպքում, երբ քիչ հագուստը կարող է հանգեցնել ինտենսիվ ջերմակորուստների: Արդյունավետ լուծում է շերտավոր հագուստի կիրառումը, որի շտրիիվ մարդը կարող է կարգավորել իր անհատական ջերմային հարմարավետության մակարդակը: Դա, հիմնականում, վերաբերում է հասարակական և արտադրական շենքերի աշխատակազմի հատուկ հագուստին:

Բոլոր այս գործոնները ուղղակիորեն ազդում են շենքի էներգածախսի վրա: Համապատասխան ջերմային պաշտպանության ընտրության հարցում ջերմային հարմարավետության ցանկալի մակարդակը ելակետային պայման է: Այն նաև կանխորոշում է շենքի և շինության արտաքին տեսքը և կողմնորոշումը, ինչպես նաև կիրառվող ջեռուցման, օդափոխման և օդորակման համակարգերի տեսակները: Ծեֆի պատող կոնստրուկցիաների բնութագրերը, ինչպես նաև դրանցում կիրառված նյութերը նույնպես կախված են նրանից, թե ինչպիսի ջերմային հարմարավետություն է հարկավոր ապահովել: Առկա են ջերմային հարմարավետության երկու մոդել՝ ստատիկ և հարմարվողական (սկ. 2):

Ջերմային հարմարավետության ստատիկ մոդելը նախատեսում է, որ անկախ տեղանքից և շրջակա միջավայրից, ջերմային հարմարավետության միջակայքը կարող է լինել նույնը բոլոր բնակիչների համար: Ըստ այդմ՝ պետք է որոշված լինի շենքի ներսի օդի որոշակի ջերմաստիճան, որն անփոփոխ պետք է մնա տարվա ընթացքում: Դա նշանակում է, որ նախատեսված չէ մարդկանց հարմարեցում տարբեր ջերմաստիճաններին: PMV-ը (Predicted Mean Vote - Կանխատեսված միջին կարծիք) մեթոդ է, որն առաջարկել է Ներքին միջավայրի և էներգիայի միջազգային կենտրոնի հոլանդացի գիտնական Պոլ օլ Ֆանգերը: Մեթոդը ցույց է տալիս ջերմային հարմարավետության վերաբերյալ միջինացված կարծիքը՝ օգտագործելով -3-ից (ցուրտ) +3 (տաք) սանդղակ, որտեղ 0-ն համապատասխանում է իդեալական հարմարավետության պայմաններին<sup>3</sup>:

Ջերմային հարմարավետության հարմարվողական մոդելը, իր հերթին, ցուցանշում է հակառակը, այն է՝ ներսի օդի ջերմաստիճանը և

temperatures. The Predicted Mean Vote (PMV), a method developed by Dutch scientist Povl Ole Fanger at the International Centre for Indoor Environment and Energy, shows the average comfort vote using a scale from -3 (cold) to +3 (hot,) where zero is the value for ideal comfort.<sup>3</sup>

The adaptive thermal comfort model, on the other hand, states that indoor temperature and outer climatic conditions are linked; thus, indoor temperature cannot be constant through the year. It goes on to say that humans can adapt to various environments. The ASHRAE-55 2010 Standard has recently introduced a prevailing mean outdoor temperature, which is an input variable of the adaptive model and must be greater than 10°C (50°F) and less than 33.5°C (92.3°F).

RA CN II-7.01-2011 "Construction climatology" (currently in effect in Armenia) specifies the climatic parameters to be applied in the design and construction of buildings and structures, heating, ventilation, air conditioning, and water supply systems, as well as in the planning and development of urban and rural settlements.

In Figure 2 above, dry-bulb temperature (DBT) is the temperature of air measured by a thermometer freely exposed to the air but shielded from radiation and moisture. The dark blue band shows preferable air temperature and thermal comfort attitude, while the light blue band in the adaptive model shows the allowed variance. In both displays, the red dot is the ideal attitude point between axes.

արտաքին կլիմայական պայմանները փոխկապակցված են, այդ իսկ պատճառով ներսի օդի ջերմաստիճանը չի կարող լինել հաստատուն տարվա ընթացքում: Մոդելն ամրագրում է, որ մարդիկ կարող են հարմարվել շրջակա միջավայրի տարբեր պայմաններին: ASHRAE-55 2010 ստանդարտը վերջին տարիներին ներկայացրեց գերակշռող միջին արտաքին օդի ջերմաստիճանը, որը հարմարվողական մոդելի առանցքային ցուցանիշն է և պետք է լինի 10°C-ից (50°F) 33.5°C (92.3°F) միջակայքում:

ՀՀ-ում գործող «Շինարարական կլիմայաբանություն» ՀՀՇՆ II-7.01-2011 շինարարական նորմերը սահմանում են կլիմայական հարաչափեր, որոնք կիրառվում են շենքերի և շինությունների, ջեռուցման, օդափոխության, օդորակման, ջրամատակարարման համակարգերի նախագծման, ինչպես նաև քաղաքային և գյուղական բնակավայրերի հատակագծման և կառուցապատման ժամանակ:

Նկ. 2-ում խոնավագերծված օդի ջերմաստիճանը (DBT) այն ջերմաստիճանն է, որը չափված է օդում ազատորեն տեղադրված, բայց խոնավությունից և ճառագայթումից պաշտպանված ջերմաչափով: Մուգ կապույտ ժապավենը ցույց է տալիս ջերմային հարմարավետության և օդի ջերմաստիճանի նախընտրելի մակարդակն ու արժեքը, իսկ հարմարվողական մոդելում առկա բաց կապույտ ժապավենը ցույց է տալիս թույլատրելի շեղումների չափը: Երկու դեպքում էլ կարմիր կետը մատնանշում է իդեալական հարմարավետության պայմանները:

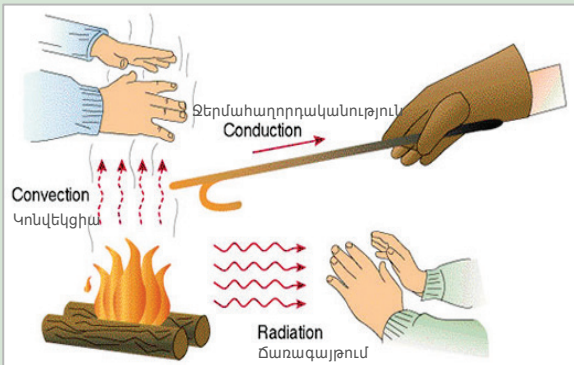
<sup>3</sup> To learn more about research method, see *Building and Environment* 44, 2009.

Հետազոտության այս մեթոդը մանրամասնորեն ներկայացված է հետևյալ հրատարակման մեջ. *Building and Environment* 44, 2009:

## BOX 1. HEAT TRANSFER AND LOSS

Designing and constructing energy efficient buildings is not possible without understanding the concept of heat loss, as well as the mechanisms of heat transfer. There are **three** types of heat transfer through an object and between objects (shown below):

- Convection;
- Conduction;
- Radiation.



**Convection** is heat transfer through physically moving molecules. Convection takes place both in fluid and gaseous substances. In a room, convection appears when warm air masses move from the floor to the ceiling, meeting cold air masses. As warm air moves higher, it gets colder and falls, thus warming again. Convection is a cycle of air movement and can be either **forced** or **free**. When air movement is caused mechanically, i.e. by an electric fan or the wind, forced convection occurs; however, when air movement is caused by natural sources such as the sun, the convection is free.

**Conduction** is the direct transmission of heat through a solid matter. It appears in a single body or between two bodies in contact with each other. When a person touches a sun-warmed window, heat transfers into his/her hand through conduction. The aim of insulation with low-density materials is to suppress conduction and convection processes across the sections of a material. The more porous a material, the less the heat transfer through conduction. However, the question of optimization arises because, in large pores of a material, convection may occur, increasing heat loss. Such a material can be structured into open (transferring) and closed (non-transferring) pores; while porous structures impede heat transfer, open pores facilitate it.

**Radiation** is a process of heat transmission through waves. The ultimate example of radiation is the heating of the Earth's surface by the sun. Radiant surfaces may exchange heat

## ՆԵՐՈՒՄՅԻՆ ՀՈՍԵՐ ԵՎ ԿՈՐՈՒՍՆԵՐԸ

Անհնար է նախագծել և կառուցել էներգաարդյունավետ շենք կամ շինություն՝ առանց ջերմափոխանակության և ջերմակորուստների առաջացման մեխանիզմները հասկանալու: Օբյեկտի միջով կամ երկու օբյեկտների միջև ջերմափոխանցում հնարավոր է **երեք** մեխանիզմով (տե՛ս սկարը):

- Կոնվեկցիա,
- Ջերմահաղորդականություն,
- Ճառագայթում:

**Կոնվեկցիան** ջերմափոխանցում է ֆիզիկապես շարժվող մոլեկուլների միջոցով: Այն տեղի է ունենում և՛ հեղուկ, և՛ գազային միջավայրերում: Ծեփում կոնվեկցիան առաջանում է, երբ օդի տաք զանգվածները շարժվում են հատակից դեպի վեր և, հանդիպելով սառն օդի զանգվածներին, սառչում և կրկին իջնում են դեպի հատակ: Այսպիսով, կոնվեկցիան օդի զանգվածի շրջապտույտ է և կարող է լինել **հարկադրված** կամ **բնական**: Երբ օդի շարժումն առաջանում է մեխանիկորեն, օրինակ՝ քամու կամ էլեկտրական հովիտի շնորհիվ, ապա դիտվում է հարկադրված կոնվեկցիա, իսկ այն դեպքերում, երբ օդի շարժումն առաջանում է բնական եղանակով, ապա դիտվում է բնական կոնվեկցիա:

**Ջերմահաղորդականությունը** պիսղ մարմնի միջով ջերմության ուղղակի հաղորդումն է: Այն կարող է առաջանալ ինչպես մեկ մարմնի մեջ, այնպես էլ երկու մարմինների միջև, որոնք գտնվում են ուղղակի շփման մեջ: Երբ մարդը դիպչում է արևից տաքացած պատուհանին, ջերմությունը ապակուց դեպի նրա ձեռքին է փոխանցվում ջերմահաղորդականությամբ: Ցածր խտությամբ նյութերով ջերմամեկուսացման նպատակը ջերմամեկուսիչ նյութի լայնական կոնվեկցիայի և ջերմահաղորդականության երևույթների կանխարգելումն է: Որքան ծակոտկեն է ջերմամեկուսիչ նյութը, այնքան քիչ ջերմություն կփոխանցվի ջերմահաղորդականությամբ: Այստեղ, թերևս, առկա է օպտիմիզացման խնդիր, քանի որ չափազանց ծակոտկեն նյութերի ծակոտիներում առաջանում է կոնվեկցիա, որը զգալիորեն ցածրացնում է նյութի ջերմամեկուսիչ հատկությունները: Ծակոտիները նյութի կառուցվածքում լինում են բաց (հաղորդակցվող) և փակ (չհաղորդակցվող): Ծակոտկենությունը նյութի ջերմահաղորդականությունը նվազեցնող գործոն է. բայց հաղորդակցվող ծակոտիների առկայությունը հանգեցնում է ջերմային հոսքի մեծացմանը:

**Ճառագայթումը** ալիքների շնորհիվ ջերմափոխանցման գործընթացն է: Դրա լավագույն օրինակ կարող է հանդիսանալ Երկրի տաքացումը Արեգակի ճառագայթներով: Մակերևույթներն ունակ են ջերմություն ճառագայթել մեկը մյուսի նկատմամբ: Օրինակ՝ պատող կոնստրուկցիաները ամառվա շոգ օրերին կլանում են ճառագայթման ջերմությունը և, իրենց հերթին, ճառագայթում այն դեպի

with other surfaces, e.g. the building envelope absorbs the sun's heat through radiation during summer and exchanges it with other objects inside a building, including humans. Radiation heat transfer does not depend on the characteristics of air; rather, it depends on the characteristics of radiant surfaces. When radiant energy reaches a surface, part of it is to be *emitted* by the surface, while the other part is to be *reflected*. The amount of energy being absorbed by a surface depends on the *emissivity* of a surface, and the amount of energy being reflected from a surface depends on the *reflectivity* of a surface.

Reflectivity is inversely linked with emissivity. The more reflective a surface, the less emissive it is. There are several methods of increasing the resistance of a surface's absorption of radiant energy. On both the outside and inside of a surface, reflective films may reduce the amount of radiant heat absorbed by the building envelope. Another solution is the air gap between material layers of the building envelope; these may also be closed or ventilated.

շենքում գտնվող օբյեկտները և մարդիկ: Ճառագայթային ջերմափոխանցումը կախված է ոչ այնքան շրջապատող օդի ջերմաստիճանից, որքան ճառագայթային մակերևութների հատկություններից: Երբ ճառագայթային էներգիան հասնում է դեպի ճառագայթային մակերևույթը, դրա մի մասը կլանվում է մակերևույթի կողմից, իսկ մյուսը՝ անդրադարձվում: Այն, թե որքան էներգիա կկլանվի և կանդրադարձվի, կախված է ճառագայթային մակերևույթի կլանման աստիճանից և անդրադարձելիությունից:

Մակերևույթի անդրադարձելիությունը և կլանման աստիճանը փոխկապակցված են: Որքան բարձր է անդրադարձելիությունը, այնքան ցածր է կլանման աստիճանը, և հակառակը: Պատող կոնստրուկցիաների կլանման աստիճանը կամ անդրադարձելիությունը մեծացնելու կամ փոքրացնելու համար հնարավոր է դրանք պատել համապատասխան հատկություններ ունեցող շերտերով: Տարբերակ է նաև պատող կոնստրուկցիայի ներսում օդի շերտի իրականացումը, որը կարող է լինել փակ կամ օդափոխվող:

## INSULATION AND THE BUILDING ENVELOPE

### Insulation Materials

To increase the thermal resistance of a building (by reducing the heat flow through the building envelope) its envelope must be insulated from outer climatic conditions. Using effective thermal insulation ensures that a building has the required thermal resistance value.

Choosing what thermal insulation material to use, however, depends on several factors. Figure 3 summarizes key decision factors, including thermal conductivity, availability in the local market, workability, safety, and cost. All of these factors must always be considered.

## ՊԱՏՈՂ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՏԻԱՆԵՐԸ ԵՎ ՋԵՐՄԱՍԵԿՈՒՍԱՑՈՒՄԸ

### Ջերմամեկուսիչ նյութեր

Շենքի ջերմային դիմադրությունը մեծացնելու համար (փոքրացնելով ջերմափոխանցումը պատող կոնստրուկցիայի միջով) նրա պատող կոնստրուկցիաները պետք է ջերմամեկուսացված լինեն: Արդյունավետ ջերմամեկուսիչ նյութի կիրառումը նպաստում է շենքի էներգաարդյունավետության բարձրացմանը:

Ջերմամեկուսիչ նյութի ընտրությունը, սակայն, կապված է մի քանի որոշիչ գործոնների հետ, որոնք ներկայացված են նկ. 3-ում: Այս գործոններն են՝ նյութի ջերմահաղորդականությունը, տեղական շուկայում առկա լինելը, կիրառելիությունը, անվտանգությունը և արժեքը: Դրանք բոլորը հարկավոր է հաշվի առնել:

Figure 3. Key decision factors in choosing thermal insulation for buildings

<p><b>Thermal conductivity</b> Ջերմահաղորդականություն</p>	<p>This refers to a material's ability to resist or, conversely, conduct heat. The slower it conducts heat, the better it is as an insulation material. Materials with low thermal conductivity are used for insulation purposes. For buildings, see discussion of R-value and U-value in the section below.</p>	<p>Այն վերաբերում է նյութի ջերմափոխանցման հատկությանը: Որքան բարձր է նյութի դիմադրությունը ջերմահաղորդականության նկատմամբ, այնքան բարձր է դրա որակը որպես ջերմամեկուսիչ: Մեկուսացման նպատակով օգտագործվում են ցածր ջերմահաղորդականությամբ նյութեր: Ծեփերի համար R և U արժեքների քննարկումը տե՛ս ստորև:</p>
<p><b>Availability in local market</b> Տեղական շուկայում առկայությունը</p>	<p>The availability of the range of insulation materials may vary from country to country. Regardless of how effectively a material insulates and how inexpensive it is, if it is unavailable in the local market, architects or engineers should not specify it in their plans. They should base their calculations on materials available in the local market.</p>	<p>Տարբեր պետություններում ջերմամեկուսիչ նյութերի շուկան տարբերվում է: Անկախ նյութի ջերմամեկուսիչ հատկություններից և արժեքից, այն դեպքում, երբ նյութն առկա չէ տեղական շուկայում, ճարտարապետների և ճարտարագետների համար նպատակահարմար չէ այդ նյութի նախատեսումը որպես ջերմամեկուսիչ: Հաշվարկները պետք է հիմնվեն տեղական շուկայում առկա նյութերի վրա:</p>
<p><b>Workability</b> Կիրառելիությունը</p>	<p>Workability refers to the ease of handling of a thermal insulation material, such as its cutting, bending, attaching, installation, etc. This factor may have significant impact on labor time and overall building completion time.</p>	<p>Կիրառելիությունը պայմանավորված է ջերմամեկուսիչ նյութի կիրառման դյուրի՛նության և մշակման պարզ գործողությունների հետ, ինչպիսիք են կտրումը, ծռումը, միացումը, տեղադրումը և այլն: Այս գործոնը զգալի ազդեցություն կարող է ունենալ շինարարության վարձու աշխատանքի արժեքի և ավարտի հասցնելու ընդհանուր տևողության վրա:</p>
<p><b>Safety, including human health and environmental health</b> Անվտանգություն՝ ներառյալ մարդու առողջությունը և շրջակա միջավայրի պահպանումը</p>	<p>Safety, including human health and environmental health, is extremely important. Health concerns include a material's ability to attract mold, insects, and rodents. Also, the material's ability to release harmful chemicals or gases is a consideration (i.e. during a fire).</p>	<p>Կիրառված ջերմամեկուսիչ նյութերի՝ մարդու առողջության և էկոլոգիայի համար անվտանգությունը չափազանց կարևոր է: Այն կարող է վերաբերել կոնստրուկցիայի մեջ բորբոսի, միջատների, կրծողների ի հայտ գալուն: Բացի այդ, նյութի վտանգավոր քիմիկատները գազերի տեսքով արտանետելու հատկությունը նույնպես մտահոգություն է առաջացնում: Ուշագրավ է նյութի այրելիությունը, մասնավորապես, այրման ընթացքում արտանետվող գազերի առումով:</p>
<p><b>Cost</b> Արժեքը</p>	<p>The cost of the using an insulation product is another key factor in the selection process. Cost considerations should look not only at the cost of the material itself but also labor costs and the additional supplies needed (anchors, glues, etc.).</p>	<p>Ջերմամեկուսիչ նյութի ընտրության կարևոր չափանիշ է դրա արժեքը: Արժեքը դիտարկելիս հարկավոր է հիմնվել ոչ միայն ինքնին նյութի արժողության, այլև աշխատանքի և այն լրացուցիչ նյութերի (խցաբութակներ, սոսինձ և այլն) արժեքի վրա, որոնք հարկավոր են այդ նյութով ջերմամեկուսիչ շերտ իրականացնելու համար:</p>

Նկար 3. Ջերմամեկուսիչ նյութի ընտրման չափորոշիչ գործոնները

Armenia imports a number of insulation materials and produces some internally, including mineral wool from basalt and expanded

ՀՀ ներկրվում և տեղում արտադրվում են տարատեսակ ջերմամեկուսիչ նյութեր, ներառյալ բազալտից ստացվող հանքային բամբակ և

perlite. On the global level, there is a vast variety of thermal insulation materials. In this module, we will discuss the main thermal insulation materials available in the Armenian market. The pros and cons of each will be discussed.

Another factor that is increasingly receiving attention is the embodied energy of a material. Embodied energy refers to the total amount of energy used for the extraction, manufacturing, transportation, and installation of this material. A material may be an effective insulator; however, if it takes more energy to produce it than it will ever save, the use of that material may be questioned. To estimate embodied energy, a material's lifecycle assessment must be conducted. The discussion of embodied energy in this section is aimed at highlighting a relatively recent trend in thinking on building materials.<sup>4</sup>

We will now turn to commonly used insulation materials, some of which are widely available in Armenia.<sup>5</sup> The materials discussed include loose-fill insulation, expanded perlite, mineral wool, extruded polystyrene, polyurethane foam, and foam glass.

### Loose-fill insulation

Loose-fill insulation is a type of insulation made of granular or cellular materials, such as expanded perlite, vermiculite, wood shavings, granulated cork, etc.

Perlite is a naturally occurring, siliceous rock and is widely used in construction. It is possible to make both perlite loose-fill insulation and expanded perlite blocks or slabs. Depending on the construction application, perlite loose-fill insulation can be either poured or blown into the space to be insulated. The advantage of loose-fill insulation is its ability to insulate hard-to-reach places, as well as irregularly shaped areas. Another advantage of loose-fill insulation is its ability to insulate the inner cavities of light-concrete blocks.

փքեցված պեռլիտ շինվածքներ: Աշխարհում գոյություն ունեն բազմապիսի ջերմամեկուսիչ նյութեր: Սույն մոդուլում քննարկելու ենք Հայաստանի շուկայում առկա հիմնական ջերմամեկուսիչ նյութերը, դրանց թերություններն ու առավելությունները:

Շարունակաբար աճում է ուշադրությունը նյութի պարփակված էներգիայի նկատմամբ (embodied energy): Դա էներգիայի այն ամբողջական քանակությունն է, որն օգտագործվել էր տվյալ նյութի արդյունահանման, մշակման, տեղափոխման և տեղադրման համար: Նյութը կարող է լինել բավական արդյունավետ ջերմամեկուսիչ, սակայն այն դեպքում, երբ նյութի արտադրման վրա ծախսվել է ավելի շատ էներգիա, քան այն կարող է ինչպես շահագործման ընթացքում, այդ նյութով ջերմամեկուսացումը որոշ չափով աննպատակահարմար է: Պարփակված էներգիայի դիտարկումն այս մասում բերված է ուսանողների մոտ նյութերի արտադրման վերաբերյալ հարցադրումներ առաջացնելու համար<sup>4</sup>:

Այժմ կդիտարկենք ՀՀ շուկայում առկա և կիրառվող ջերմամեկուսիչ նյութերը<sup>5</sup>, որոնցից ընտրել ենք պեռլիտի լցանյութը և փքեցված պեռլիտ սալերը, հանքային բամբակը, էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլը, փրփրապոլիուրեթանը և փրփրապակին:

### Լցվածքային ջերմամեկուսացում

Լցվածքային ջերմամեկուսացումն իրականացվում է բջջային կամ հատիկային նյութերից, որոնք լցվում են նախապես պատրաստված ծավալի մեջ: Այդպիսի ջերմամեկուսիչ նյութեր են պեռլիտի, վերմիկուլիտի լցվածքները, փայտի տաշեղները, հատիկավորված խցանները և այլն:

Պեռլիտը բնական կերպով առաջացած սիլիցիումային ապար է և լայնորեն կիրառվում է շինարարությունում: Որպես ջերմամեկուսիչ նյութ՝ հնարավոր է կիրառել ինչպես փքեցված պեռլիտ լցանյութ, այնպես էլ փքեցված պեռլիտ սալերը և բլոկերը: Կախված շինարարության մեջ կիրառման տեսակից, պեռլիտային լցվածքային ջերմամեկուսացումը կարող է

<sup>4</sup> Students interested in learning more should visit: <http://www.greenspec.co.uk/insulation-introduction.php>  
Առավել մանրամասն պարփակված էներգիայի վերաբերյալ կարելի է ծանոթանալ հետևյալ կայքից՝ [www.greenspec.co.uk/insulation-introduction.php](http://www.greenspec.co.uk/insulation-introduction.php)

<sup>5</sup> To learn more about insulation materials available in Armenia see the Thermal Insulation Materials Database developed with the framework of the UNDP-GEF "Improving Energy Efficiency in Buildings" project, available at [www.nature-ic.am](http://www.nature-ic.am).  
ՀՀ-ում առկա ջերմամեկուսիչ շինարարական նյութերի մասին ավելին իմանալու համար տես «Ջերմամեկուսիչ շինարարական նյութերի և շինվածքների տվյալների շտեմարան» հրապարակումը, մշակված և «Շենքերի էներգետիկ արդյունավետության բարձրացում» ՄԱԶԾ-ԳԷՖ ծրագրի շրջանակներում և ներբեռնելի [www.nature-ic.am](http://www.nature-ic.am) կայքից:

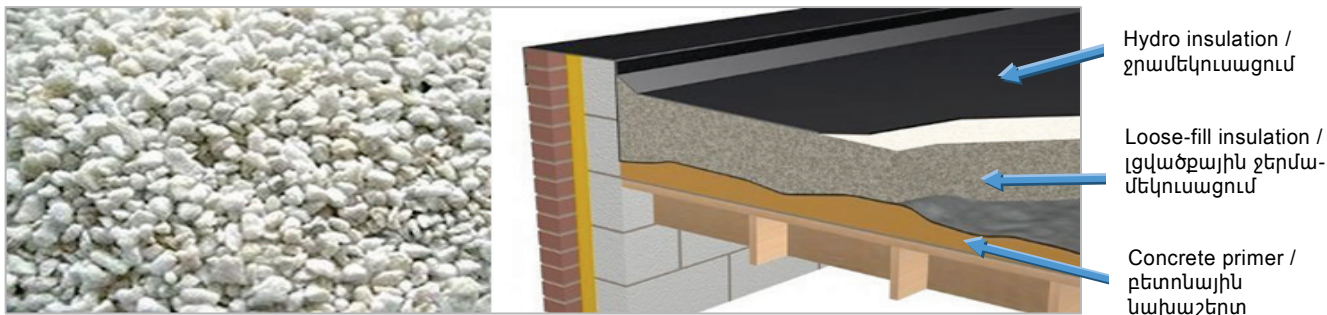


For attics (that are not used), covering the attic floor with loose-fill insulation may have both cost and time benefits. Loose-fill perlite is also produced in bags making it possible to insulate not only horizontal but also vertical constructions. The only difficulty is that this structure must be supported, which can be done using either wooden or metal risers. Figure 4 shows a possible solution of flat roof insulation by using expanded perlite loose fill and by covering it with a hydro insulation layer.



հայաց իրականացման դեպքում անհրաժեշտ են պարկերը տեղադրման դիրքում պահող լրացուցիչ փայտյա կամ մետաղական ուղղորդներ: Այ. 4-ում ներկայացված է տանիքի ծածկի ջերմամեկուսիչ շերտը՝ իրականացված պեռլիտի լցվածքային ջերմամեկուսիչով, որի վրա նախատեսված է ջրամեկուսիչ շերտ:

Figure 4. Close-cell perlite loose-fill insulation



Նկար4. Փակ ծակոտիներով լցվածքային պեռլիտից ջերմամեկուսացում

There are shortcomings to loose-fill insulation when used improperly. For instance, low-density loose-fill insulation (small or granular perlite powder or sand) may in fact increase heat convection and, in turn, lead to greater heat loss. Estimates suggest that, in such instances, heat convection may decrease the insulation value of the material by half. To avoid this convection-related loss, it is recommended that one use high-density loose-fill insulation or install additional covering materials (e.g. fabric or lightweight concrete) on low-density loose-fill insulation.

Another disadvantage of using loose-fill insulation is vapor permeability of the material (i.e. the ability of moisture to pass freely through the insulation layer). Moreover, if improperly installed, voids, gaps or fluffing may occur, which will result in greater heat loss. All of these problems may be minimized if expanded perlite slabs are utilized.

կամ փչվել, կամ լցվել: Լցվածքային ջերմամեկուսացման և, մասնավորապես, պեռլիտային մանրահատիկային լցանյութով ջերմամեկուսացման առավելությունը դժվար հասանելի և անկանոն ձևի տեղամասերի ջերմամեկուսացումն է: Մեկ այլ հնարավոր տարբերակ է շարվածքային բլոկերի սևամեջ հատվածքների լցմամբ ջերմամեկուսացումը:

Ձեղնահարկերի հատակների (հիմնականում չշահագործվող) պատումը լցվածքային ջերմամեկուսիչով խնայում է գումար և ժամանակ: Լցվածքային պեռլիտը նաև արտադրվում է հատուկ պարկերով և հնարավոր է դարձնում այդպիսի ջերմամեկուսացման ոչ միայն հորիզոնական, այլ նաև ուղղահայաց իրականացումը: Թերևս դժվարությունն այն է, որ ուղղա-

վյն դեպքում, երբ լցվածքային ջերմամեկուսացումն իրականացված է ոչ պատշաճ կերպով, հնարավոր է որոշակի խնդիրների առաջացումը: Օրինակ՝ ցածր խտությամբ լցվածքային ջերմամեկուսիչ նյութի (խոշորահատիկ ավազ կամ պեռլիտ) դեպքում դիտվում է ջերմամեկուսիչ նյութի շերտում կոնվեկցիոն երևույթների առաջացում, որը հանգեցնում է ջերմամեկուսիչ շերտի միջով ջերմափոխանցման մեծացմանը: Դիտարկումները և հաշվարկները ցույց են տալիս, որ այդպիսի երևույթները գրեթե կիսով չափ վատթարացնում են նյութի ջերմամեկուսիչ հատկությունները: Խուսափելու համար խորհուրդ է տրվում կիրառել միջին կամ բարձր խտությամբ լցվածքային ջերմամեկուսացում, կամ էլ ցածր խտությամբ լցվածքային ջերմամեկուսիչը պատել լրացուցիչ թաղանթային շերտով, ինչպիսիք են մանրաթելային գործվածքները կամ բարակ ցեմենտավազային շաղախաշերտը:

Լցվածքային ջերմամեկուսիչների թերություններից է այդպիսի ջերմամեկուսիչ շերտի գոլորշաթափանցելիությունը (այսինքն՝ նյութի միջով

### Expanded Perlite

Expanded perlite (Figure 5) is widely used due to its low weight and low thermal conductivity. It can be manufactured with densities as light as 30kg per cubic meter. In addition to excellent thermal resistance and weight characteristics, perlite is fire resistant, has low vapor absorption (absorbs less than 3% of air content of water vapor), and high water absorption (30% and more in 24 hours sunken into water). It also reduces noise transmission, and is ecological and resistant to rot and termites. The heat transfer coefficient is 0.038-0.058 W/m°C for swelled perlite sand and 0.06-0.14 for perlite concrete slabs.

Figure 5. Expanded perlite board



Նկար 5. Փքեցված պեռլիտե սալ

### Mineral Wool

Mineral wool (i.e. man-made vitreous fiber) is another material used in construction worldwide. There are two main types of mineral wool: rock wool and slag wool (Figure 6). Fiberglass is a subtype of mineral wool. Mineral wool was developed in the 19<sup>th</sup> century by melting slag. Rock wool was developed later. The raw materials used in the manufacturing of rock wool and slag wool are completely different.

Figure 6. Mineral wool types: 1 - rock wool, 2 - slag wool



Նկար 6. Հանքային բամբակի տեսակները. 1 - ապարային հանքային բամբակ, 2 - խարամային հանքային բամբակ

While rock wool is made of natural rock materials, the raw material for slag wool is

գոլորշի անցնելու հատկությունը): Այն դեպքում, երբ սմանատիպ ջերմամեկուսիչ շերտը տեղադրված է ոչ պատշաճ կերպով, շերտի ներսում առաջանում են օդային բացվածքներ և բացատներ, որոնք մեծացնում են շերտի միջով անցնող ջերմության քանակությունը: Այս և վերոնշյալ խնդիրները բացառվում կամ նվազեցվում են այն դեպքում, երբ կիրառված են փքեցված պեռլիտասալեր: Հարկ է նշել, որ ՀՀ-ում առկա է պեռլիտային լցանյութի և պեռլիտասալերի արտադրություն:

### Փքեցված պեռլիտ

Փքեցված պեռլիտը (նկ. 5) լայնորեն կիրառվում է իր թեթև քաշի և ցածր ջերմահաղորդականության պատճառով: Այն կարող է պատրաստվել անգամ 30 կգ/մ<sup>3</sup> խտությամբ: Որպես հավելում՝ հարկ է նաև նշել, որ պեռլիտը այրվող չէ, ունի ցածր գիգրոսկոպիկություն (օդից ջրային գոլորշի կլանելու հատկություն մինչև 3%), իսկ ջրակլանումը (ընկղմում ջրում 24 ժամով) բարձր է՝ 30% և ավելի: Այդպիսի նյութից շինվածքները նաև օժտված են բարձր ձայնամեկուսիչ հատկություններով: Փքեցված պեռլիտը նաև էկոլոգիապես մաքուր է և ենթակա չէ միջատների և կրծողների ազդեցությանը: Ջերմահաղորդականության գործակիցը կազմում է՝ փքեցված պեռլիտե ավազի համար 0.038-0.058 Վտ/մ°C, պեռլիտացեմենտային սալերի՝ 0.06-0.14 Վտ/մ°C:

### Հանքային բամբակ

Հայտնի լինելով նաև որպես «արհեստական ապակենման մանրաթել», հանքային բամբակը մեկ այլ ջերմամեկուսիչ նյութ է, որը նույնպես լայնածավալ կիրառում է գտել ամբողջ աշխարհում: Առկա են հանքային բամբակի երկու հիմնական տիպ՝ խարամային և ապարային (նկ. 6): Խարամային հիմքով հանքային բամբակը ստեղծվել է 19-րդ դարում՝ խարամի հալեցման շնորհիվ, ավելի ուշ նույն կերպ մշակվել և ստացվել է ապարային հանքային բամբակը: Հումքային նյութերը, որոնք օգտագործվում են խարամային և ապարային հանքային բամբակի ստացման համար, լիովին տարբեր են:

Ապարային հանքային բամբակը ստացված է բնական ապարանյութերից, իսկ խարամային հանքային բամբակի ստացման համար օգտագործվում են երկաթի հալեցման ժամանակ արտանետված տաշեղները: Եվրոպական երկրներում, ինչպես նաև ՀՀ-ում, ապարային հանքային բամբակն ունի լայն տարածում, սակայն ԱՄՆ-ում, որպես ջերմամեկուսիչ նյութ, ավելի շատ կիրառվում է խարամային հանքային բամբակը: Ստացման գործընթացը երկու

commonly a blast furnace slag of iron ore. In European countries, as well as in Armenia, rock wool is used more often than slag wool as a thermal insulation material. In the US, however, slag wool is used more often than rock wool. The production processes of both mineral and slag wools are similar. Molten iron ore, slag, or natural rock is placed into a centrifugal wheel, which forms fibers.<sup>6</sup> The material is then collected and shaped into mats or blankets. The advantage of mineral wool is its resistance to moisture absorption. Rock wool, commonly made of natural basalt, is also inflammable. Mineral wool is stable to mildew, mold or bacteria growing and has a long life span.

Mineral wool is widely used in the thermal insulation of roofs, walls and covers. There is more than 50 years of research dealing with health issues related to mineral wool and its use in building insulation. Its safety has been attested except in cases when mineral wool fibers are in direct contact with human eyes or skin. In such cases, the worker must thoroughly clean his/her eyes and skin with warm water.

Studies and experiments state that mineral wool is non-combustible and only melts in temperatures above 1,000°C. Due to its non-combustible characteristics, mineral wool can be used for chimney and fireplace insulation. There are several mineral wool plants which produce basalt-based rock wool in Armenia. Material is also being imported from other countries and is easy to find in the Armenian construction materials market. There are many types of mineral wool wares, starting from 12-250 kg per cubic meter density and more. While light mats or blankets can be used in horizontal areas (with metal or wooden risers), as well as in ventilated facades, it is recommended that one use medium and heavy mats (60 kg/m<sup>3</sup> and denser) when using plaster or stucco as the finish material on the facade. Figure 7 shows different types of mineral wool installation on masonry walls. The mineral wool heat transfer coefficient is 0.037-0.045 W/m°C:

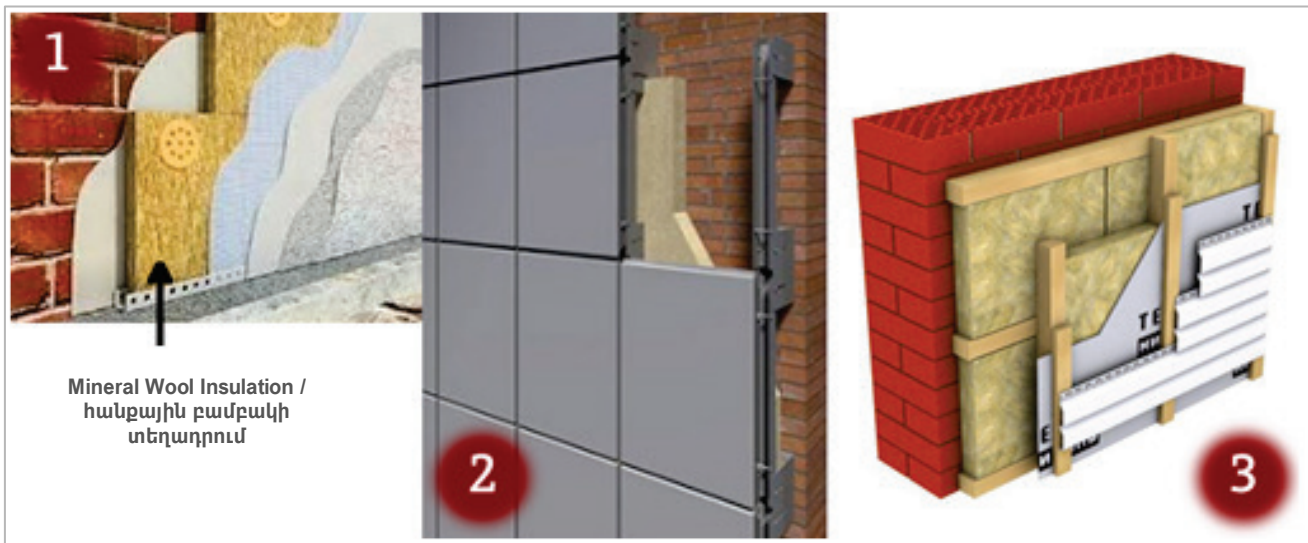
տիպի հանքային բամբակների համար նույնատիպ է: Հալեցված երկաթե հանքաքարը կամ ապարները տեղադրվում են կենտրոնաձիգ պտտում ունեցող գլանի մեջ: Գլանի արագ պտույտն իր առանցքի շուրջ նպաստում է մանրաթելերի առաջացմանը<sup>6</sup>: Այնուհետև ստացված նյութը հավաքվում և վերափոխվում է գլանափաթեթների կամ սալերի: Հանքային բամբակի դրական հատկանիշներից է գույր-շու կլանման նկատմամբ դիմադրելիությունը: Բազալտե ապարային հումքից ստացված հանքային բամբակը նաև այրվող չէ, կայուն է գանազան սնկային գոյացումների ու բորբոսի նկատմամբ և ունի շահագործման երկար ժամկետ:

Հանքային բամբակից շինվածքները լայնորեն կիրառվում են տանիքների, պատերի և հատակների ջերմամեկուսացման համար: Առկա են ավելի քան 50 տարվա ընթացքում կատարված հետազոտություններ, որոնք հաստատում են, որ հանքային բամբակն անվնաս է մարդու առողջության համար: Դրանք գրեթե բոլորը վկայում են հանքային բամբակ օգտագործելու անվտանգության մասին, բացառությամբ դեպքերի, երբ հանքային բամբակի մանրաթելերը գտնվում են մարդու մաշկի կամ աչքերի հետ անմիջական շփման մեջ: Այդպիսի դեպքերում աշխատողը/բանվորը պետք է հիմնավորապես լվանա իր մաշկն ու աչքերը սենյակային ջերմաստիճանի ջրով:

Հետազոտությունները և փորձերը հավաստում են, որ հանքային բամբակը չի բռնկվում և հալչում է 1000°C և ավել ջերմաստիճանի դեպքում: Դրա շնորհիվ հանքային բամբակը կարող է օգտագործվել վառարանների ջերմամեկուսացման համար: Առկա են հանքային բամբակից տարբեր խտությամբ շինվածքներ՝ 12-ից 250 կգ/մ<sup>3</sup> խտությամբ: ՀՀ շուկայում այն ոչ միայն արտադրվում, այլև ներկրվում է տարբեր կազմակերպությունների կողմից: Թեթև գորգերը կարող են օգտագործվել հորիզոնական մակերևույթների կամ օդափոխվող օդային միջնաշերտով ճակատների ջերմամեկուսացման համար, այն դեպքում, երբ բարձր խտությամբ սալերը (60 կգ/մ<sup>3</sup> և ավել) կարող են օգտագործվել ամենուր, ընդ որում, նման խտությամբ սալերի վրա հնարավոր է նախատեսել դեկորատիվ սվաղաշերտ: Նկ. 7-ում պատկերված են շարվածքի վրա հանքային բամբակի տեղադրման եղանակները: Հանքային բամբակի ջերմահաղորդականության գործակցի մեծությունն է 0.037-0.045 Վտ/մ°C:

<sup>6</sup> The process is very similar to making cotton candy, which is formed by pouring molten sugar into a centrifugal wheel, creating the sugar fibers.  
Գործընթացը նման է քաղցր բամբակի արտադրությանը. հալված շաքարը լցնում են կենտրոնախույս թափանիվում, ստեղծելով շաքարի մանրաթելեր:

Figure 7. Mineral wool installation: 1 - on masonry wall with plaster and stucco layers; 2 - ventilated facade system with metal risers and facing panels; 3 - ventilated facade system on masonry wall with metal or wooden risers and rectangular panels or plastic siding; risers provide an air gap between insulation and facing layers, which ventilates the insulation layer.



Նկար 7. Հանքային բամբակի տեղադրումը: 1. շարվածքի վրա՝ դեկորատիվ սվաղաշերտով, 2. մետաղական ուղղորդներով և երեսպատման սալիկներով օդափոխվող ճակատում, 3. մետաղյա կամ փայտյա ուղղորդներով և ուղղանկյուն պանելներով կամ երեսպատման սայրիկներով օդափոխվող ճակատում, ուղղորդներն ապահովում են օդային բացակ ջերմամեկուսիչ և պատող շերտերի միջև, որն օդափոխում է ջերմամեկուսիչ շերտը:

### Extruded Polystyrene (XPS)

Another highly effective thermal insulation material, manufactured in the form of a board, is extruded polystyrene (XPS, Figure 8). This was developed in the 1940s by Dow Chemical Company. XPS has closed cells and it is completely homogenous. Extruded polystyrene is formed after the extrusion process of styrofoam boards, during which a special gas is added into the cells along with air. The final product is highly dense (up to  $45 \text{ kg/m}^3$ ), rigid boards with very low weight and high thermal insulation characteristics (heat transfer coefficient is  $0.029\text{-}0.04 \text{ W/m}^2\text{K}$ ). XPS can be used to insulate almost any type of construction except for those with high levels of chemicals.

XPS products vary in density and sizes and can be from 10-100mm thick. Standard sizes are 60x120cm, 120x240cm and 120x270cm; however, it is possible to produce differently sized boards. The closed cells of XPS make it fully hydrophobic, and its smooth surface makes it hard for moisture to impregnate into the material.

Despite its effectiveness as a thermal insulation material, XPS has some limitations. It is vulnerable to some petroleum-based solvents, including paints, adhesives, preplaster

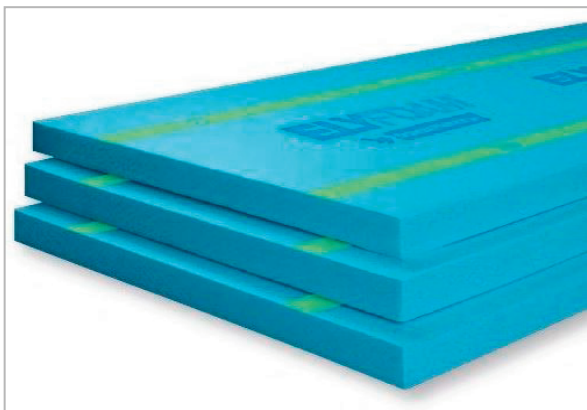
### Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլ

Լավ ջերմամեկուսիչ հատկություններով մեկ այլ նյութ է էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլը (Նկ. 8), որը ստացվում է սալերի տեսքով՝ փրփրապոլիստիրոլի էքստրուզիայի շնորհիվ: Այն առաջին անգամ ստացվել է 1940թ.: Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլն ունի փակ ծակոտիների կառուցվածք և ամբողջովին համասեռ է: Էքստրուզիայի ընթացքում փրփրապոլիստիրոլի մեջ օդի հետ մեկտեղ ներարկվում է հատուկ գազ: Վերջնական արտադրանք են հանդիսանում խիտ (մինչև  $45 \text{ կգ/մ}^3$ ), կոշտ, բավական թեթև և բարձր ջերմամեկուսիչ հատկություններով (ջերմահաղորդականության գործակիցը  $0.029\text{-}0.04 \text{ Վտ/մ}^2\text{C}$ ) սալեր: Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլը կարող է օգտագործվել գրեթե ցանկացած տիպի ջերմամեկուսացման աշխատանքների համար, բացառությամբ այն դեպքերի, երբ մեկուսացվող կոնստրուկցիան գտնվում է հրավտանգ կամ քիմիապես անկայուն և վտանգավոր միջավայրում:

Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլից սալերը կարող են ունենալ տարբեր խտություն և չափեր՝ 10մմ-ից մինչև 100մմ հաստությամբ: Ստանդարտացված չափերն են՝ 60x120սմ, 120x240սմ և 120x270սմ, սակայն հնարավոր է արտադրել նաև ստանդարտներից դուրս չափերով սալեր: Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլի փակ ծակոտիները պաշտպանում են

solutions, etc. It must be protected from direct exposure to sunlight and bacteria infestation. Certain types of XPS also are high-risk flammable materials. These resist 70°C, but melt at 90°C. During burning, XPS emits dangerous hydrocyanic gas. Thus, it is advisable to use XPS for outside insulation only. XPS can be used in the same manner and with the same installation/application techniques as mineral wool (Figure 6). Both imported and produced of local raw materials, XPS is widely available in Armenia.

Figure 8. Extruded polystyrene rigid boards



Նկար 8. Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլի կոշտ վահաններ

### Polyurethane Foam (PF), sprayed or rigid boards

Polyurethane Foam (PF) can be both sprayed and manufactured as boards (Figure 9). PF is a highly effective thermal insulation material (heat transfer coefficient 0.020-0.029 W/m°C).

When sprayed, it covers every type of surface with special or peculiar angles. A positive feature of the final product is its seamlessness and continuousness. PF is completely homogenous, like XPS. It has closed cells filled with inert gas, which resists heat transfer more effectively than regular air.

PF boards can be manufactured in both standard and irregular sizes, while sprayed PF can be sprayed layer by layer right on site at the required thickness. To make sprayed PF, two components must be mixed and an inert gas added. It is extremely important to note that inflammable material must be used for insulating the edges of openings such as doors and windows; PF boards and XPS are not advised. It is, how-

զրի կլանումից, իսկ հարթ, միասեռ մակերևույթը դժվարեցնում է գոլորշու անցումը նյութի միջով:

Չնայած նյութի արդյունավետությանը որպես ջերմամեկուսիչ, էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլն ունի կիրառման որոշ սահմանափակումներ: Այն անկայուն է որոշ բենզոլային հիմքով լուծիչների նկատմամբ, որոնցից են ներկերը, սոսինձները, նախասվաղային լուծույթները և այլն: Այն հարկավոր է պաշտպանել արևի ուղիղ ճառագայթների, ինչպես նաև միջատների ազդեցությունից: Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլի որոշ տեսակներ նաև այրվող և արագ բռնկվող նյութեր են: Դրանք դիմակայում են 70°C ջերմաստիճանը, սակայն հալչում են 90°C ջերմաստիճանի տակ: Այրման ընթացքում էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլը արտանետում է վտանգավոր ցիանազազ: Այդ իսկ պատճառով էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլից ջերմամեկուսացումը ցանկալի է նախատեսել միայն պատող կոնստրուկցիայի արտաքինից: Հավաքակցման տեխնոլոգիայի տեսանկյունից էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլից սալերը տեղադրվում են նույն կերպ, ինչ հանքաքամբակե սալերը (սկ. 6): Ինչպես և հանքաքամբակը, էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլը նույնպես լայն տարածում ունի հայաստանյան շուկայում:

### Փրփրապոլիուրեթան, փչովի / կոշտ սալեր

Փրփրապոլիուրեթանե ջերմամեկուսացումը կարող է իրականացվել ինչպես անմիջականորեն տեղում կոնստրուկցիայի վրա փչելու եղանակով, այնպես էլ կարող է արտադրվել կոշտ սալերի տեսքով (սկ. 9): Փրփրապոլիուրեթանը բարձր արդյունավետությամբ ջերմամեկուսիչ նյութ է (ջերմահաղորդականության գործակիցը 0.020-0.029 Վտ/մ°C):

Փչովի եղանակով իրականացման դեպքում այն ծածկում է մակերևույթի ցանկացած անհարթություն և բարդ անկյունները: Դրական հատկանիշ է նաև այն, որ փչովի փրփրապոլիուրեթանից իրականացված ջերմամեկուսիչ շերտն անկար է և անընդհատ: Ինչպես էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլը, փրփրապոլիուրեթանը նույնպես ունի փակ ծակոտիներ, ամբողջովին համասեռ է և լցված է իներտ գազով, որն ավելի արդյունավետ ջերմամեկուսիչ է, քան սովորական օդը:

Փրփրապոլիուրեթանից սալերը կարող են արտադրվել ինչպես ստանդարտ, այնպես էլ պատվիրված այլ չափերով, այնինչ՝ փչովի

ever, possible to cover all the insulation area with sprayed PF layers, forming a tough, rigid surface.

PF resists water, moisture, fungi, and insects. Moreover, it does not shrink or settle. The process of sprayed PF insulation is extremely fast: it gains its primary toughness in just a few minutes and gets fully tough within 24 hours. Sprayed PF insulation layers contain no joints; therefore, there is no air leakage through the layer. Not only does sprayed PF insulate the necessary area, but it also makes it stronger by filling any cavities (making one strong layer). Studies have shown that frames or ceilings filled with sprayed PF are stronger than frames without sprayed PF insulation.<sup>7</sup>

Figure 9. Polyurethane foam



Նկար 9. Փրփրապոլիուրեթան

Only a trained professional should spray PF. Application of PF layers require special spraying equipment and adherence to health and safety requirements. Ultraviolet shading during the application and strengthening process is also necessary. It is also necessary to shield the areas not to be insulated, especially doors and windows, as the foam adheres to almost every type of material. The sprayed areas should be covered by a tarpaulin or plastered so that the new layer is protected from ultraviolet exposure and subsequent degradation. Sprayed PF (as well as XPS) is flammable; however, special additional agents may be applied to reverse this quality. Envisaging insulation using flammable PF, it is essential to protect it by using a so-called “15-minute thermal barri-

եղանակով իրականացման դեպքում փրփրապոլիուրեթանն իրականացվում է շերտ առ շերտ՝ մինչև պահանջվող հաստության ստացումը: Փրփրապոլիուրեթանը երկբաղադրիչ է, և ստանալու համար հարկավոր է երկու բաղադրիչները խառնել միմյանց՝ ավելացնելով հատուկ/իներտ գազ: Հարկ է նշել, որ պատուհանների և դռների շեպերի շերտամեկուսացման համար հարկավոր է կիրառել չայրվող նյութեր, այդ իսկ պատճառով փրփրապոլիուրեթանի (ևսև էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլի) կիրառումը այդ տեղամասերում նախատեսված չէ: Հնարավոր է, սակայն, ծածկել մեկուսացվելիք ամբողջ մակերևույթը փրփրապոլիուրեթանի փչված շերտով, որը կազմում է ամուր, կոշտ մակերես:

Փրփրապոլիուրեթանը ջրակայուն է, կայուն է գոլորշու, սնկային գոյացումների ազդեցության նկատմամբ, երթակա չէ միջատների ազդեցությանը: Ավելին՝ շահագործման ընթացքում չեն դիտվում նստվածքային երևույթներ: Փչման գոծընթացը չափազանց արագ է. այն ստանում է իր առաջնային ամրությունը ընդամենը մի քանի րոպեի ընթացքում և ամբողջովին պնդանում 24 ժամվա ընթացքում: Փչովի շերտն անկար է, ինչի շնորհիվ բացառված է օդի հոսքը շերտի միացումների միջով: Հետագոտությունները ցույց են տվել, որ փչովի եղանակով իրականացված փրփրապոլիուրեթանե մեկուսացումը ոչ միայն ամբողջովին պատում է մակերևույթը, այլև ամրացնում այն՝ լցվելով մակերևույթում առկա ծակոտիների մեջ<sup>7</sup>:

Միայն հատուկ ուսուցում անցած մասնագետը կարող է իրականացնել փրփրապոլիուրեթանի փչման աշխատանքները: Փրփրապոլիուրեթանից շերտամեկուսիչ շերտի կիրառումը պահանջում է նաև հատուկ (փչող) սարքավորումների առկայություն, ինչպես նաև առողջապահության և անվտանգության պահանջների կատարում: Նյութը փչելու և նյութի պնդելու ընթացքում անհրաժեշտ է նաև ուլտրամանուշակագույն ստվերումը: Հարկավոր է նաև ծածկել այն տեղամասերը, որտեղ շերտի փչում չի նախատեսվում, հատկապես պատուհաններն ու դռները, քանի որ փրփուրը կաչում է նյութերի գրեթե բոլոր տեսակներին: Անհրաժեշտ է նաև փչված տեղամասերը պատել բրեզենտային նյութով կամ սվաղաշերտով, որպեսզի շերտը չենթարկվի ուլտրամանուշակագույն ճառագայթների ազդեցությանը, և չկորցնի իր

<sup>7</sup> “Spray Polyurethane Foam Alliance Recent News”, accessed July 2013, [http://www.sprayfoam.org/index.php?page\\_id=198](http://www.sprayfoam.org/index.php?page_id=198)

er”<sup>8</sup>, e.g. stone panels, thin cement-sand plaster mixture, other similar covers, etc.

### Foam Glass

The last insulation material we will discuss is foam glass (Figure 10), a highly effective material with many advantageous characteristics. Foam glass is based on foamed silicate glass masses, which form at 1000°C. During the foaming process, a gas (commonly carbon based) is added and the result is a homogeneous material with closed cells. After cooling, foam glass has significant compressive strength. Foam glass has high thermal- and sound-insulating characteristics (the heat transfer coefficient is 0.040-0.080 W/m°C). It is very easy to handle and work with. The blocks easily adhere, not only to each other, but also to almost any kind of material. Regular glass, obsidian, volcanic sinter, and similar materials can be utilized as raw materials for foam glass. Foam glass is available both as blocks or granulated loose-fill insulation.

Figure 10. Foam glass block



Նկար 10. Փրփրապակի

Foam glass is an ecological and safe material. It is resistant to moisture, fungi, insects and rodents. It has significantly higher longevity, and is entirely water permeable and vapor tight. Similar to sprayed PF, it does not shrink and settle. It is resistant to the majority of chemical acids and alkalis. The only complicating factor regarding mass usage of foam glass in

հատկությունները: Փրփրապոլիուրեթանը, թերևս, այրելի նյութ է, սակայն հատուկ հավելումների շնորհիվ հնարավոր է ստանալ չայրվող փրփրապոլիուրեթան (ինչպես նաև էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլ): Այրելի փրփրապոլիուրեթանից ջերմամեկուսացման նախատեսման ժամանակ հարկավոր է այն պատել, այսպես կոչված՝ «15 րոպեանոց ջերմային պատնեշով»<sup>8</sup>, որն իրենից ներկայացնում է քարե սալիկներ, կամ ցեմենտաձագային բարակ շաղախաշերտ կամ նմանատիպ այլ ծածկույթ:

### Փրփրապակի

Դիտարկված ջերմամեկուսիչ նյութերի շարքը եզրափակում է փրփրապակին (նկ. 10), որը չափազանց արդյունավետ նյութ է, բազմաթիվ դրական հատկանիշներով: Փրփրապակին կազմվում է փրփրած սիլիկատային ապակե գանգվածներից, որոնք հալչում են 1000°C ջերմաստիճանի տակ: Փրփրման ընթացքում խառնուրդի մեջ ավելացվում է գազ (հիմնականում ածխածնային նյութեր): Վերջնական արդյունքը ամբողջովին համասեռ, փակ ծակոտիներով նյութ է: Սառչելուց հետո փրփրապակին ձեռք է բերում զգալի ամրություն: Փրփրապակին օժտված է բարձր ջերմա և ձայնամեկուսիչ հատկություններով (ջերմահաղորդականության գործակիցը 0.040-0.080 Վտ/մ°C), այն շատ դյուրին է կիրառելիության տեսանկյունից: Բլոկերը հեշտությամբ սոսնձվում են ոչ միայն մեկը մյուսի, այլև գրեթե ցանկացած այլ նյութի հետ: Որպես հումքային նյութ՝ կարող են օգտագործվել սովորական ապակին, օբսիդիանը և այլ նույնատիպ նյութերը: Փրփրապակին կարող է արտադրվել ինչպես բլոկերի, այնպես էլ լցվածքային ջերմամեկուսիչի տեսքով:

Փրփրապակին էկոլոգիապես մաքուր և անվտանգ նյութ է: Կայուն է խոնավության թափանցման, միջատների, կրծողների, մնկային գոյացումների նկատմամբ, ամբողջովին ջրանթափանց է և գոլորշակայուն, ունի անհամեմատ երկար շահագործման ժամկետ: Ծահագործման ընթացքում փրփրապակու բնութագրերը չեն փոփոխվում, այն չի ենթարկվում նստվածքների, հրակայուն է, դիմադրում է գրեթե բոլոր քիմիական վտանգավոր լուծիչներին և թթուներին: Միակ գործոնը, որը սահմանափակում է փրփրապակու լայնածավալ կիրառումը, նրա արժեքն է՝ փրփրապակին վերոնշյալ բոլոր նյութերից առավել թանկն է: Սակայն հարկ է

<sup>8</sup> These timelines are determined based on the fire safety norms effective in the the country in question. Այդ ժամկետները սահմանվում են՝ ելնելով տվյալ երկրի հրդեհային անվտանգության նորմերից:

Armenia is its high cost, exacerbated by the absence of local production. Nevertheless, zero-operation costs compensate for the initial lump-sum expenses.

Figure 11 below summarizes the aforementioned materials and their characteristics. Students wanting to learn more about building materials and their environmental advantages and disadvantages are encouraged to visit various resources available on the internet, such as [www.greenspec.co.uk](http://www.greenspec.co.uk). A database of insulation materials available in the Armenian market with their properties featured, as well as importers and producers, may be used as a reference (downloadable from: [http://www.nature-ic.am/res/pdfs/publications/EEB-database\\_insulation\\_database\\_eng.pdf](http://www.nature-ic.am/res/pdfs/publications/EEB-database_insulation_database_eng.pdf)). Datamarts of insulation materials available in the Armenian market were provided by the UNDP-GEF “Improving Energy Efficiency in Buildings” project involving the Energy Efficiency Laboratory of the National University of Architecture and Construction of Armenia, and the Chair of Thermal Energy and Environment of the State Engineering University of Armenia.

Եւ, որ միանվագ ծախսերը փոխհատուցվում են շահագործման ծախսերի բացակայությամբ: Նկ. 11-ը պարփակում է վերոնշյալ նյութերի բնութագրերը: Այն ուսանողները, որոնք ցանկանում են իմանալ ավելին ջերմամեկուսիչ նյութերի և նրանց դրական ու բացասական հատկությունների վերաբերյալ, կարող են այցելել տարբեր համացանցային ռեսուրսներ, ինչպիսին է, օրինակ՝ [www.greenspec.co.uk](http://www.greenspec.co.uk) կայքը: Հայաստանի շուկայում առկա ջերմամեկուսիչ նյութերի բնութագրերի, դրանք արտադրող և ներկրող ընկերությունների մասին կարող եք տեղեկանալ [http://www.nature-ic.am/res/pdfs/publications/EEB-database\\_insulation\\_database\\_arm.pdf](http://www.nature-ic.am/res/pdfs/publications/EEB-database_insulation_database_arm.pdf) հասցեում տեղադրված շտեմարանից: «Շենքերի էներգետիկ արդյունավետության բարձրացում» ՄԱՉԾ-ԳԷՖ/00059937 ծրագրի կողմից տրամադրված են առկա ջերմամեկուսիչ նյութերի նմուշներով ցուցատախտակներ ճարտարապետության և շինարարության Հայաստանի ազգային համալսարանի էներգաարդյունավետության լաբորատորիային, ինչպես նաև Հայաստանի պետական ճարտարագիտական համալսարանի Ջերմաէներգետիկայի և շրջակա միջավայրի ամբիոնին:

Figure 11. Summary of characteristics of typical insulation materials

No	Material	Density	Longevity (years)	Water permeability	Flammability	Chemical and environmental resistance	Workability	Additional materials	Cost of material*
1	Perlite board	250 ±10%	≥100	Absorbs	Resists up to 1300°C, non-combustible	Resists alkalis and acids, ecologically clean	Easy to work, yet brittle	Glue, anchors	50mm thickness \$7-8.5 per square meter
2	Perlite loosefill	80-120	≥100	Absorbs	Resists up to 1300°C	Resists alkalis and acids, ecologically clean	Easy to work	Bags, wooden or metal risers	\$40-50 per cubic meter
3	Mineral wool	15-200	up to 60	Absorbs	Resists up to 3000°C	Resists alkali and acids, ecologically clean	Easy to cut and work	Glue, anchors, wind- and water protective membrane	\$40-150 per cubic meter
4	Extruded polystyrene (XPS) boards	28-45	more than 50	Resists	Resists up to +80 °C	Vulnerable to alkalis and acids, contains gas. When burned emits harmful hydrocyanic gases	Easy to cut and work	Glue, anchors	30 mm thickness \$8-10 per square meter
5	Polyurethane foam boards	30-120	more than 50	Resists	Resists up to 250 °C	Resists alkalis and acids, contains gas	Easy to cut and work	Glue, anchors	30 mm thickness \$10-12 per square meter
6	Sprayed polyurethane foam	30-120	more than 50	Resists	Resists up to 250 °C	Resists alkalis and acids, contains gas	Easy to spray - no joints	Special spraying machine	10 mm thickness up to \$4 per square meter
7	Foam glass	120-160	≥100	Resists	Resists up to 730 °C	Resists alkalis and acids	Easy to cut and work	Glue, anchors	\$300-350 per cubic meter

Note: (\*) The material costs noted are from various sources and are presented for illustrative purposes only. Actual prices internationally and in the local market may vary greatly.



Նկար 11. Ջերմամեկուսիչ նյութերի բնութագրերի հավաքական աղյուսակ

№	Նյութ	Խտություն	Երկարակետ- ցություն (տարի)	Ջրակա- լիչում	Այրելի- ություն	Քիմիական կայունություն	Կիրառե- լիություն	Լրացուցիչ նյութեր	Նյութի արժեքը*
1	Պեռլիտե սալեր	250 ±10%	≥100	Կլա- նում է	Դիմակա- յում է մինչև 1300° C	Դիմակայում է թթուների և լուծույթների, էկոլոգիապես մաքուր	Դյուրին է աշխատանքի մեջ, սակայն փխրուն է	Սոսիևձ, խցա- բութակներ	50 մմ հաս- տության մեկ մետր քառակու- սին՝ 7-8.5 ԱՄՆ դոլար
2	Պեռլիտե լցանյութ	80-120	≥100	Կլա- նում է	Դիմակա- յում է մինչև 1300° C	Դիմակայում է թթուների և լուծույթների, էկոլոգիապես մաքուր	Դյուրին է աշ- խատանքի մեջ	Պարկեր, փայ- տյա կամ մե- տաղյա ուղ- ղորդներ	Մեկ մետր խորանար- դը՝ 40-50 ԱՄՆ դոլար
3	Հանքա- յին բամ- բակ	15-200	մինչև 60	Կլա- նում է	Դիմակա- յում է մինչև 3000° C	Դիմակայում է թթուների և լուծույթների, էկոլոգիապես մաքուր	Դյուրին է մասնատման համար և աշ- խատանքի մեջ	Սոսիևձ, խցա- բութակներ, հողմաջրա պաշտպան թաղանթ	Մեկ մետր խորանարդը՝ 40-150 ԱՄՆ դոլար
4	Էքստրու- դացված փրփրա- պոլիստի- րոլ (XPS)	28-45	Ավելի քան 50	Դիմա- կայում է	Դիմակա- յում է մինչև 80° C	Չգայուն է թթու- ների և լուծույթ- ների նկատմամբ պարունակում է գազ: Այրման ժա- մանակ արտանե- տում է ցիանա- գազ	Դյուրին է մասնատ- ման համար և աշխա- տանքի մեջ	Սոսիևձ, խցա- բութակներ	30 մմ հաս- տության մեկ մետր քառա- կուսին՝ 8-10 ԱՄՆ դոլար
5	Փրփրա- պոլիու- րեթանե վահան- ներ	30-120	Ավելի քան 50	Դիմա- կայում է	Դիմակա- յում է մինչև 250° C	Դիմակայում է թթուների և լու- ծույթների, պա- րունակում է գազ	Դյուրին է մասնատ- ման համար և աշխա- տանքի մեջ	Սոսիևձ, խցա- բութակներ	30 մմ հաս- տության մեկ մետր քառակու- սին՝ 10-12 ԱՄՆ դոլար
6	Փչովի փրփրա- պոլիու- րեթան	30-120	Ավելի քան 50	Դիմա- կայում է	Դիմակա- յում է մինչև 250° C	Դիմակայում է թթուների և լու- ծույթների, պա- րունակում է գազ	Դյուրին է փչման հա- մար, առանց կարերի	Հատուկ փչող սարքավորում	10 մմ հաս- տության մեկ մետր քառա- կուսին մինչև՝ 4 ԱՄՆ դոլար
7	Փրփրա- պակի	120-160	≥100	Դիմա- կայում է	Դիմակա- յում է մինչև 730° C	Դիմակայում է թթուների և լու- ծույթների, էկո- լոգիապես մա- քուր է	Դյուրին է մասնատման համար և աշ- խատանքի մեջ	Սոսիևձ, խցա- բութակներ	Մեկ մետր խորանար- դը՝ 300-350 ԱՄՆ դոլար

Նշում\* (\*) Նյութերի արժեքները վերցված են տարբեր աղբյուրներից և ներկայացված են միայն ծանոթության նպատակներով: Իրական արժեքները, կախված շուկայից, կարող են գազլիտերն տարբերվել:

**Thermal Insulation Values of Materials:  
R-Value and U-Value**

Thermal resistance or heat transfer resistance of a building is denoted by its R-value (m<sup>2</sup>·°C/W). The R-value can not only be used to show the thermal resistance of a whole building, but also that of the components of its envelope. In general, the thermal resistance of a material (with steady state heat transfer and homogeneity of material) is calculated by the following formula:

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, (1)$$

**Նյութերի ջերմամեկուսիչ բնութագրերը:  
R-արժեք և U-արժեք**

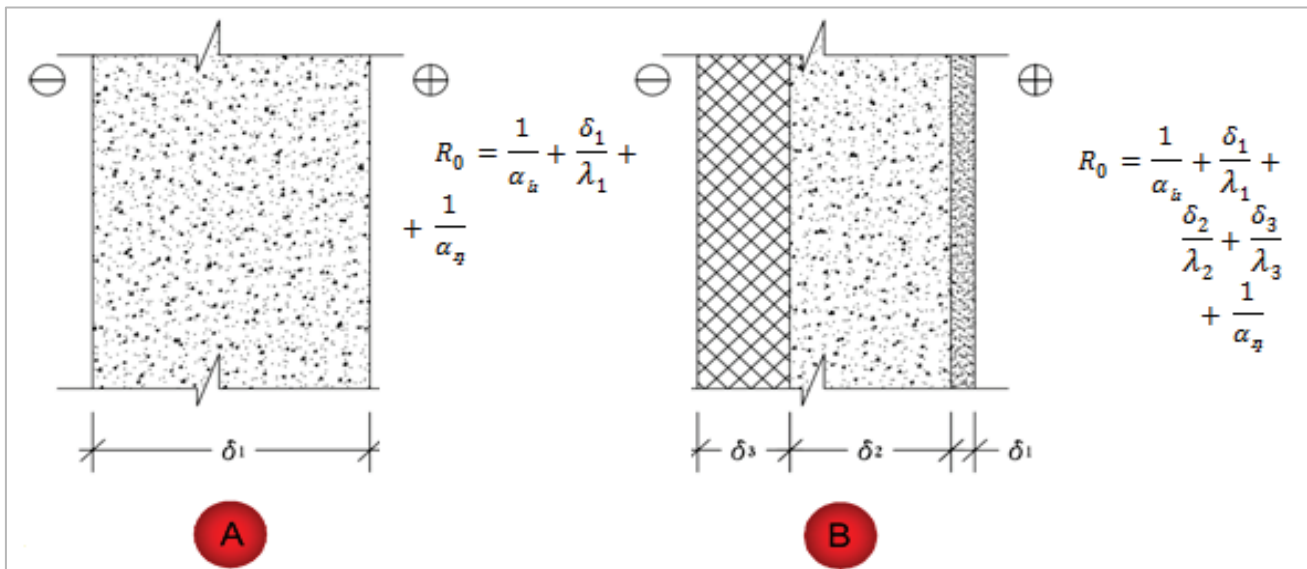
Շենքի գնահատող բնութագիրը, որը ցույց է տալիս դրա ջերմափոխանցմանը դիմադրելու հատկությունը, կոչվում է շենքի ջերմային դիմադրություն կամ ջերմափոխանցման դիմադրություն: Այն կարող է հաշվարկվել ինչպես ամբողջ շենքի, այնպես էլ դրա առանձին կոնստրուկցիաների (տարրերի) համար: Ջերմային դիմադրությունը նշանակվում է R լատինական տառով և ունի (մ<sup>2</sup>·°C/Վտ) չափողականություն: Ընդհանուր առմամբ, նյութի կամ կոնստրուկցիայի ջերմային դիմադրությունը (ստատիկ ջերմափոխանցման և նյութի համասեռության դեպքում) որոշվում է հետևյալ բանաձևով:

( $\delta$  is the thickness of a material in meters and  $\lambda$  its thermal conductivity in  $W/m^{\circ}C$ ). Calculations for both simple, one-layered and complicated multi-layered building envelopes are shown in Figure 12. Again, the calculations are valid for those types of constructions with a homogenous structure and steady state conduction. Steady state thermal conduction is described by Fourier's law, and is a form of conduction which happens when the temperature difference (indoor and outdoor) driving the conduction is constant, so that after an equilibration period the spatial distribution of temperatures in the conducting object does not change any further. For transient conduction (temperature is a function of time) a calculation with special PC software is required.

$$R = \frac{\delta}{\lambda}, (1)$$

Որտեղ  $\delta$ -ն տվյալ նյութով իրականացված կոնստրուկցիայի հաստությունն է, մ, իսկ  $\lambda$ -ն՝ նյութի ջերմահաղորդականության գործակիցը,  $W/m^{\circ}C$ : Նկ. 12-ում ներկայացված են պատող կոնստրուկցիայի ջերմային դիմադրության հաշվարկները ինչպես պարզ՝ միաշերտ, այնպես էլ բարդ՝ բազմաշերտ կոնստրուկցիաների համար: Կրկին՝ հաշվարկները ճիշտ են, եթե կոնստրուկցիայում առկա նյութերը համասեռ են, իսկ կոնստրուկցիան գտնվում է ստատիկ ջերմահաղորդականության պայմաններում: Ստատիկ ջերմահաղորդականությունը ներկայացված է Ֆուրյեի կանոնով և ջերմահաղորդականության տեսակ է, երբ ջերմության հաղորդման պատճառ հանդիսացող

Figure 12. The equation of thermal resistance for one-layered and multi-layered homogenous building envelope construction with steady state thermal conduction



Նկար 12. Միաշերտ և բազմաշերտ համասեռ կոնստրուկցիայի ջերմային դիմադրության հաշվարկը ստատիկ ջերմափոխանցման դեպքում:

For a multi-layered envelope consisting of homogenous layers with steady state thermal transfer, the complete evaluation for the thermal resistance will be:

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{int}} + R_{const} + \frac{1}{\alpha_{ext}}, (2)$$

where  $R_{const}$  is the same as in (1),  $\alpha_{int}$  is the internal film coefficient of heat transfer  $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ , and  $\alpha_{ext}$  is the external film coefficient of heat transfer in  $W/(m^2 \cdot ^{\circ}C)$ . Both of these film coefficients can be calculated from the thermal design code. Figure 13 shows the R-value of thermal insulation materials of 1 cm thickness. Please note

ջերմաստիճանային տարբերությունը (կոնստրուկցիայի ներսից և դրսից) հաստատուն է, այնպես որ՝ թերմոդինամիկական հավասարակշռությունից հետո կոնստրուկցիայում ջերմաստիճանի տարածական բաշխվածությունն այլևս չի փոխվում:

Փոփոխական ջերմահաղորդականության դեպքում (երբ ջերմաստիճանը ֆունկցիա է ժամանակից) հաշվարկների համար անհրաժեշտ է օգտագործել հատուկ հաշվարկային համակարգչային ծրագրեր/գործիքներ: Բազմաշերտ և համասեռ կոնստրուկցիայի ընդհանուր ջերմային դիմադրությունը ստատիկ ջերմափոխանցման դեպքում հաշվարկվում է հետևյալ կերպ.

that R-value varies in former USSR thermal design codes as well as in EU and US codes. In western thermal design code, the R-value is measured per 1 inch of construction (under steady state thermal transfer conditions), which allows for comparing materials not only by their thermal conduction coefficient, but also by resistance to heat transfer. It is helpful when evaluating various materials' energy efficiency.

The higher the R-value, the more energy efficient the construction. However, there is another formula to evaluate the thermal resistance of a building. This formula deals with heat flux through construction (amount of heat flown through 1 m<sup>2</sup> in 1 unit of time) and allows for modeling and calculating of non-constant thermal resistance for non-homogenous structures.

$$R_0 = \frac{A \cdot (t_{int} - t_{ext})}{Q}, \quad (3)$$

where *A* is the surface of heat loss in m<sup>2</sup>, *t<sub>int</sub>* is the internal temperature of air in °C, *t<sub>ext</sub>* is the external temperature of air in °C, and *Q* is the heat flux W.

Figure 13. The R-value per cm of some insulation materials

№	Material	R-value per cm (m <sup>2</sup> ·°C/W) • R-արժեքը 1 սմ հաստության դեպքում (մ <sup>2</sup> ·°C/Վտ)	Նյութ
1	Perlite Board	0.071-0.167	Պերլիտե սալ
2	Perlite loose-fill	0.172-0.263	Պերլիտե լցանյութ
3	Mineral wool	0.222-0.270	Հանքային բամբակ
4	Extruded polystyrene(XPS)	0.25-0.345	Էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլ (XPS)
5	Polyurethane foam boards	0.345-0.500	Փրփրապոլիուրեթանե սալեր
6	Sprayed polyurethane foam	0.345-0.500	Փչովի փրփրապոլիուրեթան
7	Foam glass	0.125-0.250	Փրփրապակի

Նկար13. Որոշ ջերմամեկուսիչ նյութերից 1 սմ հաստությամբ շերտի ջերմափոխանցման դիմադրությունը

$$R_0 = \frac{1}{\alpha_{\tilde{u}}} + R_{կոնստ} + \frac{1}{\alpha_{\tilde{v}}}, \quad (2)$$

(2) բանաձևում *R<sub>կոնստ</sub>*-ը նույնն է, ինչ (1) բանաձևում, *α<sub>ḡ</sub>*-ը ներքին մակերևույթի ջերմատվության գործակիցն է, Վտ/մ<sup>2</sup>·°C, իսկ *α<sub>ṽ</sub>*-ը արտաքին մակերևույթի ջերմատվության գործակիցն է, Վտ/մ<sup>2</sup>·°C: Այս երկու գործակիցների արժեքները վերցվում են տեղային ջերմային պաշտպանության նորմերից: Նկ. 13-ը ներկայացնում է վերը նշված ջերմամեկուսիչ նյութերի 1 սմ հաստության R-ի արժեքը: Հարկ է նշել, որ R-ի հաշվարկի նկատմամբ մոտեցումը տարբերվում է ԽՍՀՄ երկրներում և ԱՄՆ-ում ու ԵՄ-ում: Արևմտյան շինարարական նորմերում R-արժեքը հաշվարկվում է նյութի 1 դյույմ հաստության համար (ստատիկ ջերմափոխանցման պայմաններում), ինչը թույլ է տալիս համեմատել տարբեր նյութերը ոչ միայն ըստ ջերմահաղորդականության գործակիցի, այլև ըստ ջերմային դիմադրության: Դա հեշտացնում է տարբեր նյութերի կիրառմամբ էներգաարդյունավետության գնահատման խնդիրը:

Ինչքան մեծ է կոնստրուկցիայի ջերմային դիմադրության R-արժեքը, այնքան էներգաարդյունավետ է այն: Սակայն առկա է մեկ այլ բանաձև, որը կոնստրուկցիայի ջերմային դիմադրության գործակից արժեքը որոշում է ջերմային հոսքի խտությամբ (միավոր ժամանակում 1 մ<sup>2</sup> միջով անցած ջերմության քանակությունը): Այս բանաձևը դրված է հաշվարկային ծրագրերի հիմքում, որոնք թույլ են տալիս մոդելավորել և հաշվարկել փոփոխական ջերմափոխանցման պայմաններում գտնվող ոչ համասեռ կոնստրուկցիայի ջերմադիմադրությունը:

$$R_0 = \frac{A \cdot (t_{\tilde{u}} - t_{\tilde{v}})}{Q}, \quad (3)$$

որտեղ *A*-ն այն մակերեսն է, որով փոխանցվում է ջերմությունը, մ<sup>2</sup>, *t<sub>ḡ</sub>*-ը շենքի ներսի օդի ջերմաստիճանն է, °C, *t<sub>ṽ</sub>*-ը դրսի օդի ջերմաստիճանն է, °C, և *Q*-ն ջերմային հոսքի խտությունը, Վտ:

R-արժեքը օգտագործվում է հատկապես անթափանց կոնստրուկցիաների ջերմային դիմադրությունը հաշվարկելու համար: Լուսաթափանց կոնստրուկցիաների համար հիմնականում կիրառվում է R-արժեքի հակադարձ հասկացությունը՝ ջերմափոխանցման *U*-արժեքը: Այն բնութագրում է կոնստրուկցիայի ջերմափոխանցման հատկությունը: Այդ իսկ պատճառով, որքան մեծ է *U*-գործակիցը, այնքան կոնստրուկցիան ոչ էներգաարդյունավետ է:

R-value is used for the thermal resistance of non-transparent parts of the building envelope. Its opposite characteristic, U-value of heat transfer, is applied for light-penetrating structures. U-value evaluates thermal transfer of a structure; the higher the U-value, the lower the energy performance of a structure.

$$U = \frac{1}{R_0}, (4)$$

with  $R_0$  is the same as in (3). Generally, U-value is used to describe windows. However, it is possible to use both R- and U-values depending on the kind of information needed.

### Thermal/cold bridges

**Thermal bridges** (also called **cold bridges**) are a key concept you need to understand when dealing with the thermal protection of a building. The building envelope has some parts that penetrate the insulation layer, causing that spot not to be insulated (i.e. insulation is no longer continuous). These are usually anchors and dowels, as well as highly conductive corbel elements (columns, beams, brackets, concrete balcony consoles, etc.) that break the continuity of insulation layers. These are called thermal bridges, as they play the role of a bridge that allows heat transfer between the room and the outer environment.

Figure 14 will help you to better understand thermal bridges. The more thermal bridges there are in a building, the thicker a thermal insulation layer should be applied. This works in a way to reach the required minimal thermal resistance R-value for a whole building. In fact, this is an adverse phenomenon, resembling the anecdotic measuring of “average in-patient fever level” in a hospital. Measures other than thicker insulation layers must be envisaged to replace and fulfil heat loss through thermal bridges.

As we can see from Figure 14, the thermogram of a building shows increasing heat loss (red surfaces) in the bearing structures of the building. This is due to using reinforced concrete for bearing structures - a material with extremely high heat transfer properties. In the demonstrated model, bearing structures are not covered with an insulation layer; therefore, the heat flux expands.

Floor slabs can be thermal bridges when used in internal thermal insulation

$$U = \frac{1}{R_0}, (4)$$

որտեղ  $R_0$ -ն նույնն է, ինչ (3) բանաձևում:

### Ջերմային/ցրտի կամրջակներ

**Ցրտի կամրջակները** (կամ **ջերմային կամուրջները**) առանցքային հասկացություններից է, երբ խոսքը շենքի ջերմային պաշտպանության մասին է: Շենքի պատող կոնստրուկցիաները պարունակում են տարրեր, որոնք անցնում են ջերմամեկուսիչ շերտի միջով և այդ տեղամասում պատող կոնստրուկցիայի ջերմամեկուսիչ շերտի անընդհատությունը խախտվում է: Սովորաբար, դրանք խարիսխներն են կամ խցաբութակները, ինչպես նաև երկաթբետոնե բարձր ջերմահաղորդականությամբ բարձակային տարրերը (սյուներ, հեծաններ, պահուսակներ, պատշգամբներ, և այլն), որոնք խախտում են ջերմամեկուսիչ շերտի անընդհատությունը: Ցրտի կամրջակ կամ ջերմային կամրջակ ասելով հասկանում ենք, որ այդպիսի տարրերի միջով ջերմությունը անխափան փոխանցվում է ներսից դեպի դուրս:

Նկ. 14-ը կնպաստի ցրտի կամրջակի գաղափարի ընկալմանը: Ինչքան պատող կոնստրուկցիայում շատ են ցրտի կամրջակները, այնքան հաստ շերտով պետք է իրականացնել ջերմամեկուսիչ շերտը: Դա կատարվում է, որպեսզի շենքի ջերմային դիմադրության նվազագույն պահանջվող մեծությունը՝ R-արժեքը, մնա անփոփոխ ամբողջ շենքի համար: Իրականում, դա բացասական երևույթ է, որն ասոցացվում է գավեշտական «հիվանդանոցում հիվանդների միջին ջերմաստիճանի» չափման հետ: Հարկավոր է նախատեսել միջոցառումներ, որոնք կլուծեն ցրտի կամրջակների հարցը ջերմամեկուսիչ շերտի հաստությունը բարձրացնելու փոխարեն:

Ինչպես կարող ենք տեսնել նկ. 14-ում, շենքի թերմոգրամը ցույց է տալիս ջերմության կորուստներ (կարմիր հատվածքներ) շենքի կրող հեծանների հատվածքներում: Դա այն պատճառով է, որ հեծանները երկաթբետոնից են, որն ունի չափազանց բարձր ջերմահաղորդականություն: Ներկայացված մոդելում հեծանները պատված չեն ջերմամեկուսիչ շերտով, այդ իսկ պատճառով նկատվում է ջերմային հոսքի բարձրացում:

Ջերմամեկուսացումը շենքի ներսից իրականացնելու դեպքում երկաթբետոնե ծածկի սալերը կամ պատշգամբների ծածկերը նույնպես դառնում են ցրտի կամրջակներ: Խնդիրը հնարավոր է լուծել՝ տեղադրելով ջերմամեկուսիչի

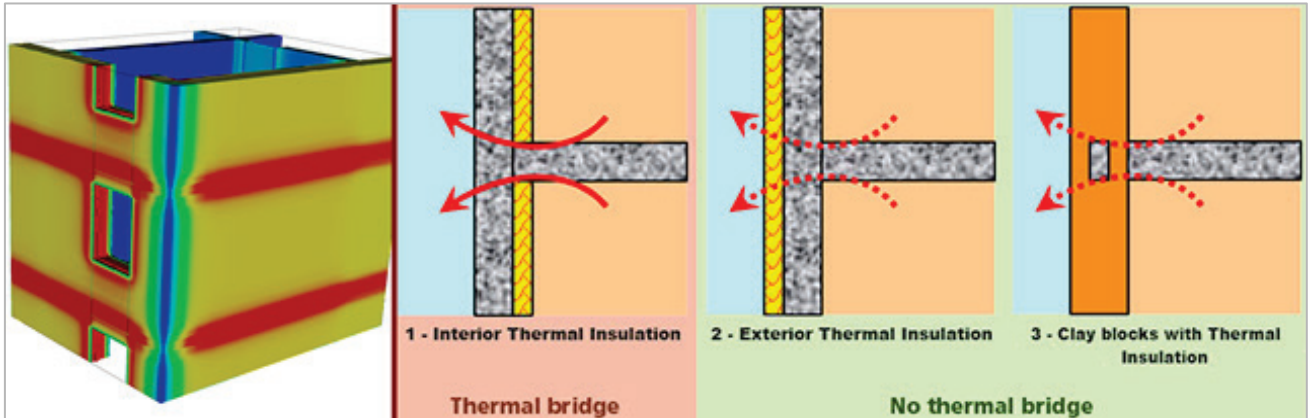
(reinforced concrete slabs or balcony slabs). The problem can be solved by placing an insulation layer in the joint of the floor slab and bearing structures. However, Armenian seismic codes do not allow discontinuity of bearing construction to prevent thermal bridges. An effective solution is insulating the building envelope from the outside, using insulation through concrete slab consoles (balconies).

Increasing energy efficiency in existing buildings is a major issue for Armenia. Therefore, it is important to insulate all possible thermal bridges. In many cases, thermal insulation from outside is impossible (as it can break the architectural aesthetics of a building's facade). If this is the case, a possible solution is thermal insulation from inside; however, insulating floors and ceilings is a complex and expensive option.

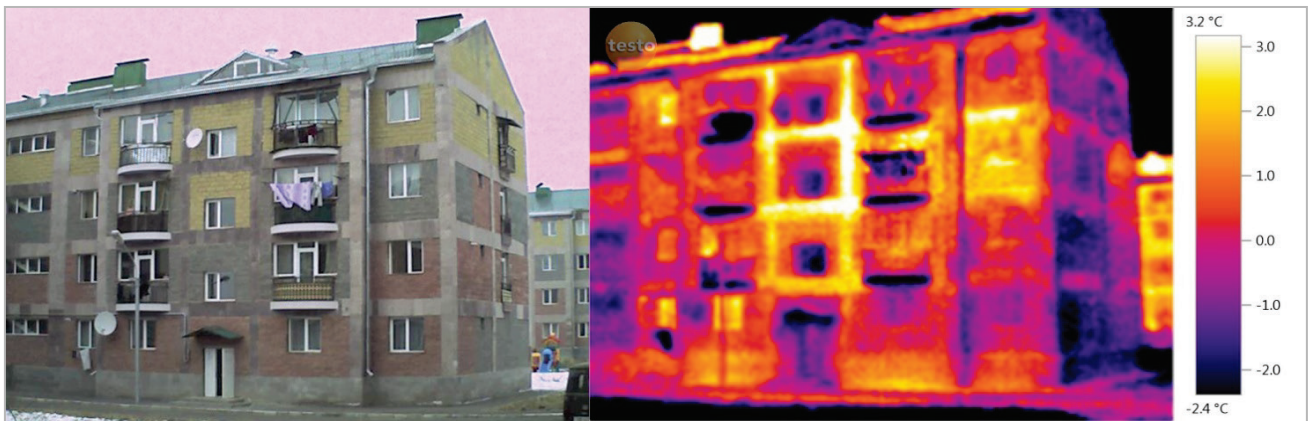
շերտ ծածկի սալի և հեծանի միացման տեղամասում, սակայն երկաթբետոնե կարկասի միաձուլության խախտումն արգելված է ՀՀ սեյսմիկ նորմերով: Այդ իսկ պատճառով, ՀՀ համար նոր նախագծվող շենքերում խորհուրդ է տրվում նախատեսել ջերմամեկուսիչ շերտ՝ արտաքինից մեկուսացնելով նաև բարձակները (պատշգամբները):

Շահագործվող շենքերի էներգաարդյունավետության բարձրացումը ՀՀ համար առանցքային խնդիրներից մեկն է: Շատ դեպքերում ճարտարապետական և այլ տեսանկյուններից դրսից ջերմամեկուսացման նախատեսումն անհնար է (խախտվում է շենքի ճակատի գեղագիտական ճարտարապետական միասնությունը): Այդ դեպքում շենքը ջերմամեկուսացնում են ներսից, և հարկավոր է ուշադրություն դարձնել հնարավոր ցրտի կամրջակների մեկուսացմանը: Հնարավոր տարբերակներից մեկը հատակի և առաստաղի ջերմամեկուսացումն է, որը, սակայն, աշխատատար, բարդ և թանկարժեք գործընթաց է:

Figure 14. Thermal bridges on a thermogram of a building and the insulation types preventing them



«Ցրտի կամրջակով». 1. ջերմամեկուսացում ներսից «Առանց ցրտի կամրջակի». 2. ջերմամեկուսացում դրսից, 3. կավե աղյուսներ ջերմամեկուսացումով

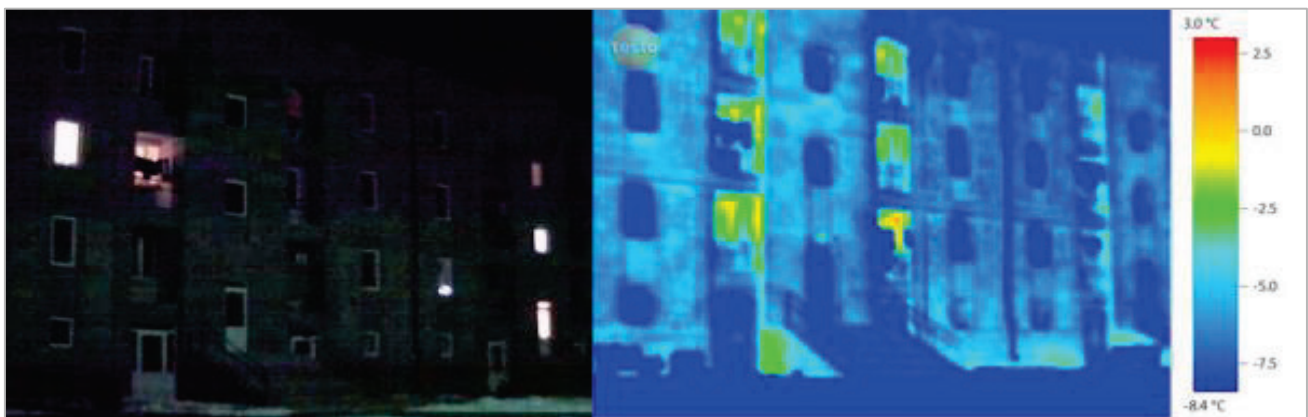


“Thermal bridge” case in an operating building: no insulation for bridge prevention (reference building for a pilot of the UNDP-GEF “Improving Energy Efficiency in Buildings” project)

Gyumri, “Mush 2” district, bld.#2, picture taken in February 2012

«Ցրտի կամրջակ» շահագործվող շենքում. կամրջակների վերացման համար ջերմամեկուսացման բացակայություն (իննակետային շենք «Շենքերի էներգաարդյունավետության բարձրացում» ՄԱՀԾ-ԳԷՖ ծրագրի շրջանակներում իրականացված ցուցադրական նախագծի)

ք. Գյումրի, «Մուշ 2» թաղամաս, շենք 2, փետրվար 2012թ.



“No thermal bridge” case in an operating building: bridges prevented by insulation (pilot building of the UNDP-GEF “Improving Energy Efficiency in Buildings” project)

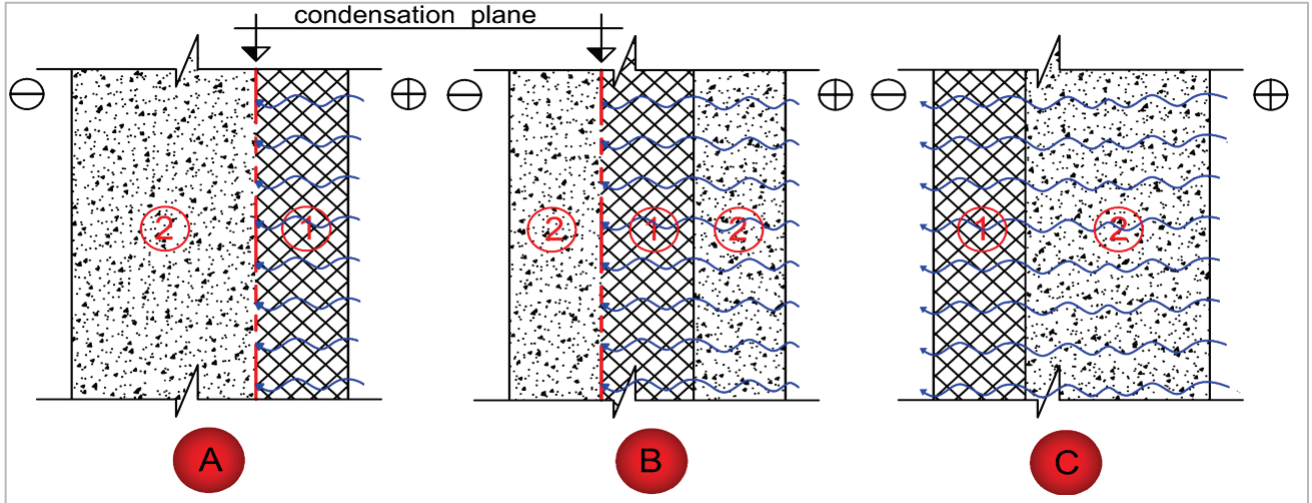
Goris, 151a Mashtots Street, picture taken in January 2013

«Ցրտի կամրջակների բացակայություն» շահագործվող շենքում. կամրջակները վերացված են ջերմամեկուսացման արդյունքում (ցուցադրական շենք, «Շենքերի էներգաարդյունավետության բարձրացում» ՄԱՀԾ-ԳԷՖ ծրագիր)

ք. Գորիս, Մաշտոցի 151ա, հունվար 2013թ.

Նկար 14. Ցրտի կամրջակների թերմոգրամը և դրանցից խուսափելու ճանապարհները

Figure 15. Possible methods for building envelope thermal insulation: (1) insulation layer, (2) main layer; *case A* - before the main layer, water moisture is trapped between low-dense insulation and high-dense main layers of a construction; during winter, when environment temperature gets lower than that of dew point (in certain conditions:  $+10.8^{\circ}\text{C}$ ), moisture starts to condensate on the surface of the main layer destroying the building envelope from inside; *case B* - inside the main layer, the case is similar to A; still, there is a condensation plane between thermal insulation and main layers; *case C* - outside the main layer; the best possible solution of thermal insulation; no condensation plane inside the construction; building envelope “breathes”.



Նկար 15. Պատող կոնստրուկցիաների ջերմամեկուսացման հնարավոր տարբերակները: (1) ջերմամեկուսիչ շերտ, (2) հիմնական շերտ, *դեպք A*՝ կողմ շերտից ներս, խոնավությունը փակվում է կառույցի ցածր խտությամբ ջերմամեկուսիչ և բարձր խտությամբ հիմնական շերտերի միջև, ձմեռվա ընթացքում, երբ դրսի օդի ջերմաստիճանը ցածր է ցողի կետից (որոշ պայմաններում՝  $+10.8^{\circ}\text{C}$ ), խոնավությունը կոնդենսացվում է հիմնական շերտի մակերևույթին, այսպիսով քայքայելով շենքի պատող կոնստրուկցիան ներսից, *դեպք B*՝ կողմ շերտի մեջ, նման է դեպք A-ին, սույնպես ունի խոնավության կոնդենսացիա ջերմամեկուսիչ և հիմնական շերտերի միջև, *դեպք C*՝ կողմ շերտից դուրս, ջերմամեկուսացման լավագույն հնարավոր լուծումն է, չունի խոնավության կոնդենսացիա կառույցի ներսում, շենքի պատող կոնստրուկցիան «շնչում է»:

## BUILDING-ENVELOPE SYSTEMS AND THEIR INSULATION

### Installation of Insulation Materials

Appropriate insulation should be applied to all parts of the building envelope (increasing the insulation value of windows and doors will be discussed later). To perform the thermal insulation of walls, roofs, and slabs using the materials discussed above, an advisory handbook of technical solutions was recently developed for architects and builders.<sup>9</sup>

For masonry and concrete walls, roofs, and slabs there are three possible locations for the application of thermal insulation material.

## ՇԵՆՔԻ ՊԱՏՈՂ ԿՈՆՍՏՐՈՒԿՑԻԱՆԵՐԸ ԵՎ ԴՐԱՆՑ ՉԵՐՄԱՅԻՆ ՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅՈՒՆԸ

### ՉԵՐՄԱՄԵԿՈՍԱԿՆԻՆՆԵՐԻ ՍԵՂԱԴՊՐՈՒՄԸ

Շենքի բոլոր պատող կոնստրուկցիաները պետք է ջերմամեկուսացված լինեն համապատասխան ջերմամեկուսիչ նյութերով: Պատերի, տանիքների և միջհարկային ծածկի սալերի ջերմամեկուսացումը վերոնշյալ նյութերից իրականացնելու համար առկա է ճարտարապետների և նախագծողների համար նախատեսված սխեմատիկ լուծումների խորհրդատվական ձեռնարկ<sup>9</sup>:

Շարվածքների և երկաթբետոնե պատերը, տանիքները, ծածկերը և հատակները ջերմամեկուսացվում են երեք հնարավոր տարբերակով:

<sup>9</sup> UNDP-GEF “Improving Energy Efficiency in Buildings” project, *Advisory handbook on technical solutions for thermal insulation of envelopes of residential, public and industrial buildings in construction and reconstruction in the Republic of Armenia*, Yerevan, 2014 ([www.nature-ic.am](http://www.nature-ic.am)).

«Հայաստանի Հանրապետությունում նոր կառուցվող և վերակառուցվող բնակելի, հասարակական և արտադրական շենքերի պատող կոնստրուկցիաների ջերմամեկուսացման տեխնիկական լուծումների խորհրդատվական ձեռնարկ», մշակված է «Շենքերի էներգետիկ արդյունավետության բարձրացում» ՄԱԶԾ-ԳԷՖ/00059937 ծրագրի շրջանակներում ([www.nature-ic.am](http://www.nature-ic.am)):

Figure 15 shows these three options as cases A, B, and C.

- **Case A:** Insulating material is installed on the interior side of the building. This is often employed, especially when renovating buildings, which cannot touch the building exterior. The main disadvantage of this option is that the moisture generated from the temperature difference between the outside of the building and the inside of a room condensates on the surface between the insulating material and the interior of the wall. This can lead to the formation of mold, which can be harmful to human respiratory health.
- **Case B:** Insulating material is placed into the bearing layer of a structure. This is possible if masonry is two-layered; an insulating layer may be placed in between or in a “sandwich”-type three-layer solid wall. The main advantage of this solution is that it gives a hard surface in the interior on which to hang pictures or install cabinets and closets. There can be practised, but it is typically not advisable as, like in case A, it has the potential for condensation (albeit to a lesser degree). The main disadvantage is that it results in a greater loss of interior space.
- **Case C:** Installing insulating material on the exterior of the envelope (walls, roofs, and slabs). The insulation material is protected from external climatic conditions by cladding/finishing or, if high density, is covered by decorative plastering with fiber reinforcement. Various materials can be used as cladding, including stones, metals or plastic. In this case, condensation does not form inside the wall. It also allows for hard surfaces inside for the installation of pictures and cabinets. In addition, it saves a considerable amount of valuable interior space. For example, in a regular 36 square meter space, placing thermal insulation outside can provide up to 2.4 square meters of additional living area.<sup>10</sup>

Նկ. 15-ը ներկայացնում է հնարավոր A, B, C տարբերակները:

- **Տարբերակ A.** Ջերմամեկուսիչ նյութը տեղադրված է արտաքին պատող կոնստրուկցիայի ներսից: Այս տարբերակը հաճախ կիրառվում է արդեն շահագործվող շենքերի վերանորոգման դեպքում, քանի որ ճարտարապետական և այլ խնդիրների պատճառով հնարավոր չի լինում ջերմամեկուսացում կատարել արտաքինից: Հիմնական բացասական ազդեցությունը այս տարբերակով ջերմամեկուսացման վրա ունի գույրը, որը կուտակվում է կոնստրուկցիայի մեջ, կոնդենսացվում, ապա սառչում և քայքայում է կոնստրուկցիան ներսից: Կոնստրուկցիայի մեջ առկա խոնավությունը կարող է պատճառ հանդիսանալ բորբոսի առաջացմանը, որը վնասում է մարդու շնչառական օրգանների առողջությունը:
- **Տարբերակ B.** Ջերմամեկուսիչ նյութը տեղադրված է կոնստրուկցիայի կրող շերտի մեջ: Դա հնարավոր է այն դեպքում, երբ, օրինակ, առկա է երկշերտ շարվածքով պատ, որի շերտերի միջև տեղադրված է ջերմամեկուսիչը, կամ երկաթբետոնե «սենդվիչ» եռաշերտ հոծ պատեր: Դրական կողմն այն է, որ շենքի ներսում առկա է պինդ մակերևույթ, որի վրա հնարավոր է ամրացնել նկարներ և կահույք: Ընդունված լինելով պրակտիկայում՝ այս տարբերակը խորհուրդ չի տրվում իրականացնել, քանի որ չնայած տարբերակ A-ի համեմատ կոնդենսատի քանակությունը ավելի քիչ է, սակայն և տարածքի կորուստը ավելի մեծ:
- **Տարբերակ C.** Ջերմամեկուսիչ նյութը տեղադրված է պատող կոնստրուկցիայի (պատեր, տանիք և ծածկեր) արտաքինից: Այս դեպքում ջերմամեկուսիչ նյութը պաշտպանված է արտաքին կլիմայական պայմաններից երեսպատման շերտով կամ, եթե այն իրականացված է բավական խտությամբ և ամրությամբ նյութից, պատվում է դեկորատիվ, մանրաթելային ամրանավորումով սվաղաշերտով: Որպես երեսպատման նյութ՝ կարելի է օգտագործել ցանկացած նյութ՝ սկսած տարբեր քարատեսակներից սղոցված սալիկներից, վերջացրած մետաղական կամ պլաստմասե սալիկներից: Այս

<sup>10</sup> This estimate is based on the assumption of a 6-meter-by-6-meter room and 10 centimeters of insulation material. The exact thickness of the insulating material can vary depending on the local climatic conditions and the properties of the insulating material used. For more information, see your local design codes for thermal insulation.

Այս հաշվարկը հիմնված է 6մx6մ չափերով սենյակի և 10սմ մեկուսիչ նյութի երեսպատման վրա: Մեկուսիչ նյութի կոնկրետ հաստությունը կարող է փոփոխվել, կախված տեղական կլիմայական պայմաններից և օգտագործված մեկուսիչ նյութի հատկություններից: Ավելի մանրամասն տեղեկությունը ներկայացված է երկրի՝ մեկուսացման վերաբերյալ նախագծման նորմերով:



## Exterior Wall Systems

External walls typically have the largest surface area of the building envelope. Therefore, while their thermal resistance values may be lower than those of roofs, they are a larger area through which heat can be gained or lost. There are several types of external walls:

- Masonry or concrete solid walls;
- Ventilated facades;
- Double-skin systems;
- Double-glazing systems.

### Masonry or Concrete Solid Walls

Masonry or concrete solid wall systems can be either load bearing or non-bearing (on which you can also hang items). If load bearing they must have enough strength to bear not only the combination of loads from building constructive parts like slabs and beams, weather conditions like snow, and furniture, but also the loads of the insulating layer and the ones that follow. Non-bearing masonry and solid walls should bear the loads of the insulating and finishing layers, as well as enclosing and enveloping buildings.

The greater the load masonry or a solid wall can bear, the thicker it must be and the denser its applied materials.<sup>11</sup> Non-bearing walls' thickness must only satisfy the required thermal insulation characteristics. It is even possible to have a building envelope non-bearing wall, consisting only of a thermal insulation layer with inner and outer finishing. However, this kind of wall would, most probably, not meet the structure's requirements on overheating.

### Ventilated-facade Systems

Ventilated-facade techniques are developing and their popularity is growing. These are advisable solutions for humid climates due to the ventilated air gap between the insulation surface and the finish cladding (Figure 16). Ventilated-facade techniques also protect buildings from overheating in summer.

տարբերակով ջերմամեկուսացման դեպքում պատի ներսում կոնդենսատի հարց չի առաջանում: Այդպիսով ստացվում են նաև պինդ մակերևույթներ շենքերի ներսում, նկարներ և կահույք ամրացնելու համար: Ջերմամեկուսիչ շերտի արտաքինից իրականացման հաշվին շենքում խնայվում է բնակելի մակերեսը: Օրինակ՝ 36մ<sup>2</sup> մակերեսով բնակարանի դեպքում ջերմամեկուսիչ շերտի արտաքինից տեղադրումը կարող է խնայել մինչև 2.4մ<sup>2</sup> բնակելի մակերես<sup>10</sup>:

## Արտաքին պատերի համակարգեր

Սովորաբար, արտաքին պատերը հանդիսանում են պատող կոնստրուկցիաների առավել մեծ մակերեսով բաղադրիչներ: Այն դեպքում, երբ արտաքին պատերի նկատմամբ պահանջվող ջերմային դիմադրության արժեքները ավելի ցածր են, քան տանիքներինը, շտրոհիվ մեծ մակերեսի՝ արտաքին պատերի միջով կարող է անցնել ավելի մեծ քանակությամբ ջերմություն: Առկա են արտաքին պատերի մի քանի տեսակներ.

- շարվածքներ կամ երկաթբետոնե հոծ պատեր,
- օդափոխվող ճակատային համակարգեր,
- երկշերտ ճակատային համակարգեր,
- երկշերտ-ապակյա ճակատային համակարգեր:

### Շարվածքներ կամ երկաթբետոնե պատեր

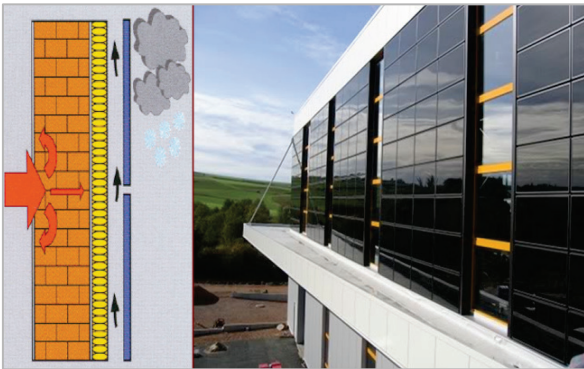
Արտաքին պատող պատ-շարվածքները կամ երկաթբետոնե հոծ պատերը կարող են լինել կամ կրող, կամ չկրող (կարող են լինել նաև կախովի): Այն դեպքում, երբ դրանք կրող են, պետք է ունակ լինեն դիմանալու ոչ միայն շենքից եկած հավաքական բեռնվածքներին (կոնստրուկտիվ մասերից, ինչպիսիք են ծածկերը և սյուները, եղանակային պայմաններից, օրինակ՝ ձյուն, ինչպես նաև կահույքից), այլև ջերմամեկուսիչ շերտի և դրան հետևող երեսպատման շերտի բեռնվածքներին: Չկրող շարվածքների և հոծ պատերի դեպքում դրանք պետք է կրեն ջերմամեկուսիչ և երեսպատման շերտերի, ինչպես նաև շենքերի պատող կոնստրուկցիաների բեռնվածքները:

<sup>11</sup> In some seismically safe regions (in Russia especially) a multi-storey masonry-bearing wall is made 640 mm or thicker, with additional thermal insulation and finishing layers, reaching 200 mm in some cases.

Որոշ սեյսմաանվտանգ գոտիներում, օրինակ՝ Ռուսաստանում, բազմահարկ պատային կրող համակարգով շենքի աղյուսե շարվածքի հաստությունը կարող է հասնել մինչև 640 մմ, դրան գումարած ջերմամեկուսիչի և երեսպատման շերտի հաստությունը, որը կարող է հասնել մինչև 200 մմ:

Please note that ventilated-facade systems can also be constructed both as bearing and as non-bearing. For the former, the risers reinforcing the insulation and finishing layers are fixed to the bearing structures or solid walls; for the latter, to bearing columns and beams of the reinforced concrete carcass. In both cases, joints must be envisaged for the finishing layer. The thermal insulation layer should be placed between the main layer of a wall and the finishing layer, separated from it by a ventilated air gap.<sup>12</sup> A finishing layer is hung on metal risers, which are fixed with anchors or brackets to the bearing structure of the building (or to the columns and beams if no bearing structure is envisaged). As anchors or brackets are thermal bridges, optimization of both their section/profile sizes and installation density/compactness is necessary.

Figure 16. Ventiladed facades



Նկար 16. Օդափոխվող ճակատ

### Double-skin and double-glazed facade system

Another variety of a ventilated-facade system is double-skin and double-glazed facade systems. Here, the external wall represents two skins (usually glass) with a ventilated air gap (Figures 17 and 18). The ventilation of the gap can be natural or mechanical. Such a building envelope does not have a thermal insulation layer; primarily the air convection in the gap protects the building from cooling and overheating. That said, this system requires the use of expensive HVAC systems.

Որքան շատ են շարվածքների կամ հոծ պատերի վրա ազդող բեռնվածքները, այնքան նրանց հաստությունը և կիրառված նյութերի խտությունը մեծանում է<sup>11</sup>: Չկրող պատերը կարող են ունենալ միայն այնքան հաստություն, որպեսզի բավարարվեն ջերմային նորմերի պահանջները: Հնարավոր է նույնիսկ ունենալ արտաքին չկրող պատ, որը բաղկացած կլինի միայն մեկ՝ ջերմամեկուսիչ շերտից, ներսի և դրսի հարդարմամբ: Սակայն այս դեպքում հարկավոր է նկատի ունենալ, որ այդպիսի պատը, ամենայն հավանականությամբ, չի բավարարի շենքը գերտաքացումից պաշտպանելու պահանջներին:

### Օդափոխվող ճակատային համակարգեր

Օդափոխվող ճակատային համակարգերի կիրառումը օրեցօր զարգանում և աճում է: Մեկուսիչի և երեսպատող շերտերի միջև օդափոխվող օդային միջնաշերտը նմանատիպ արտաքին պատերը նպատակահարմար է դարձնում իրականացնել խոնավ կլիմայի պայմաններում (նկ.16): Օդափոխվող ճակատային համակարգերը նպաստում են նաև ավելցուկային ջերմության հեռացմանը:

Հարկ է նշել, որ օդափոխվող ճակատային համակարգերը կարող են կառուցվել ինչպես կրող, այնպես էլ չկրող: Առաջին դեպքում ջերմամեկուսիչը և երեսպատման շերտը ամրացնող ուղղորդները ամրացվում են կրող շարվածքներին կամ հոծ պատերին, երկրորդ դեպքում՝ երկաթբետոնե կարկասի կրող սյուների և հեծաններին: Երկու դեպքում էլ երեսպատման շերտում անհրաժեշտ է նախատեսել դեֆորմացիոն կարաններ: Ջերմամեկուսիչ շերտը տեղադրվում է պատի կրող՝ հիմնական շերտի և երեսպատման շերտի միջև և վերջինից առանձնացված է օդային միջնաշերտով<sup>12</sup>: Երեսպատման շերտն ամրացվում է մետաղական ուղղորդներին, որոնք, իրենց հերթին, խարիսխներով կամ պահունակներով ամրացվում են կրող շերտին (կամ սյուներին և հեծաններին, եթե կրող շերտ նախատեսված չէ): Խարիսխները կամ պահունակները հանդիսանում են ցրտի կամրջակ, ուստի անհրաժեշտ է օպտիմիզացնել ինչպես դրանց հատվածքի չափերը, այնպես էլ տեղադրման խտությունը:

<sup>12</sup> In cases of the absence of masonry or a bearing wall, metal risers can play the role of a structure on which thermal insulation and internal finishing layers are placed, either within the risers or outside them. However, this complicates wall utilization (pictures, closets, cabinets).

Այն դեպքում, երբ առկա չէ կրող շերտ, պատող կոնստրուկցիայի ներսի երեսպատումը և մեկուսիչ շերտը կարող է ամրանալ մետաղական ուղղորդներին (դրանց միջև կամ դրսից), բայց այս դեպքում դժվար կլինի պատի շահագործումը (նկարների, կահույքի ամրացում):

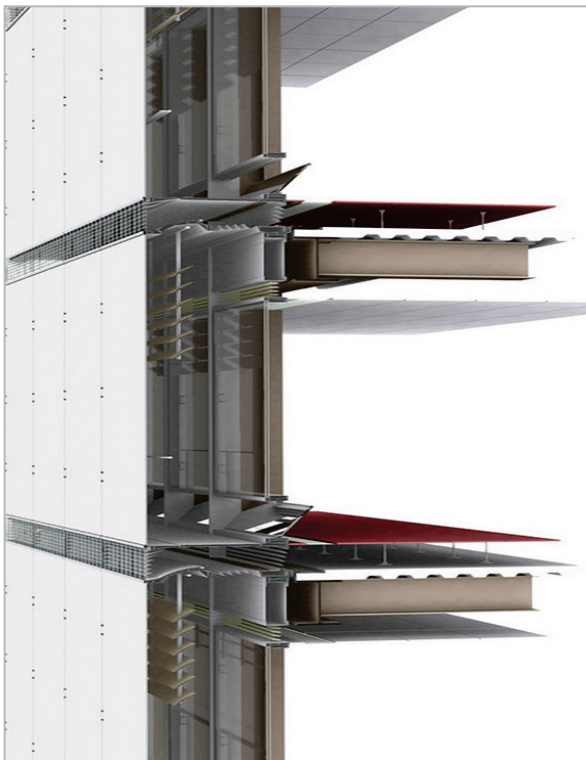
The skins used in double-skin facades mostly have cladding and shading. In modern passive buildings, the shading elements may work automatically, adjusting to the outer climatic conditions. In intensive sunlight they automatically close, protecting rooms from overheating. An effective solution is covering the cladding with a material that has high reflectivity. Figure 17 shows a double-skin facade with non-transparent skins.

There are a number of advantages, e.g. light weight, making them very effective when building in seismic zones. As seismic force is an inertial force, the greater the overall mass of a building, the stronger the impact of seismic forces on the building.



Ժամանակակից պասիվ շենքերում ստվերող տարրերի կանոնակարգումը կատարվում է ավտոմատ՝ էլեկտրոնիկ դրսի կլիմայական պայմաններից: Արևային ինտենսիվ ճառագայթման դեպքում դրանք ավտոմատ փակվում են՝ սենյակները պաշտպանելով գերտաքացումից: Արդյունավետ լուծում կլինի շերտերի երեսպատման կյութերի պատումը բարձր անդրադարձելիությամբ կյութով: Նկ. 17-ում ներկայացված է երկշերտ ճակատային համակարգի օրինակ՝ ոչ թափանցիկ պատումով: Դրանք ունեն մի շարք առավելություններ, ինչպիսին է, օրինակ՝ թեթև քաշը, որը կարևորվում է սեյսմիկայի տեսանկյունից, քանի որ սեյսմիկ ուժը իներցիոն է, և որքան մեծ է կոնստրուկցիայի քաշը, այնքան ավելի մեծ սեյսմիկ բեռնվածքներ են ազդում դրա վրա:

Figure 17. Double-skin facades with non-transparent skins



Նկար 17. Երկշերտ ճակատային համակարգ ոչ թափանցիկ պատումով

### Երկշերտ և երկշերտ-ապակյա ճակատային համակարգեր

Օդափոխվող ճակատային համակարգերի մեկ այլ տարբերակ են երկշերտ և երկշերտ-ապակյա ճակատները: Այս դեպքում արտաքին պատն իրենից ներկայացնում է երկու շերտ (սովորաբար՝ ապակի), որոնց միջև առկա է օդափոխվող օդային միջնաշերտ (նկ. 17 և 18): Միջնաշերտի օդափոխումը կարող է ապահովվել բնական կամ արհեստական մղումով: Այսպիսի պատող կոնստրուկցիան չունի ջերմամեկուսիչ շերտ, և շենքի հարմարավետության պայմանները տարվա ընթացքում ապահովվում են միայն օդային միջնաշերտում առկա կոնվեկցիայի շտրիկով: Այսպիսի ճակատային համակարգերի կիրառումը պահանջում է ժամանակակից օդափոխման, ջեռուցման և օդորակման համակարգերի տեղադրում: Երկշերտ պատումով ճակատային համակարգերը նաև ունենում են երեսպատման և ստվերող տարրեր:

Figure 18. Double-skin facades (double-glazed)



Նկար 18. Երկշերտ-ապակյա ճակատային համակարգ

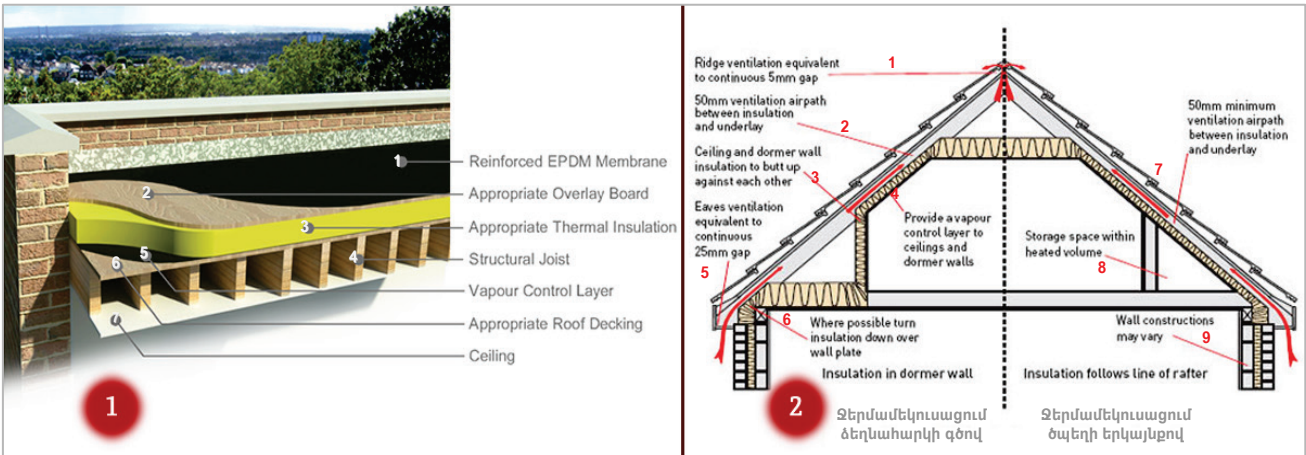
**Roofs**

The insulation requirements for roofs are higher than those for walls and floors. For instance, for Yerevan’s climate, in accordance with building codes, the required R-value (for residential buildings) for roofs is  $3.23(m^2 \cdot ^\circ C / W)$ , while for walls it is  $2.46(m^2 \cdot ^\circ C / W)$ .

**Տանիքներ**

Տանիքների նկատմամբ ջերմամեկուսացման պահանջներն ավելի խիստ են, քան պատերի կամ հատակների: Օրինակ՝ Երևանի կլիմայական պայմաններում շինարարական նորմերով վերնածածկերի համար պահանջվող նվազագույն ջերմային դիմադրության R-արժեքը (բնակելի շենքերի համար) կազմում է  $3.23 (m^2 \cdot ^\circ C / W)$ , այն դեպքում, երբ նույն արժեքը պատերի համար  $2.46 (m^2 \cdot ^\circ C / W)$  է:

Figure 19. Types of roofs and their thermal insulation. 1 - Flat roofs, 2 - Pitched roofs

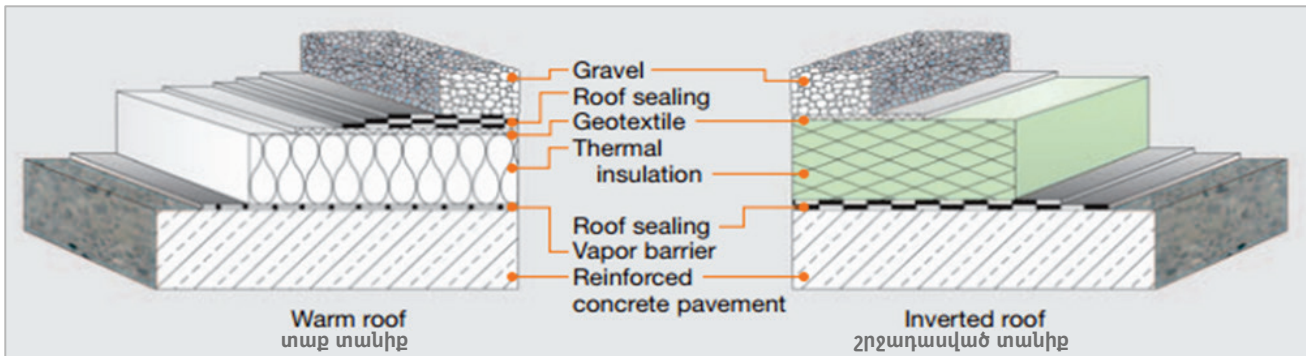


Նկար 19. Տանիքների տիպերը և դրանց ջերմամեկուսացումը. 1. հարթ տանիքներ (1՝ ամրանավորված EPDM [ethylene propylene diene terpolymer] թաղանթ, 2՝ ընտրված հարթաշերտ, 3՝ ընտրված ջերմամեկուսիչ, 4՝ կառուցվածքի հեծաններ, 5՝ գոլորշամեկուսիչ շերտ, 6՝ առաստաղի ընտրված ծածկ, 7՝ առաստաղ), 2. լանջավոր տանիքներ (1՝ կտուրի գագաթնագծի օդափոխում 5մմ լայնությամբ բացակի միջոցով, 2՝ մեկուսիչ և երեսապատող շերտերի միջև 50մմ օդափոխման օղակնք, 3՝ առաստաղն ու ձեղնահարկի պատի մեկուսիչ շերտը տեղադրում առանց ընդհատումների, 4՝ գոլորշամեկուսիչ շերտի ապահովում առաստաղի և ձեղնահարկի պատի համար, 5՝ քիվերի օդափոխում 25մմ լայնությամբ բացակի միջոցով, 6՝ մեկուսիչ շերտը խարսխվում է պատի ծայրի հնարավոր բոլոր դեպքերում, 7՝ մեկուսիչ և երեսապատող շերտերի միջև առնվազն 50մմ օդափոխման օղակնք, 8՝ խորդանոցի տարածք ջեռուցվող ծավալում, 9՝ պատի կառուցվածքի տարբերակներ)

There are two main types of roofs: **flat** and **pitched**. Each one has its own benefits, and for each one the thermal insulation concept varies (Figure 19).

Տանիքները բաժանվում են երկու խմբի՝ **հարթ** և **լանջավոր**: Յուրաքանչյուր տեսակն ունի իր առավելությունները, և երկուսի համար էլ ջերմամեկուսացման պահանջները տարբերվում են (նկ. 19):

Figure 20. The differences of a warm roof and an inverted roof



կոպիճ, տանիքի հերմետիկ շերտ, գետտեքստիլ, ջերմամեկուսիչ շերտ, գոլորշամեկուսիչ շերտ, երկաթբետոնե ծածկ

Նկար 20.Տաք և շրջադասված տանիքների տարբերությունը

In terms of thermal insulation positioning, there are two main types of flat roofs, a warm roof or an inverted roof (Figure 20). Both types can be employed in usable and non-usable flat roofs. An inverted flat roof consists of the following layers (from top to bottom):

1. Protective layer (gravel, stone slabs, concrete panels, pavement, etc.);
2. Geotextile (optional), e. g. polyester or polypropylene mat;
3. Thermal insulation layer;
4. Roof sealing acting as a vapor barrier;
5. Leveling course;
6. Reinforced concrete pavement.

A warm flat roof consists of the following layers (from top to bottom):

1. Protective layer (gravel, stone slabs, concrete panels, pavement, etc.);
2. Roof sealing acting as a water barrier;
3. Geotextile (optional), e. g. polyester or polypropylene mat;
4. Thermal insulation layer;
5. Roof sealing acting as a vapor barrier;
6. Leveling course;
7. Reinforced concrete pavement.

Flat roofs are more vulnerable to weather conditions than pitched roofs because, during winter, snow or rain collects on a flat roof for a longer period of time than on a pitched roof. That is why, for flat roofs, water drainage systems are required.

Another disadvantage of a flat roof is that, when implementing a thermal insulation layer of a low-density material, wooden or metallic risers have to be used to hold the insulating layer, which may act as thermal bridges.

As for pitched roofs, their insulation solution depends on whether the space immediately interior to them is heated or not. In case it is a heated space (such as a mansard), then the pitched roof is a part of the building envelope. Subsequently, its whole area must be insulated. For attics that do not need to be heated, thermal insulation must cover

Ջերմամեկուսիչի տեղադրման տեսանկյունից՝ առկա են հարթ տանիքների երկու հիմնական տիպ՝ **տաք** և **շրջադասված** (նկ.20): Երկու տիպն էլ կարող են կիրառվել և՛ շահագործվող, և՛ չշահագործվող տանիքների համար: Ծրջադասված տանիքը բաղկացած է հետևյալ շերտերից (դրսից ներս):

1. պաշտպանիչ շերտ (խիճ, կոպիճ, քարե սալիկներ, երկաթբետոնե պանելներ, սվաղաշերտ և այլն),
2. գեոտեքստիլ (ոչ պարտադիր), օրինակ՝ պոլիէթթերե կամ պոլիպրոպիլենե թաղանթներ,
3. ջերմամեկուսիչ շերտ,
4. հերմետիկ շերտ՝ որպես գոլորշամեկուսիչ,
5. հարթեցնող շերտ,
6. երկաթբետոնե ծածկ:

Տաք տանիքը բաղկացած է հետևյալ շերտերից (դրսից ներս):

1. պաշտպանիչ շերտ (խիճ, կոպիճ, քարե սալիկներ, երկաթբետոնե պանելներ, սվաղաշերտ և այլն),
2. հերմետիկ շերտ՝ որպես ջրամեկուսիչ,
3. գեոտեքստիլ (ոչ պարտադիր), օրինակ՝ պոլիէթթերե կամ պոլիպրոպիլենե թաղանթներ,
4. ջերմամեկուսիչ շերտ,
5. հերմետիկ շերտ՝ որպես գոլորշամեկուսիչ,
6. հարթեցնող շերտ,
7. երկաթբետոնե ծածկ:

Հարթ տանիքներն առավել զգայուն են եղանակային պայմանների նկատմամբ, քան լանջավոր տանիքները, քանի որ ձմեռային շրջանում ձյունը կամ անձրևը մնում են հարթ տանիքների վրա ավելի երկար ժամանակով, քան լանջավոր տանիքների: Այդ պատճառով հարկավոր է նախատեսել հարթ տանիքների արդյունավետ ջրահեռացման համակարգ:

Մեկ այլ բացասական հատկանիշ է այն, որ հարթ շահագործվող տանիքների դեպքում ցածր խտությամբ նյութով ջերմամեկուսիչ շերտ իրականացնելիս հարկավոր է նախատեսել փայտյա կամ մետաղյա ուղղորդներ, որոնց վրա պետք է տեղադրվի պաշտպանիչ շերտը: Այդ ուղղորդներն, անշուշտ, ցրտի կամրջակներ են:

Ինչ վերաբերում է լանջավոր տանիքներին, ապա դրանց ջերմամեկուսացումը կախված

their floors, so the rooms underneath are thermally protected. Loose-fill insulation from perlite or mineral wool can be used in non-utilized attics.



ձեղնահարկի հատակը (վերջին հարկի ծածկը)՝ ապահովելով շերմային պաշտպանություն վերջին հարկի սենյակների համար: Պեռլիտով կամ հանքային բամբակով լցվածքային շերմամեկուսացումը կարող է կիրառվել չշահագործվող ձեղնահարկում:

There are three types of inverted roofs:

1. Standard inverted roofs, consisting of only one layer of thermal insulation material;
2. Duo roofs, consisting of two layers of thermal insulation material. The second layer is placed on the top of the roof sealing. Depending on the climatic conditions, there may be no need for a vapor barrier;
3. Plus roofs, when an inverted roof is installed on top of a warm-roof construction, in order to protect the roof and improve its durability. This is widely used in the roof reconstruction of existing buildings.

Inverted roofs are easier and quicker to install than regular warm roofs because they consist of fewer layers. On an inverted roof, the sealing, a very important layer, is installed directly on top of a solid, massive surface (reinforced concrete cover panel) free of grooves (with the exception of the plus roof and the duo roof).

The water (of atmospheric precipitations) can simply diffuse through a thermal insulation layer or evaporate from a room through the butt joint into the ambient air. The vapor sealing of inverted-roof construction structure should contain a water-vapor transmission layer that is at least 10 mm thick to reduce water-vapor diffusion through the roof. Figure 21 illustrates possible mechanical damages which can occur during the exploitation process of a roof.

կլիսի նրանից, թե ձեղնահարկը պետք է շերմուցվի՞, թե՞ ոչ: Եթե ձեղնահարկը իրենից ներկայացնում է մասսարդային հարկ, ապա լանջավոր տանիքը պատող կոնստրուկցիա կհանդիսանա և, հետևաբար, պետք է շերմամեկուսացվի իր ամբողջ մակերևույթով: Իսկ եթե ձեղնահարկը բնակելի է, ապա շերմամեկուսացնել պետք է

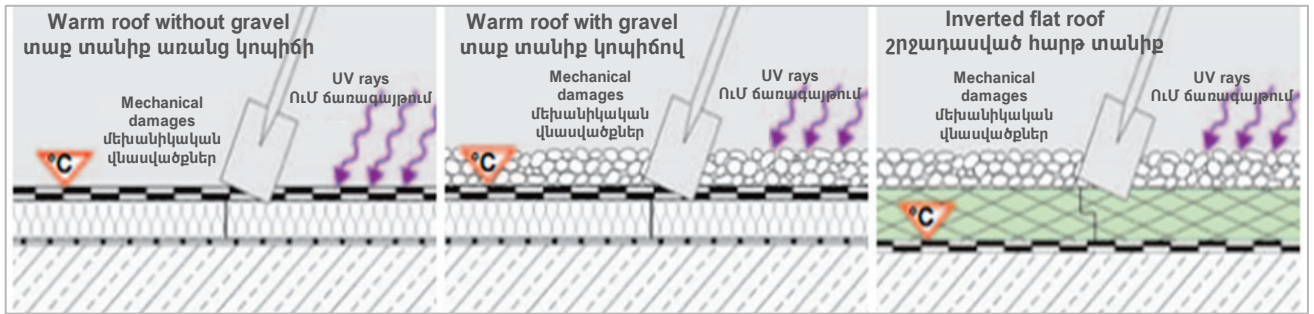
Տարբերում են երեք տիպի շրջադասված տանիքներ.

1. Ստանդարտ շրջադասված տանիքներ, որոնք բաղկացած են միայն մեկ շերտ շերմամեկուսիչ նյութից,
2. «Դուո» տանիքներ, որոնցում առկա է երկու շերտ շերմամեկուսիչ նյութ: Երկրորդ շերտը տեղադրվում է տանիքային ծածկույթի վրա: Կախված եղանակային պայմաններից՝ գոլորշամեկուսիչ կարող է այս դեպքում չնախատեսվել:
3. «Պլուս» տանիքներ, երբ շրջադասված տանիքը տեղադրված է տաք տանիքի վրա՝ պաշտպանելու համար տանիքը և ապահովելու դրա երկարակեցությունը: Այս տարբերակը լայնորեն օգտագործվում է շահագործվող շենքերի վերակառուցման դեպքում:

Շրջադասված տանիքները ավելի հեշտ են իրականացվում, քան սովորական տաք տանիքները, քանի որ դրանք բաղկացած են ավելի քիչ շերտերից: Այս դեպքում հերմետիկ՝ շատ կարևոր շերտը տեղադրվում է անմիջապես երկաթբետոնե հարթեցված՝ ծալք չունեցող ծածկի սալի վրա: Սա նախատեսվում է միայն ստանդարտ շրջադասված տանիքներում և չի նախատեսվում «դուո» և «պլուս» տարբերակներում:

Ջուրը (մթնուլորտային տեղումներից) կարող է պարզապես թափանցել շերմամեկուսիչ շերտի միջով, կամ՝ շենքի ներսից գոլորշիանալ մթնուլորտային օդի մեջ կցվածքային միացման միջոցով: Այդ պատճառով շրջադասված տանիքը պետք է ունենա նվազագույնը 10 մմ հաստությամբ ջրային գոլորշիների հեռացման շերտ, որը կնվազեցնի ջուր-գոլորշի դիֆուզիան տանիքի կոնստրուկցիայի միջով: Նկ. 21-ում պատկերված են տանիքների շահագործման ընթացքում առաջացող հնարավոր մեխանիկական վնասվածքները:

Figure 21. Possible mechanical damage for various flat roofs



Նկար 21. Տարբեր հարթ տանիքների ծածկույթների վրա առաջացող հնարավոր մեխանիկական վնասվածքները

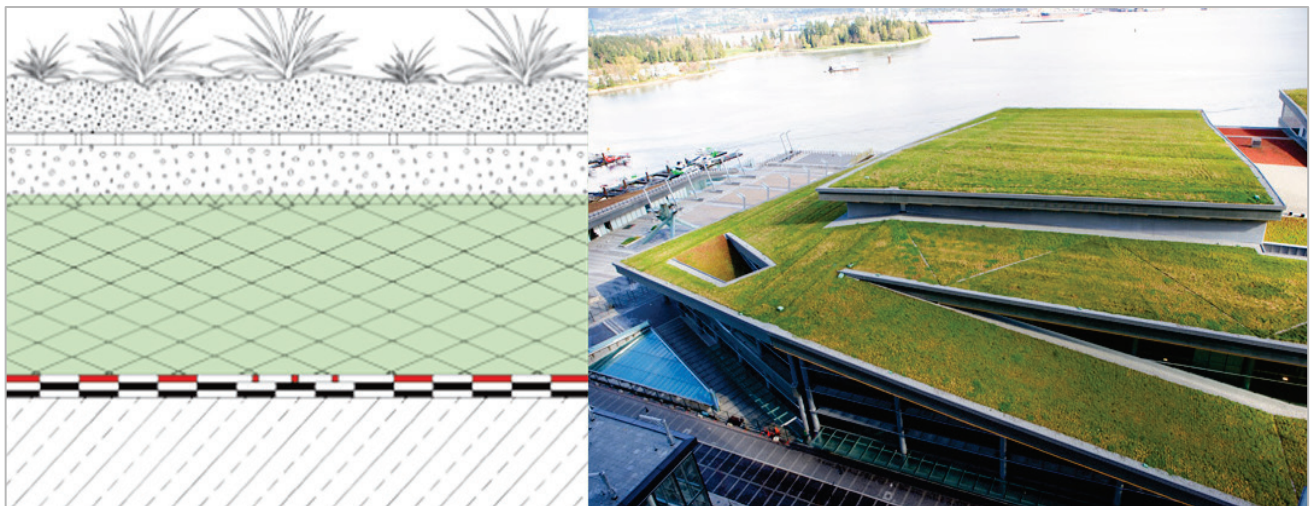
During the summer, temperatures on a warm roof sealing can rise up to 70°C; temperatures stay almost stable if an insulating layer protects the roof sealing, as is the case with an inverted roof. Thermal shocks caused by, e.g. hail stones, cannot damage the sealing of an inverted roof.

Most of the damage in roof sealing already occurs during construction on top of the roof, for example storage of materials, falling objects, etc. In the case of inverted flat roof constructions, the viscoelastic thermal insulation layer both protects the roof sealing from mechanical strain and acts as a protective layer as required by building standards. Another type of roof, typically flat, is the increasingly utilized **green roof** (Figure 22).

Ամառվա ընթացքում տաք տանիքի ծածկույթի ջերմաստիճանը կարող է հասնել մինչև 70°C, որը չի դիտվում շրջադասված տանիքի դեպքում, քանի որ տանիքի ծածկույթը պաշտպանված է ջերմամեկուսիչ շերտով: Ծրջադասված տանիքի ծածկույթը նաև չի վնասվում ջերմային կտրուկ փոփոխության դեպքում, որն առաջանում է, օրինակ, կարկտահարումից:

Տանիքային ծածկույթը զգալիորեն վնասվում է տանիքային շինարարության ընթացքում: Վնասը հասցվում է նյութերի պահպանումից, ընկնելուց և այլն: Ծրջադասված հարթ տանիքի դեպքում էլաստիկ ջերմամեկուսիչ շերտը պաշտպանում է տանիքային ծածկույթը մեխանիկական վնասվածքներից և հանդիսանում պատող շերտ: Հարթ տանիքների մեկ այլ տեսակ են **կանաչ** տանիքները, որոնց լայնածավալ կիրառումը զարգացել է վերջին տասնամյակներում (Նկ. 22):

Figure 22. Green roofs



Նկար 22. Կանաչ տանիքներ

An inverted green-roof design holds many advantages when compared to a warm roof. The insulation package protects both the sealing and the root-barrier course from damages caused by mechanical strain. The designer must take into account both the

Ծրջադասված կանաչ տանիքի կառուցվածքն անհամեմատ ավելի նպատակահարմար է, քան սովորական տաք տանիքինը: Ջերմամեկուսիչը մշտապես պաշտպանում է տանիքային ծածկույթը և հակաարմատային շերտը մեխանիկական վնասվածքներից:

roof's load-bearing capacity for the substrate in wet conditions and the possible weight gain of the plants. For more discussion on the different types of green roofs, see Module 4.

Flat roofs designed for use require a special protective layer that will cover the insulation material. Therefore, the thermal insulation material of a flat roof must be high density with a compression strength that will bear the load.

When the protective layer is held on special risers, the risers themselves are thermal bridges because they are not covered with thermal insulation material. If this is the case, risers must be made from either materials with very low thermal conductivity or must be covered with additional insulation. Similar to thermal insulation materials for exploited roofs, XPS, high-density mineral wool mats, spray PF, foam glass or expanded perlite slabs can be used. These materials are dense enough to bear the load from exploitation.

**Cool roofs** are highly energy efficient and can be either flat or pitched. In these types of constructions, the pavement of the roof is coated with a material with very high reflectivity (Figure 23). Commonly, the coating is white but there are many solutions and materials available in the local market that can be used as well.

Cool roofs have many benefits, such as reduced building heat gain, as a white or reflective roof typically increases only 5-14°C above ambient temperature during the day (compared to 50-90°C for black roofs). It also makes savings of up to 15% of the annual air-conditioning energy of a single-storey building.

Cool roofs also help to overcome heat-island effects in urban areas, mainly observed in large concrete settlements. Large urban areas covered with cool roofs have improved thermal comfort. See Module 4 for more discussion on cool roofs.



վում է խոշոր, ասֆալտապատ մեծ մակերեսներով բնակավայրերում: Յուրաքանչյուր բնակավայրերի շերտային հարմարավետությունը: Յուրաքանչյուր բնակավայրերն ավելի մանրամասն քննարկվում են Մոդուլ 4-ում:

Նախագծողը մշտապես պետք է նկատի ունենա տանիքի կրողունակությունը և հաշվի առնի տանիքային բույսերից և ծառերից եկող բեռնվածքը: Կանաչ տանիքների տարբեր տեսակներն ավելի մանրամասն քննարկվում են Մոդուլ 4-ում:

Շահագործմանը ենթակա հարթ տանիքները պահանջում են հատուկ պաշտպանիչ շերտ, որը կծածկի ջերմամեկուսիչ նյութը: Այդ իսկ պատճառով հարթ տանիքի ջերմամեկուսիչ նյութը պետք է լինի բավական խիտ և բարձր կրողունակությամբ:

Երբ պաշտպանող շերտն իրականացված է ջերմամեկուսացումից զուրկ ուղղորդների վրա, վերջիններս դառնում են ցրտի կամրջակներ, ուստի հարկավոր է դրանք նախատեսել կամ ցածր ջերմահաղորդականությամբ նյութերից, կամ էլ հարկավոր է լրացուցիչ ջերմամեկուսացնել ուղղորդները: Որպես ջերմամեկուսիչ՝ կարող են օգտագործվել էքստրուդացված փրփրապոլիստիրոլ և հանքային բամբակից բարձր խտությամբ ներքնակները, փրփրապոլիուրեթանը, փրփրապակին և պեռլիտ սալերը: Այդ նյութերի խտությունը բավարար է շահագործման բեռնվածքներին դիմանալու համար:

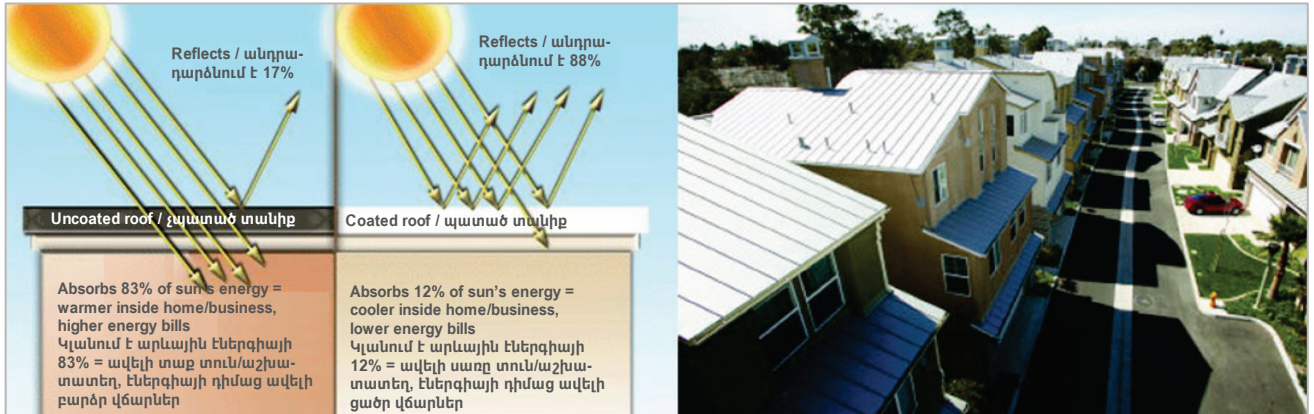
**Այսպես կոչված՝ «հով տանիքները»** նույնպես ունեն բարձր արդյունավետություն և կարող են լինել ինչպես հարթ, այնպես էլ լանջավոր: Կոնստրուկցիաների այս տիպերում թե՛ հարթ և թե՛ լանջավոր տանիքն ավարտելիս ծածկվում են բարձր անդրադարձելիությամբ նյութով (նկ. 23): Սովորաբար, ծածկույթը սպիտակ գույնի է, բայց կան տարբեր լուծումներ և նյութեր, որոնք առկա են տեղական շուկայում և կարող են օգտագործվել այդ նպատակի համար:

Յուրաքանչյուր տանիքներն ունեն մի շարք առավելություններ, օրինակ՝ շենքի ջերմակլանման փոքրացումը, քանի որ հով տանիքի մակերևութային ջերմաստիճանը, սովորաբար, գերազանցում է արտաքին օդին միայն 5-14°C-ով, համեմատած 50-90°C գերազանցումով սովորական տանիքների դեպքում:

Յուրաքանչյուր տանիքը տարեկան կարող է խնայել օդափոխման և օդորակման վրա ծախսված էներգիայի 15%-ը մեկ հարկանի շենքում: Յուրաքանչյուր տանիքները նույնպես օգնում են կանխել, այսպես կոչված՝ «ջերմային կղզու» էֆեկտը, որը դիտ-



Figure 23. Cool roofs



Նկար 23. Հով տանիքներ

**Openings: Windows, Doors, Skylights**

Openings are the parts of building that are least insulated. While non-transparent building envelope parts are covered with thermal insulation material, it is not possible to use the same methods and techniques for external windows and doors. In modern architecture, the percentage of openings in the building envelope sometimes reaches 100%, i.e. the entire envelope is made from glass. Usually having the form of a bullet, the perfect example of one of these buildings is the May Axe tower (the Gherkin) in London designed by Sir Norman Foster (Figure 24). For these buildings, thermal insulation methods and technologies are different than what has been discussed before (masonry-based constructions).

Figure 24. The May Axe tower in London



Նկար 24. Լոնդոնի Մեյ Էքս աշտարակը

**Բացվածքներ. դռներ, պատուհաններ, երդիկներ**

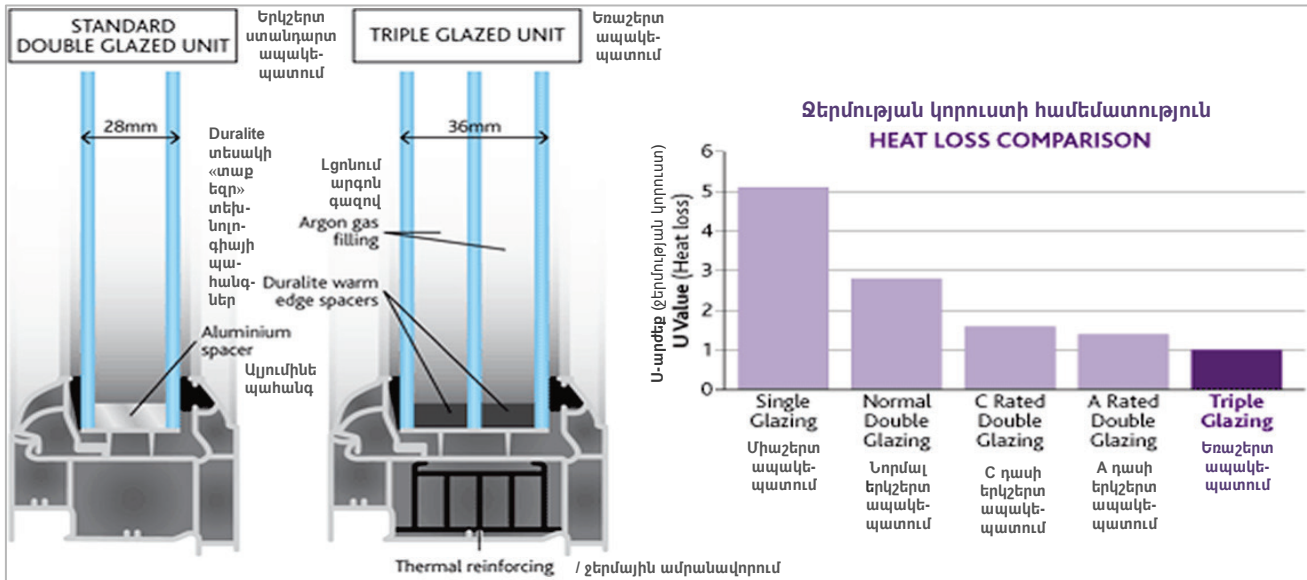
Բացվածքները շենքի առավել քիչ ջերմամեկուսացված տարրերն են: Այն դեպքում, երբ շենքի անլուսաթափանց պատող կոնստրուկցիաները պատված են ջերմամեկուսիչ արդյունավետ շերտով, հնարավոր չէ կիրառել նույն մոտեցումներն ու տեխնոլոգիաները, երբ խոսքը արտաքին դռների և պատուհանների մասին է: Ժամանակակից ճարտարապետության մեջ ապակեպատման մակերեսը որոշ դեպքերում հասնում է 100%, երբ ամբողջ շենքը ապակեպատված է: Ծարտարապետ Նորման Ֆոսթերի կողմից նախագծված և Լոնդոնում կառուցված փամփուշտաձև «Մեյ Էքս» աշտարակը դրա վառ օրինակներից մեկն է (նկ. 24): Նմանատիպ շենքերում ջերմամեկուսացման նկատմամբ մոտեցումները և տեխնոլոգիաները տարբերվում են շարվածքներով կառուցված շենքերից:

Իհարկե, նմանատիպ շենքերը և շինությունները նախագծվում և կառուցվում են քաղաքի այցեքարտերից մեկը լինելու համար: Լայնածավալ բնակելի սոցիալական շինարարության մեջ նմանատիպ լուծումները հաճախ չեն կիրառվում: Չանգվածային շինարարության մեջ հիմնականում օգտագործում են երկշերտ կամ եռաշերտ ապակեպատում, որոնք կարող են ունենալ 1.2 մ<sup>2</sup>.°C/Վտ ջերմային դիմադրություն և ավել պատշաճ արտադրության դեպքում:

Հայաստանյան պայմաններում այդ արժեքը համազոր է 50 սմ հաստությամբ «միդիս» շարվածքով իրականացված պատի ջերմային դիմադրությանը<sup>13</sup>: Երկշերտ կամ եռաշերտ ապակեպատումով պատուհանների ջերմային դիմադրությունը հնարավոր է բարձրացնել՝ լցնելով դրանք իներտ գազով, օրինակ՝ արգոնով կամ կրիպտոնով: Ցածր ճառագայթման հատկությամբ հատուկ K- և I-ապակիների կիրառումը թույլ կտա ստանալ էլ ավելի Էներգախնայող կոնստրուկցիա (նկ. 25):

Of course, these are the types of buildings designed to be symbols of a city; therefore, in large-scale construction of living quarters, such solutions are rare. In large-scale construction, double- or triple-glazed windows and doors are used. Such window systems, when properly manufactured, can have an R-value of 1.2 m<sup>2</sup>q°C/W or higher. In Armenian conditions, this corresponds to the R-value of a common 50 cm wall in the frequently used “midis” wall systems.<sup>13</sup> It is possible to increase the R-value of glazing by filling the spaces between glass sheets with inert gases such as argon and krypton. In addition, special so-called K- or I-glass sheets with low emissivity are used (Figure 25).

Figure 25. Comparison of double- and triple-glazed windows



Նկար 25. Երկշերտ և եռաշերտ պատուհանների ապակեփաթեթների համեմատումը:

As shown in Figure 25, triple-glazed windows have almost three times better U-value than double-glazed. However, to make windows more soundproof, it is advisable to place the middle glaze layer of a triple-glazed window, slightly off center.<sup>14</sup> By using K-glass or I-glass it is possible to decrease the U-value of glazing even more. Figure 26 shows the concept of low-emissive glass. This glass has a special surface sprayed with colored metals or semi-conductive oxides of metals, e.g. silver oxide. They reflect the sun’s radiation and keep thermal energy inside a room.

While K-glass has a rigid surface and is oriented to keep heat inside the room, I-glass is more fragile; therefore, additional safety measures during transportation of I-glass is necessary. K- and I-glass transmits sunlight while keeping heat inside the room. In both

ինչպես ցույց է տրված նկ.25-ում, եռաշերտ ապակեփաթեթն ունի գրեթե 3 անգամ ավելի ցածր U-գործակից, քան երկշերտը: Ձայնամեկուսացման տեսանկյունից նպատակահարմար է եռաշերտ ապակեփաթեթի միջին ապակին տեղադրել որոշակի շեղումով դեպի առաջին կամ երրորդ ապակիները<sup>14</sup>: Օգտագործելով K-կամ I-ապակի՝ հնարավոր է էլ ավելի նվազեցնել ապակեփաթեթի U-գործակիցը: Նկ. 26-ում ներկայացված են ցածր կլանելիությամբ ապակիների սկզբունքները: Այսպիսի ապակիների մակերևույթը պատված է գունավոր մետաղների կամ կիսահաղորդիչ մետաղների օքսիդների չափազանց բարակ շերտով, օրինակ՝ արծաթի օքսիդ: Դրանք անդրադարձնում են արևային ճառագայթումը և պահպանում շենքի հարմարավետության պայմանները:

K-ապակին ունի կոշտ մակերևույթ և նպատակաուղղված է շենքի ջերմության պահպանմանը: I-ապակին ավելի փխրուն է, հետևաբար՝

<sup>13</sup> “Midis” is an ancient Armenian method of building load-bearing walls: two layers of tuff placed flat side faced with an interlayer of minor tuff spalls (break-stone), slag, pumice stone, etc. The stone block-work was affixed with a lime-concrete mixture.

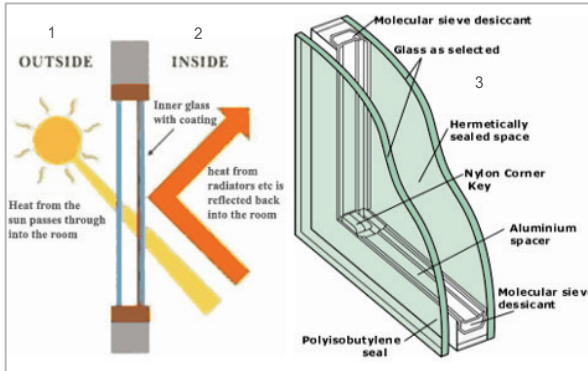
«Միդիս» շարվածքը կրող պատերի կառուցման հայկական ավանդական եղանակ է. երկու շարք տուֆ քարեր, տաշած կողմով դեպի դուրս, արանքը լցված տուֆի մանր շարդոնով (խիբար), խարամով, պեմգայով և այլն: Քարերի շարքը ամրակցված է կրացեմենտային շաղախով:

<sup>14</sup> Georgi Janyan, *Thermal Physics of Construction*, Yerevan, 1989.

Գ. Ս. Ջանյան, «Շինարարական ջերմաֆիզիկա»

cases, there is no condensation of the vapor on the surface of the energy-efficient glass. K-glass has emissivity of 0.2; I-glass has 0.04. Thus, windows made of I-glass are significantly more energy efficient. Additionally, I-glass is more transparent than K-glass.

Figure 26. Energy-efficient K-glass

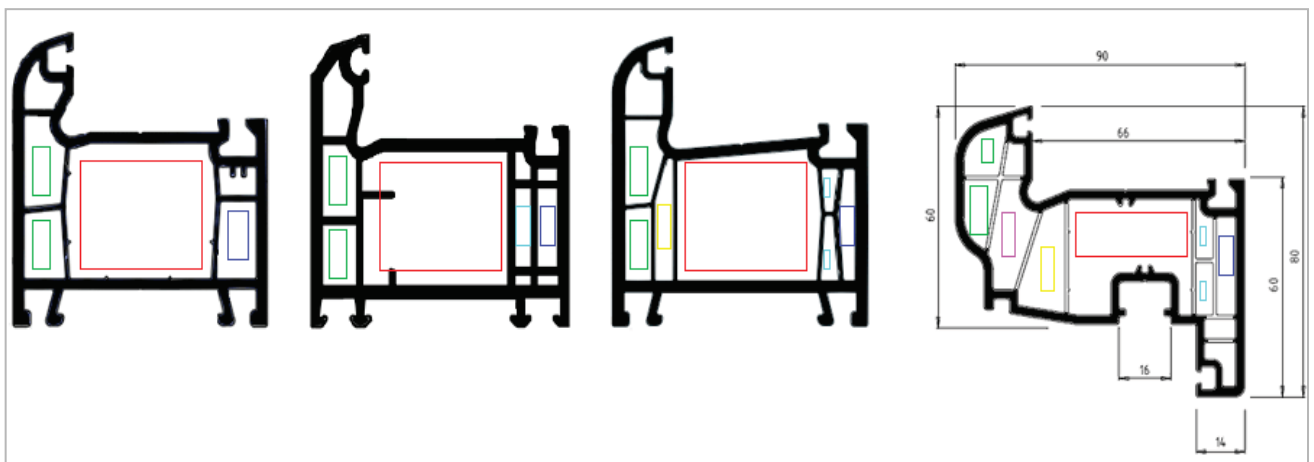


1. Դրսից. Արեգակի ջերմությունը թափանցում է սենյ
2. Ներսից. Ներսի ապակին՝ պատումով, մարտկոցների և այլն ջերմությունը անդրադարձվում է հետ դեպի սենյ
3. Մոլեկուլային ծակոտկեն խոնավության կլանիչ, ընտրված տեսակի ապակի, հերմետիկ փակ տարածություն, նեյլոնային անկյունային միացում, ալյումինե պահանգ, մոլեկուլային ծակոտկեն խոնավության կլանիչ, պոլի-իզոբուտիլենային հերմետիկ

Նկար 26. Էներգաարդյունավետ K-ապակի

While the energy efficiency of window glazing is very important, the surrounding frame must not be forgotten. Window frames can have up to seven chambers. However, 3- to 6-chambered frames are more common (Figure 27). Modern windows have a R-value of more than 1.2 m<sup>2</sup>·°C/W. When installing windows or doors, it is necessary to fill the joints with isolative material to avoid thermal bridges. The edges of windows and doors may be filled with spray PF, which, after solidification, adds strength and fixes the window or door in its place.

Figure 27. 3-, 4-, 5-, and 6-chambered window and door frames (chambers are colored)



Նկար 27. Դռների և պատուհանների 3, 4, 5, 6 խցիկանի շրջանակները (խցիկները առանձնացված են գույներով)

այդպիսի ապակու տեղափոխման համար անհրաժեշտ են լրացուցիչ անվտանգության միջոցառումներ: Երկու դեպքում էլ չի դիտվում ապակու մակերևույթի վրա գոլորշու կոնդենսացում: K- ապակու կլանելիությունը 0.2 է, իսկ I-ապակունը՝ 0.04: Հետևաբար, I-ապակուց իրականացված պատուհաններն ավելի էներգախնայող են: I-ապակին նաև ավելի թափանցիկ է, քան K-ապակին:

Ապակեփաթեթի էներգաարդյունավետությունը շատ կարևոր է, սակայն պետք է հաշվի առնել նաև պատուհանի շրջանակի էներգաարդյունավետությունը: Արդի պատուհանները կարող են ունենալ մինչև յոթ խցիկանի շրջանակներ, իրականացված ալյումինից կամ մետաղապլաստից, սակայն առավել հաճախ հանդիպում են 3-6 խցիկանի շրջանակները (Նկ. 27): Ժամանակակից լուսամուտների R-արժեքը գերազանցում է 1.2 մ<sup>2</sup>·°C/Վտ:

Դռների և պատուհանների տեղադրման ժամանակ հարկավոր է շեղերը ջերմամեկուսացնել՝ խուսափելու համար ցրտի կամրջակներից: Լուսամուտների և դռների եզրերը կարող են լցվել փոփրապոլիուրեթանով, որը, վերջնականապես պնդվելուց հետո, ամրացնում է դրանք և ավելի պինդ է պահում տեղերում:

**BOX 2. BIRDS AND GLASS IN BUILDINGS: A BIG THREAT BUT WITH SIMPLE SOLUTIONS**

This box is not about building insulation and energy efficiency. It is about a very common part of the building envelope: windows and glass wall systems. These building elements can have catastrophic effects on bird populations.

In the USA and Canada alone, an estimated 1 billion birds are killed each year through collisions with buildings. The primary cause is the use of glass without adequate measures to guide birds' vision. The chart below shows the estimated number of human-caused bird deaths per year in the US and Canada. Collisions with glazed buildings is the second-largest estimated cause.

Collisions occur because most birds do not perceive glass as an obstacle. Collisions occur with glass facades of all sizes, in all seasons and weather conditions, and in every type of environment (from residential and rural settings to dense urban cores). Daytime collisions happen because of either glass reflectivity or transparency.

From the outside, glass often appears highly reflective. Under the right conditions, almost every type of architectural glass reflects the sky, clouds, or nearby trees and vegetation, reproducing a perceived habitat familiar and attractive to birds. Birds fly from the real habitat to the reflected habitat or sky and hit the glass in between.

This perceived transparency is exacerbated when windows are installed directly across from one another or at a corner. Birds perceive an unobstructed passageway and attempt to fly through the glass.

Collisions occur also because the illumination of buildings creates a beacon effect for night-migrating birds.

New buildings can incorporate bird-friendly design strategies from inception. However, there are many ways to reduce bird mortality from existing buildings, with more solutions being developed all the time. Architects, designers, and city planners have many resources at their disposal to reduce avian deaths.

**ՆԵՐԴԻՐ 2. ԹՈՉՈՒՆՆԵՐԸ ԵՎ ԱՊԱԿԻՆ ՇԵՆՔԵՐՈՒՄ. ՄԵԾ ՍՊԱՈՒՆԱԼԻԷ ՊԱՐԶ ԼՈՒԾՈՒՄՆԵՐՈՎ**

Ստորև ներկայացված տեղեկությունը չի վերաբերում շենքի ջերմամեկուսացմանը և էներգախնայողությանը, այլ արտաքին ապակյա ճակատային համակարգերին, որոնց անդրադարձել ենք տեքստում: Այս տիպի կոնստրուկցիաներն ունեն աղետալի ազդեցություն թռչունների վրա:

Միայն ԱՄՆ-ում և Կանադայում տարեկան մեկ միլիարդ թռչուն է սատկում բախվելով շենքերին: Հիմնական պատճառը ապակու կիրառումն է՝ առանց թռչունների տեսողությունը ուղղորդող միջոցառումների: Ստորև գրաֆիկը ցույց է տալիս տարեկան գրանցված սատկած թռչունների մոտավոր քանակությունը:

Բախումներն առաջանում են այն պատճառով, որ թռչունների մեծամասնությունը չի տեսնում ապակին որպես արգելք: Դրանք առաջանում են անկախ ապակեպատ մակերեսի ծավալից, եղանակային պայմաններից և ցանկացած բնակելի միջավայրում, սկսած խոշոր, խիտ քաղաքներից, վերջացրած փոքր բնակատեղերից: Ցերեկային ժամերին բախումները պատահում են կամ ապակու անդրադարձելիության, կամ էլ թափանցիկության պատճառով:

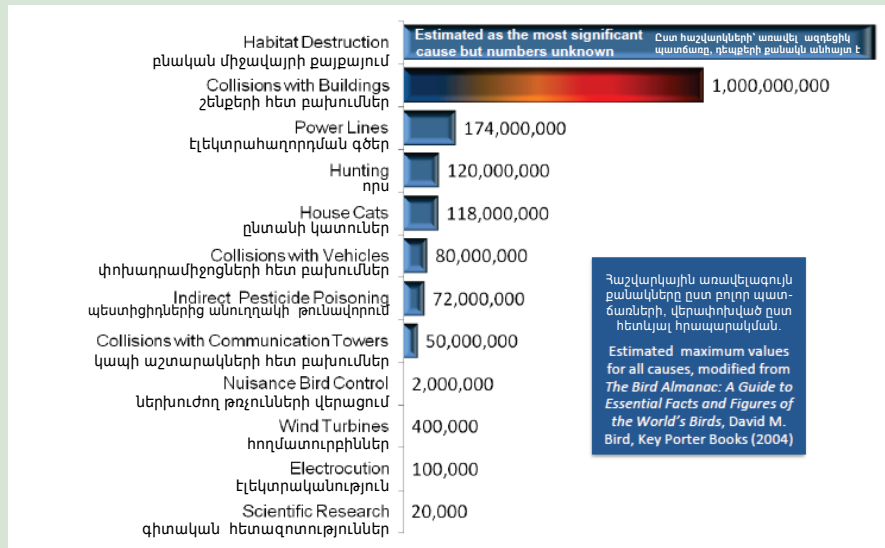
Արտաքինից ապակին հաճախ երևում է բարձր անդրադարձելիությամբ: Գրեթե ամեն տիպի ապակի անդրադարձնում է երկինքը, ամպերը կամ մոտակա ծառերն ու բուսականությունը, ստեղծելով թռչունների համար ծանոթ և գրավիչ միջավայրի պատկեր: Թռչունները սլանում են իրական միջավայրից դեպի անդրադարձվածը և բախվում ապակու:

Թափանցելիության խորամանկությունը առավել խոր է այն դեպքում, երբ պատուհանները տեղադրված են ուղիղ մեկը մյուսի դիմաց կամ անկյան վրա, քանի որ թռչունները տեսնում են թվացյալ կարճ ճանապարհ և փորձում են սլանալ ապակու միջով:

Բախումներն առաջանում են նաև այն պատճառով, որ քաղաքի գիշերային լույսերը ստեղծում են փարոսի էֆեկտ գիշերները չվող թռչունների համար:

Նոր շինարարությունը կարող է հենց սկզբից ներդնել թռչունների համար անվտանգ լուծումներ: Առկա են շահագործ վող ապակեպատ շենքերին թռչունների մահացու բախումները փոքրացնելու բազում ճանապարհներ, որոնք անընդհատ կատարելագործվում են: Ճարտարապետները, դիզայներները և քաղաքաշինարարներն իրենց ձեռքին ունեն բազում ռեսուրսներ, որոնք կարող են ուղղություն տալ նրանց այս հարցում:

Human causes of bird death in Canada and the US (per year)



Թռչունների անկման մարդածին պատճառներ, Կանադա և ԱՄՆ (տարեկան)

For more information, visit the sites listed in the following footnote.

Ավելի մանրամասն տեղեկության համար այցելեք հետևյալ կայքերը (անգլերեն).



The image above is a collection of birds that have died from colliding with buildings. It is part of a campaign by FLAP.ORG to raise awareness about this problem.<sup>15</sup>

Այս նկարում այն թռչունների հավաքածուն է, որոնք մահացու բախում են ունեցել շենքերի ապակեպատ ճակատների հետ: Դա FLAP.ORG կողմից նախաձեռնած արշավի մի մասն է՝ ուղղված այս խնդրի նկատմամբ իրազեկման բարձրացմանը:<sup>15</sup>

<sup>15</sup> "American Bird Conservancy: Home", accessed May 2013, [www.abcbirds.org](http://www.abcbirds.org); Christine Sheppard, *Bird-friendly Building Design*, The Plains: ABC, [www.abcbirds.org/newsandreports/BirdFriendlyBuildingDesign.pdf](http://www.abcbirds.org/newsandreports/BirdFriendlyBuildingDesign.pdf); "Flap Canada", accessed May 2013, [www.flap.org](http://www.flap.org); "Accopian Bird Savers", accessed May 2013, [www.birdsavers.com/](http://www.birdsavers.com/)

## Reading List | Ընթերցանության կյուրթեր

Գ.Ջանյան «Շինարարական ջերմաֆիզիկատ, Երևան, 1989թ. [Georgi Janyan, *Thermal Physics of Construction*, Yerevan, 1989]

Կ.Զարամյան, Վ.Պողոսյան «Ճարտարապետական-ճարտարագիտական ֆիզիկա» Երևան 2006թ. [Karlen Karamyan and Vazgen Poghosyan, *Physics for Architecture and Engineering*, Yerevan, 2006]

Файст В. “Основные положения по проектированию пассивных домов” (Москва, 2011)

Дмитриев А.Н., Монастырев П.В. “Энергосбережение в реконструируемых зданиях” науч. изд. (Москва, 2008)

Беляев В.С., Граник Ю.Г., Матросов Ю.А. “Энергоэффективность и теплозащита зданий” учебное пособие (Москва, 2012)

Technology Roadmap: Energy efficient building envelopes (International Energy Agency, 2013)  
<http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TechnologyRoadmapEnergyEfficientBuildingEnvelopes.pdf>

Building Envelope Design Guide <http://www.wbdg.org/design/envelope.php>

### Audiovisual Materials

Integrated Design Strategies for Building Envelope and Facade  
<http://youtu.be/R2O-3gclTqA>

Popular Building Envelope & Thermography videos  
<https://www.youtube.com/playlist?list=PLk2I8HLTP1mubVI98VADJqpvhkiYKLNm3>

### Discussion Questions

1. What factors will you consider in selecting thermal insulation material for the building envelope?
2. What are the main components of the building envelope?
3. What are thermal bridges and how should they be treated?
4. What is air infiltration and how should it be treated?
5. What are key considerations in window selection and installation?
6. How are moisture inside the building and thermal insulation related?
7. What options are available for the installation of thermal insulation?
8. How can you reduce condensation inside a house?

### Տեսաձայնային կյուրթեր

Շենքի պատող կոնստրուկցիաների և ճակատի ինտեգրված նախագծման ռազմավարություններ <http://youtu.be/R2O-3gclTqA>

Շենքի պատող կոնստրուկցիաների և ջերմագրաֆիկ պատկերման հանրամատչելի տեսա-կյուրթեր <https://www.youtube.com/playlist?list=PLk2I8HLTP1mubVI98VADJqpvhkiYKLNm3>

### Չարցեր բանավեճերի համար

1. Ի՞նչ գործոններ եք հաշվի առնում շենքի պատող կոնստրուկցիաների համար ջերմամեկուսիչ կյուրթեր ընտրելիս:
2. Որո՞նք են շենքի պատող կոնստրուկցիաների հիմնական բաղադրիչները:
3. Ի՞նչ են ջերմային կամուրջները և ինչպե՞ս պետք է վարվել դրանց հետ:
4. Ի՞նչ է օդի ներթափանցումը և ինչպե՞ս պետք է վարվել դրա հետ:
5. Որո՞նք են հիմնական սկատառումները լուսամուտ ընտրելիս և տեղադրելիս:
6. Ինչպե՞ս են կապված շենքի ներսում խոնավությունը և ջերմամեկուսացումը:
7. Ի՞նչ տարբերակներ կան ջերմային մեկուսացման տեղադրման համար:
8. Ինչպե՞ս պակասեցնել գոլորշու խտացումը տան ներսում: