

**Module 7**  
**ENERGY STORAGE**  
**FOR ENERGY SAVINGS AND RENEWABLE INTEGRATION**



**Մոդուլ 7**  
**ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՒՏԱԿՈՒՄԸ՝ ԷՆԵՐԳԱԽՆԱՅՈՂՈՒԹՅԱՆ ԵՎ**  
**ՎԵՐԱԿԱՆԳՆՎՈՂ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԻՆՏԵԳՐՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿՈՎ**

**Module 7**

**Մոդուլ 7**

Module Plan and Learning Outcomes	241	Մոդուլի պլանը և ուսուցման արդյունքներ
Core Concepts	241	Հիմնական հասկացությունները
<b>INTRODUCTION</b>	<b>242</b>	<b>ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ</b>
<b>STORAGE OF HEAT</b>	<b>244</b>	<b>ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՒՏԱԿՈՒՄ</b>
Hot-water Storage Tanks	244	Տաք ջրի կուտակման տարողություններ
Seasonal Heat Storage	245	Ջերմային էներգիայի սեզոնային կուտակում
Thermal Mass: Passive Heat Storage	251	Ջերմային զանգված. ջերմության պասիվ կուտակում
Enhancing Thermal Mass: Concrete-core Activation	253	Ջերմային զանգվածի մեծացում. բետոնի միջուկի ակտիվացում
Enhancing Thermal Mass: Phase-change Materials	257	Ջերմային զանգվածի մեծացում. ֆիզիկական վիճակը փոխող նյութեր (ՖՎՓՆ)
<b>STORAGE OF ELECTRICITY</b>	<b>262</b>	<b>ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՒՏԱԿՈՒՄ</b>
Pumped-Storage Hydroelectricity	262	Հիդրոպոմպային (հիդրոակումուլյացիոն) էլեկտրակայաններ
Compressed Air Energy Storage (CAES)	264	Սեղմված օդով էներգիայի կուտակում (ՍՕԷԿ)
Storing Electricity with Rechargeable Batteries	265	Էլեկտրաէներգիայի կուտակում վերալիցքավորվող մարտկոցների միջոցով
Flywheels	269	Թափանիվներ
Reading List	271	Ընթերցանության նյութեր
Audiovisual Materials	271	Տեսաձայնային նյութեր
Discussion Questions	271	Հարցեր բանավեճերի համար

## Module Plan and Learning Outcomes

### PLAN:

Outline and explain how energy storage technologies can be used to improve energy efficiency of buildings, as well as energy grids.

### Student Learning Outcomes:

- Demonstrate ability to explain basic heat- and electricity-storage options;
- Demonstrate ability to explain the energy savings as well as the renewable energy integration possibilities of different storage technologies;
- Demonstrate understanding of advantages and disadvantages of various solutions.

## Core Concepts

Heat storage  
Electricity storage  
Hot-water storage tanks  
Seasonal heat storage

Borehole  
Thermal mass  
Heat capacity  
Specific heat capacity  
Thermal mass activation  
Concrete-core activation  
Phase-change material  
Sensible heat  
Latent heat  
Pumped storage hydro  
Compressed Air Energy Storage (CAES)

Rechargeable battery  
Flywheel  
Utility-scale storage  
Community Energy Storage (CES)

Building-level storage

## Մոդուլի պլանը և ուսուցման արդյունքները

### ՊԼԱՆ

Ընդհանուր գծերով նկարագրել և բացատրել, թե ինչպե՞ս կարելի է էներգիայի կուտակման տեխնոլոգիաները օգտագործել շենքերի, ինչպես նաև էներգահամակարգի էներգաարդյունավետությունը բարելավելու համար:

### Ուսանողների ուսուցման արդյունքները.

- Ջերմային և էլեկտրական էներգիայի կուտակման հիմնական եղանակների մասին գիտելիք,
- Կուտակման տարբեր տեխնոլոգիաների միջոցով էներգախնայողության, ինչպես նաև վերականգնվող էներգիայի ինտեգրման հնարավորությունների հասկացողություն,
- Տարբեր հնարավոր լուծումների առավելությունների ու թերությունների հասկացողություն:

## Հիմնական հասկացությունները

Ջերմային էներգիայի կուտակում  
Էլեկտրաէներգիայի կուտակում  
Տաք ջրի կուտակման տարողություններ  
Ջերմային էներգիայի սեզոնային կուտակում  
Հորատանցք  
Ջերմային զանգված  
Ջերմունակություն  
Տեսակարար ջերմունակություն  
Ջերմային զանգվածի ակտիվացում  
Բետոնի միջուկի ակտիվացում  
Ֆիզիկական վիճակը փոխող նյութեր  
Չգայական ջերմություն  
Թաքնված ջերմություն  
Հիդրոպոմպային (հիդրոակումուլյացիոն)  
Էլեկտրակայաններ  
Էներգիայի կուտակում սեղմված օդի միջոցով (ԷԿՍՕՍ)  
Վերալիցքավորվող մարտկոցներ  
Թափանիվ  
Կայանի մակարդակով կուտակում  
Համայնքային մակարդակով էներգիայի կուտակում (ՀՄԷԿ)  
Շենքի մակարդակով էներգիայի կուտակում

## INTRODUCTION

The supply of energy from the sun and wind cannot always meet the demand for energy for the simple reason that they are not always available. At night, for instance, there is no sun. PV panels, therefore, produce no energy. On the other hand, when it is a sunny summer day, a building’s PV panels may produce more electricity than is actually used.

As discussed in earlier modules, in some countries it is possible to sell or transfer excess electricity to the grid through net metering. For heat, however, it is difficult to imagine selling excess heat; however, it may be possible to do this with neighbors.

If selling or transferring is not an option, another approach is gaining interest: adjusting demand to supply conditions and the grid. Demand responsiveness to supply conditions can improve performance by reducing load when there is a decrease in supply. This is easier to do in large buildings where there are many operations that use energy at levels that are perhaps not essential. If there is great pressure on supply, commercial or industrial complex operators can, for instance, dim lights or change the buildings’s cooling/heating temperatures by a few degrees. It may also be possible to delay some activities to a time where there is less pressure on energy supply.<sup>1</sup>

Selling or transferring excess energy to the grid may not be possible in all places. Moreover, as effective as demand response may be for industrial or large commercial applications, for some off-grid locations and small buildings it may be necessary to look at energy storage options. There are many ways of storing excess electrical or thermal energy. These include:

- Chemical energy storage (hydrogen, bio-fuels and biomass, liquid nitrogen, etc.);
- Electrochemical energy storage (battery and fuel cell);
- Electrical energy storage (capacitor, superconducting magnetic energy storage);
- Thermal energy storage (hot-water storage tank, storage heater, steam accumulator, thermal mass of a building);

## ՆԵՐԱԾՈՒԹՅՈՒՆ

Արևից և քամուց ստացվող էներգիան միշտ չէ, որ բավարարում է տվյալ ժամանակահատվածում էներգիայի մեր պահանջարկը, այն պարզ պատճառով, որ էներգիայի այդ աղբյուրները միշտ չեն հասանելի: Օրինակ՝ գիշերը արև չկա: Այսպիսով, ՖՎ պանելներն էներգիա չեն արտադրում: Մյուս կողմից՝ Արևոտ ամառային օրվա ընթացքում շենքի վրա տեղադրված արևային էներգիայի ՖՎ պանելները կարող են արտադրել ավելի շատ էլեկտրաէներգիա, քան օգտագործվում է շենքում:

Ինչպես դիտարկվել է նախորդ բաժիններում՝ որոշ երկրներում ավելցուկային էլեկտրաէներգիան կարելի է վաճառել կամ փոխանցել ցանցին՝ հաշվիչի ցուցմունքների փոխհաշվառման միջոցով: Սակայն ջերմային էներգիայի դեպքում դժվար է պատկերացնել, թե ի՞նչ կարելի է անել ավելցուկային ջերմային էներգիայի հետ, թեև այն հնարավոր է վաճառել հարևաններին:

Եթե վաճառքի կամ փոխանցման տարբերակը հնարավոր չէ, ապա, գուցե, բացի վաճառելուց կա հետաքրքրության արժանի մեկ ա՞յլ մոտեցում՝ պահանջարկը հարմարեցնել առկա էներգամատակարարման և ցանցի ռեժիմներին: Էներգամատակարարման պայմաններին հարմարեցվող պահանջարկը կբարելավի մատակարարման բնութագրերը՝ բեռնվածքի նվազեցման միջոցով: Դա ավելի հեշտ է անել խոշոր շենքերում, որտեղ բազմաթիվ գործողություններ են կատարվում և որոնք էներգիան սպառում են այն մակարդակներով, որոնք, թերևս, էական չեն: Մատակարարման ռեժիմի վրա մեծ ճնշման առկայության դեպքում առևտրային կամ արդյունաբերական համալիրների շահագործողները կարող են, օրինակ, թուլացնել լուսավորությունը կամ մի քանի աստիճանով փոփոխել շենքի հովացման/ջեռուցման ջերմաստիճանը: Հնարավոր է նաև հետաձգել որոշ գործողությունների կատարման ժամանակը՝ դրանք տեղափոխելով մի այլ ժամի, երբ էներգիայի մատակարարումը կատարվում է ավելի քիչ լարված ռեժիմի պայմաններում<sup>1</sup>:

Էներգիայի ավելցուկը ցանցին վաճառելը կամ փոխանցելը կարող է հնարավոր լինել ամենուր: Ավելին, այն կարող է լինել նույնքան արդյունավետ, որքան արդյունաբերական կամ խոշոր առևտրային օբյեկտների կողմից պահանջարկին հարմարվելու մոտեցումը: Սակայն ցանցին չմիացված որոշ վայրերում և փոքր

<sup>1</sup> “The Building as an Energy Storage Device: Fast Demand Response as a Solution to Intermittent Renewables”, accessed February 2014, <http://eetd.lbl.gov/news/article/15242/the-building-as-an-energy-storage-device-fast-demand-response-as-a-solution-to-in>

- Mechanical energy storage (hydraulic accumulator, flywheel energy storage, etc.).<sup>2</sup>

Some of the solutions above can be applied to building-level energy storage, albeit with varying degrees of cost effectiveness. The discussion below divides storage technologies into two broad categories: technologies for heat storage and technologies for electricity storage. For each technology there is discussion of examples that are relatively cost effective at the building or community level.

շենքերի դեպքում կարող է անհրաժեշտ լինել դիտարկել Էներգիայի կուտակման տարբերակները: Էլեկտրական կամ ջերմային Էներգիայի ավելցուկի կուտակման բազմաթիվ եղանակներ կան: Դրանց թվում են.

- Էներգիայի քիմիական կուտակիչները (ջրածին, կենսավառելիք և կենսազանգված, հեղուկ ազոտ և այլ նյութեր),
- Էներգիայի էլեկտրաքիմիական կուտակիչները (մարտկոցներ և հաստատուն հոսանքի էլեմենտներ/սարքեր),
- Էլեկտրաէներգիայի կուտակիչներ (կոնդենսատորներ, մագնիսական Էներգիայի գերհաղորդիչ կուտակիչներ),
- Ջերմային Էներգիայի կուտակիչներ (տաք ջրի կուտակման տարողություններ, ջերմային կուտակիչներ, շոգեկուտակիչներ, շենքի ջերմային զանգված), և

- Էներգիայի մեխանիկական կուտակիչներ (հիդրավլիկ կուտակիչներ/մարտկոցներ, Էներգիայի կուտակման թափանիվներ և այլն)<sup>2</sup>:

Վերը նշված լուծումներից մի քանիսը կարող են կիրառվել շենքի մակարդակով Էներգիայի կուտակման համար, թեև դրանք կարող են ունենալ ծախսերի արդյունավետության տարբեր աստիճաններ: Ստորև դիտարկվող նյութում կուտակման տեխնոլոգիաները բաժանվում են երկու լայն կատեգորիաների. ջերմային Էներգիայի կուտակման տեխնոլոգիաներ և էլեկտրական Էներգիայի կուտակման տեխնոլոգիաներ: Յուրաքանչյուր տեխնոլոգիայի համար ստորև բերվում են նաև օրինակներ, որոնք ծախսերի արդյունավետության տեսակետից համեմատաբար կիրառելի են շենքի կամ համայնքային մակարդակով:

<sup>2</sup> For more information visit EIA, *Electric Power Annual 2008*. Washington, D.C.: US Energy Information Administration, 2010, <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/doshay1/docs/034808.pdf>; “Types of Energy Storage”, accessed March 2014, <http://www.energystorage.org.uk/types-of-energy-storage.html>

Լրացուցիչ տեղեկությունը հասանելի է ԱՄՆ Էներգետիկ տեղեկության վարչության (Energy Information Administration) «Էլեկտրական Էներգիա» 2008-ի տարեկան հաշվետվությունից <http://large.stanford.edu/courses/2012/ph240/doshay1/docs/034808.pdf> և <http://www.energystorage.org.uk/types-of-energy-storage.html>

## STORAGE OF HEAT

A multitude of solutions are available for the storage of excess thermal energy for later use. Depending on the specific technology employed, thermal energy can be stored for hours, days or even across seasons. Some are available for individual buildings, while others can also be used at a larger community or city scale. There is also utility-scale storage. For the purposes of building and urban designers, however, these will not be relevant to consider in this text. Technologies vary on their storage mediums, such as water, soil, rocks, mass of buildings, and phase-change materials. These mediums can be underground (sometimes very deep) or under lakes in manufactured containers. Descriptions of a few of these thermal energy storage systems appropriate at the building and community scale are discussed below.

### Hot-water storage tanks

Thermal energy can be stored in water-storage tanks, a fairly common solution in residential buildings. The heat produced by a solar-thermal collector or geothermal heat pump can be stored for days, sometimes up to a week, in tanks that are well insulated. The stored heat can then be used to heat water or space at a later time. There is a wide variety of water heat-storage products in the market. These products vary in size, degree of insulation, pressurization/non-pressurization, draining (heated water into a tank or from collectors, i.e. recirculation), etc. Figure 1 shows a few hot-water storage devices for illustrative purposes. Architects and engineers using these tanks in the buildings they design should familiarize themselves with the product specifications and their performance history before recommending a specific one.



ում բերված են տաք ջրի կուտակման սարքերի մի քանի օրինակ: Ճարտարապետներն ու ճարտարագետներն իրենց կողմից նախագծվող շենքերում այդ տարողություններից որևէ մեկն առաջարկելիս պետք է առաջին հերթին ծանոթանան այդ արտադրանքի բնութագրերին/մասնագրերին և դրանց տեխնիկական ցուցանիշներին:

## ՋԵՐՄԱՅԻՆ ԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՒՏԱԿՈՒՄ

Ջերմային էներգիայի ավելցուկի կուտակման՝ հետագայում դրանք օգտագործելու նպատակով, բազմաթիվ լուծումներ կան: Ջերմային էներգիան՝ կախված կիրառվող կոնկրետ տեխնոլոգիայից, կարող է պահպանվել ժամերի, օրերի կամ տվյալիս տարվա մի ամբողջ եղանակի ընթացքում: Այդ լուծումներից մի քանիսը կարելի է իրականացնել մեկ առանձին շենքում, իսկ մյուսները կարող են կիրառվել նաև մեծ շենքերի, համայնքի կամ քաղաքի մասշտաբով: Կա նաև կայանի մակարդակով կուտակման հնարավորություն, սակայն շենքեր և քաղաքներ նախագծողների համար դա սույն կյուրթի շրջանակում չի դիտարկվելու: Տեխնոլոգիաները տարբերվում են միմյանցից իրենց կուտակման միջավայրով, ինչպիսիք են, օրինակ՝ ջուրը, հողը, ապարները, շենքերի գանգվածը և ֆիզիկական վիճակը փոխող կյուրթերը: Այդ միջավայրը կարող է լինել ստորգետնյա (երբեմն շատ խոր), լճերի տակ, մարդու կողմից պատրաստված տարողություններում: Նկ. 1-ում բերված են ջերմային էներգիայի կուտակման համակարգերի մի քանի օրինակներ, որոնք կիրառվում են շենքի և համայնքի մակարդակով:

### Տաք ջրի կուտակման տարողություններ

Ջերմային էներգիան կարող է պահպանվել ջրի տարողություններում, որը բնակելի շենքերի դեպքում բավական տարածված լուծում է: Արևի ջերմային կոլեկտորների և երկրաջերմային պոմպերի միջոցով արտադրված ջերմությունը լավ մեկուսացված տարողություններում կարող է պահպանվել օրեր շարունակ, իսկ որոշ դեպքերում՝ մինչև մեկ շաբաթ: Այդ կուտակված ջերմությունը հետագայում կարող է օգտագործվել ջուրը կամ տարածքը տաքացնելու համար: Շուկայում կա տաք ջրի պահպանման համար նախատեսված արտադրանքի լայն տեսականի՝ տարբեր չափերի, մեկուսացման աստիճանի, ճնշման տակ աշխատող կամ առանց դրա, տաքացված ջրի դրենաժային համակարգով, վերաշրջանառությամբ կամ առանց դրանց, և մի շարք այլ առանձնահատկություններով: Ցուցադրման նպատակով նկ. 1-

Figure 1. A wide variety of hot-water storage devices are available in the market

Նկար 1. Շուկայում առաջարկվող տաք ջրի պահպանման համար նախատեսված արտադրանքի լայն տեսականին:

(A). The water-storage tank pictured on the right is for residential use. These tanks range in size from 300 to 450 liters. When the temperature in a solar-thermal collector on the roof is higher than the tank water temperature, the water is circulated between the two. When tank temperature is higher than the collector temperature, the pump shuts down and all the water is drained into the tank.



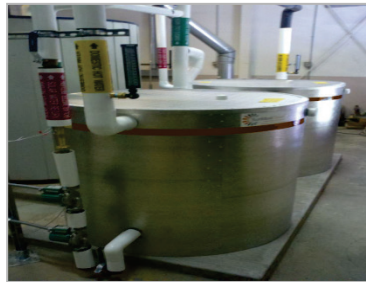
(Ա). Նկարում պատկերված է բնակարաններում կիրառվող տաք ջրի անոթը: Դրանք լինում են 300-ից 450 լ տարողությամբ: Երբ տանիքին տեղադրված արևային կոլեկտորի ջերմաստիճանն ավելի բարձր է, քան անոթում ջրի ջերմաստիճանը, ապա այդ երկուսի միջև տեղի է ունենում ջրի շրջանառություն: Երբ անոթի ջերմաստիճանն ավելի բարձր է, քան կոլեկտորի ջերմաստիճանը, ապա պոմպը անջատվում է և ամբողջ ջուրը լցվում է անոթի մեջ:

(B). The water-storage tanks pictured to the right range in size from 700 to 2,200 liters. The maximum temperature for optimum performance is about 95°C. They come with different insulation materials, such as polyurethane spray foam or rigid fiberglass insulation. Such modular units are also scalable to meet the heat-storage needs of a building. A key consideration during building design is to allocate the space needed for their installation.



(Բ). Նկարում պատկերված տաք ջրի անոթների տարողությունը տատանվում է 700-ից մինչև 2,200լ: Օպտիմալ շահագործման համար նախատեսվող առավելագույն ջերմաստիճանը 95°C է: Դրանք կարող են մեկուսացված լինել տարբեր նյութերով, օրինակ՝ պոլիուրեթանե փչած փրփուրով կամ բարձր խտությամբ ապակեբամբակով: Այդպիսի մոդուլային սարքերի չափերը կարող են փոփոխվել՝ հարմարեցվելով շենքի ջերմակուտակման պահանջներին: Այստեղ առանցքային հարցն այն է, որ շենքի նախագծման ընթացքում դրանց համար պետք է առանձին տարածք նախատեսվի:

(C). The water-storage tanks pictured to the right range in size from 450 to 19,000 liters. They can also be assembled next to each other to give a larger capacity.



(Գ). Նկարում պատկերված տաք ջրի անոթի տարողությունը տատանվում է 450-ից 19,000լ: Դրանք կարող են նաև մոնտաժվել մեկը մյուսի կողքին՝ ավելի մեծ հզորության հասնելու համար:

### Seasonal Heat Storage

### Ջերմային Էներգիայի սեզոնային կուտակում

Heat can be stored for months, making it possible to use stored heat in different seasons. Seasonal thermal energy storage (STES) works very much like the geothermal heat pumps discussed earlier. The key difference between geothermal heat pumps and seasonal thermal energy storage is that the latter actively adds heat to the underground storage medium (e.g. soil, water, salt mines, etc.). It then retrieves this added heat in colder months.<sup>3</sup>

Ջերմությունը հնարավոր է պահպանել ամիսներով և կուտակված ջերմային Էներգիան օգտագործել տարվա տարբեր եղանակներին: Ջերմային Էներգիայի սեզոնային կուտակիչ (ՋԵՍԿ) կոչվող այդ տեխնոլոգիան շատ նման է վերը դիտարկված երկրաջերմային պոմպերի աշխատանքին: Երկրաջերմային պոմպերի և ջերմային Էներգիայի սեզոնային կուտակիչների միջև առանցքային տարբերությունն այն է, որ վերջինս ակտիվորեն տաքացնում է ստորգետնյա ջերմային միջավայրը (օրինակ՝ հողը, ջուրը, աղի հանքերը և այլն): Այնուհետև, տարվա ցուրտ ամիսներին, այդ ավելացված ջերմությունը ետ է կորզվում<sup>3</sup>:

STES solutions can be a valuable addition to renewable energy generators, such as solar-thermal collectors, which produce more heat in the summer than the building or

<sup>3</sup> For a useful discussion of seasonal thermal energy storage, visit Energy Storage Association web-site, <http://energystorage.org/> Ջերմային Էներգիայի սեզոնային կուտակման վերաբերյալ օգտակար քննարկման համար այցելեք Էներգիայի կուտակման ասոցիացիայի վեբ-կայքը. <http://energystorage.org/>:

community can use. In Alberta, Canada, there is a residential community with 52 detached houses called Drake Landing Solar Community (DLSC) where, by using a STES solution, 97% of the community's heating needs throughout the year are met using more than 800 solar thermal collectors installed on top of the garages of the residential units (Figure 2).

An antifreeze fluid - a mixture of water and non-toxic glycol - is pumped through the solar collectors and heated whenever the sun is out. The 800 collectors are connected via an insulated underground pipe that carries the heated fluid to the community's Energy Centre. The solar collectors have a generation capacity of 1.5 megawatts.

The community's world record of 97% reliance on solar thermal collectors for heating throughout the year is enabled by inter-seasonal heat storage in a large mass of native rock under a central park.

The thermal exchange occurs via a cluster of 144 boreholes drilled 37 meters into the earth. Each borehole is 155 mm in diameter and contains a simple heat exchanger made of a small-diameter plastic pipe, through which water is circulated. Details of borehole storage are presented in Figure 3.<sup>4</sup>



անցքերի տրամագիծը 155մմ է և այնտեղ տեղադրված են փոքր տրամագծով պլաստիկ խողովակներից պատրաստված պարզ ջերմափոխանակիչներ, որոնց միջոցով ջուրը դրվում է շրջանառության մեջ: Հորատանցքերի միջոցով կառուցված կուտակիչի մասին մանրամասները ներկայացված են սկ. 3-ում<sup>4</sup>:

ՋԵՍԿ լուծումները կարող են արժեքավոր լրացում հանդիսանալ վերականգնվող էներգիայի արտադրության այնպիսի միջոցների համար, ինչպիսիք են արևային կոլեկտորները, որոնք ամռանը ավելի շատ ջերմություն են արտադրում, քան շենքը կամ համայնքը կարող է սպառել: Կանադայի Ալբերտա շրջանում կա 52 առանձնատներից բաղկացած մի համայնք, որը կոչվում է «*Drake Landing Solar Community*»: Այնտեղ ՋԵՍԿ տեխնոլոգիայի կիրառման միջոցով ամբողջ տարվա ընթացքում բավարարվում է համայնքի ջեռուցման կարիքների 97%-ը՝ օգտագործելով առանձնատներից առանձնացված ավտոտնակների տանիքներին տեղադրված ավելի քան 800 արևային կոլեկտորները (սկ. 2):

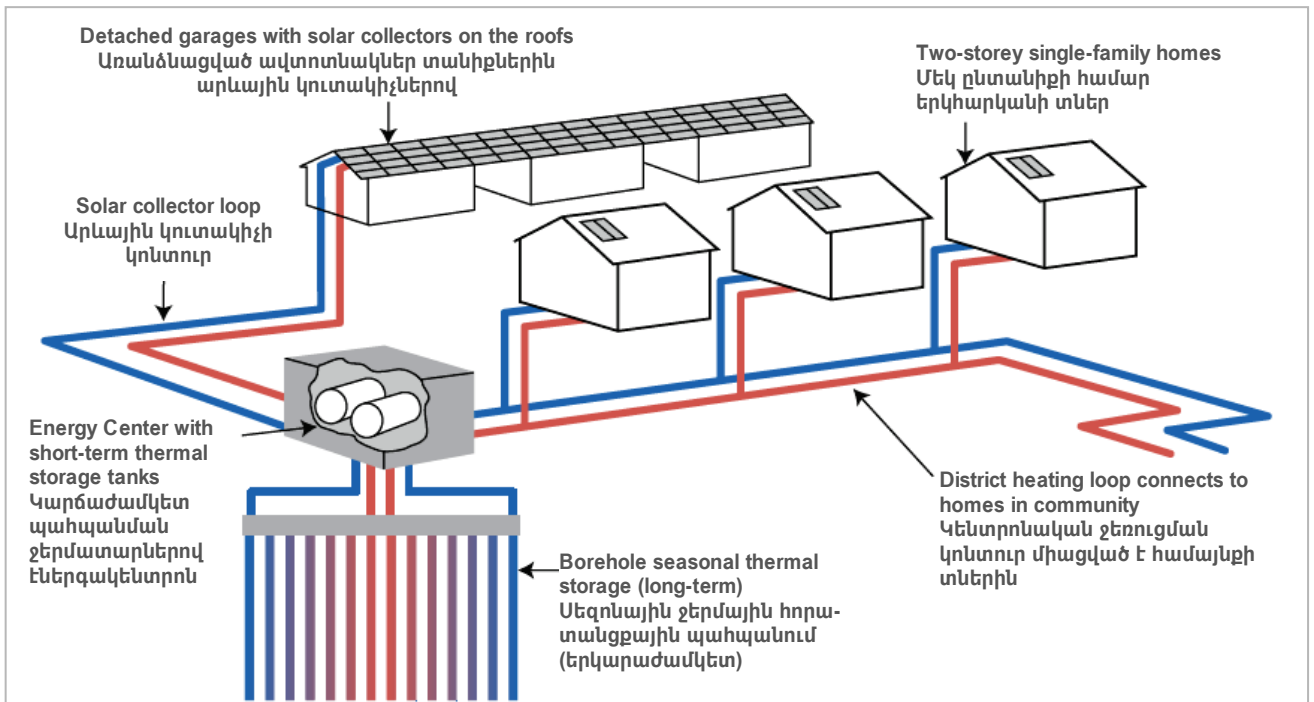
Չսառչող հեղուկը (անտիֆրիզ) ջրի և ոչ թունավոր գլիկոլի խառնուրդ է, որը մղվում է արևային կոլեկտորների միջով և տաքանում ցերեկվա արևային ժամերին: Թվով 800 կոլեկտորների միացված են ստորգետնյա մեկուսացված խողովակները, որոնք տաք հեղուկը տանում են համայնքի էներգետիկ կենտրոն: Արևային կոլեկտորների արտադրական հզորությունը 1.5 ՄՎտ է:

Արևային կոլեկտորների միջոցով ամբողջ տարվա ընթացքում ջեռուցման պահանջարկի 97%-ի բավարարման համայնքի համաշխարհային ռեկորդը սահմանվել է ջերմային էներգիայի միջսեզոնային կուտակիչի շնորհիվ, որը կենտրոնական զբոսայգու ընդերքում գտնվող մեծ ժայռն է:

Ջերմափոխանակումը կատարվում է 144 հորատանցքերից բաղկացած կլաստերի միջոցով, որոնք ունեն 37մ խորություն: Բոլոր հորատ-

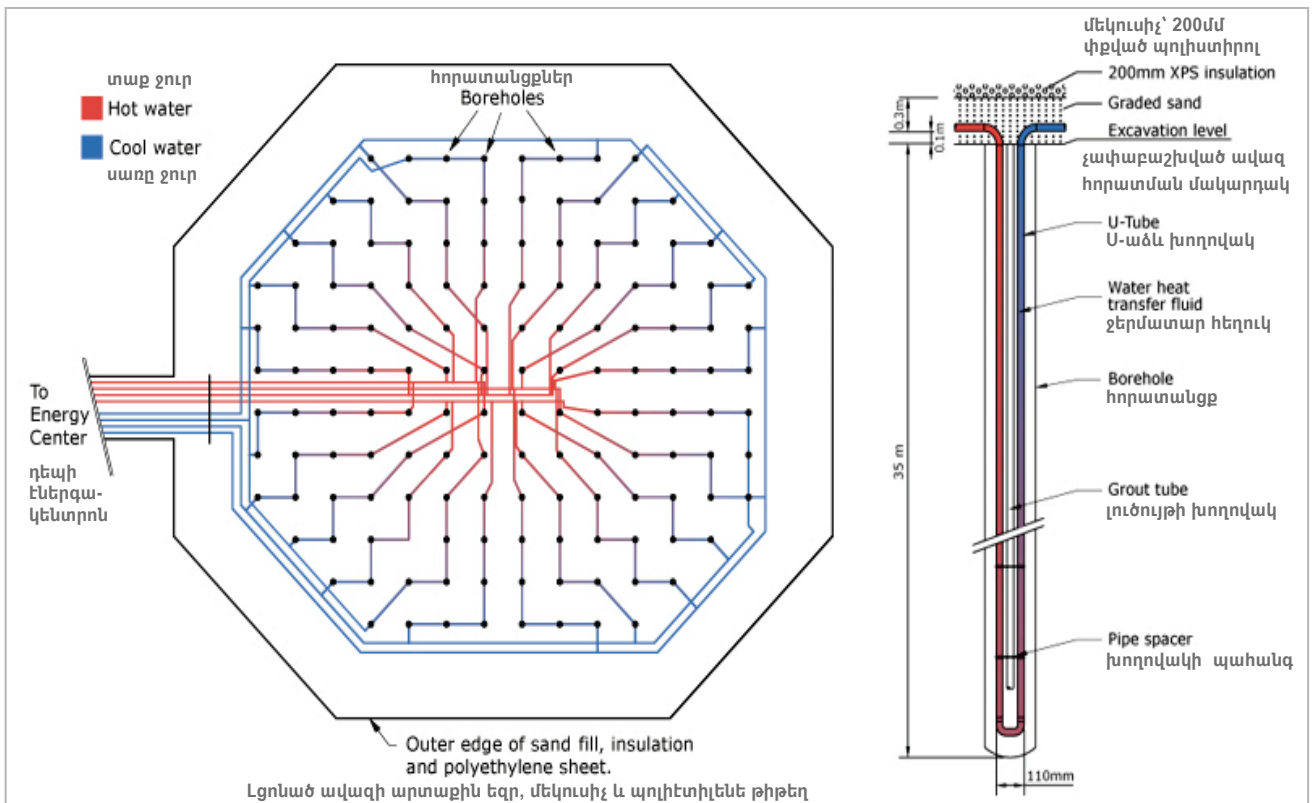
<sup>4</sup> "Welcome to Drake Landing Solar Community", accessed March 2014, <http://www.dlsc.ca/>

Figure 2. Schematic of the solar seasonal storage and district loop used at the Drake Landing Solar Community (Alberta, Canada)



Նկար 2. Drake Landing Solar Community (Ալբերտա, Կանադա) համայնքում տեղակայված արևային սեզոնային կուտակիչի և կենտրոնական ջեռուցման ցանցի սխեման: [Տանիքին արևային կուտակիչներով առանձնակառույց ավտոտնակներ, արևային կուտակիչների Էներգատար, փոքր տարողությամբ ջերմակուտակիչներով Էներգակենտրոն, մեծ տարողությամբ սեզոնային ջերմային հորատանցք, երկհարկանի ընտանեկան տուն, համայնքի տների միացած՝ կենտրոնացված ստորգետնյա ջերմային ցանց]

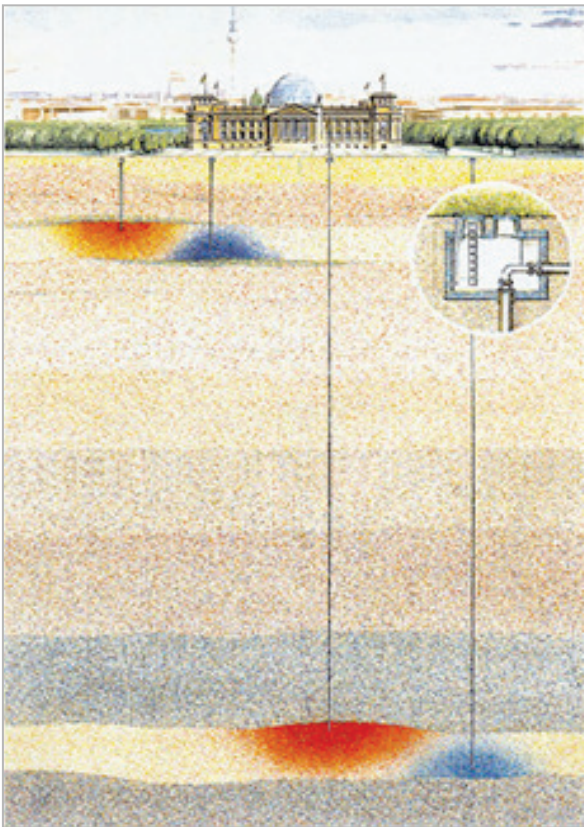
Figure 3. Details of the borehole seasonal thermal storage used at the Drake Landing Solar Community (Alberta, Canada)



Նկար 3. Drake Landing Solar Community (Ալբերտա, Կանադա) համայնքում հորատանցքերի միջոցով կառուցված կուտակիչի մանրամասն սխեման:

Another noteworthy example is the **Reichstag** in Berlin, Germany. Surplus heat produced in the Reichstag's CHP plants is fed to an aquifer in front of the building using two boreholes reaching a depth of about 300 meters (Figure 4). The water stored in the porous rock below is pumped up through one borehole at its natural temperature of about 20°C, heated by the surplus heat via heat exchangers in the basement of the Bundestag, and pumped back down to the same depth through the second borehole. Water with a maximum temperature of 60°C is pushed into the rock layer 300 meters below. When it is time to use the stored heat, the water is pumped back up to heat the building.<sup>5</sup>

Figure 4. The Reichstag in Berlin uses underground aquifers to store excess heat for use in cold seasons



Նկար 4. Բեռլինի Ռեյխսթագը ստորգետնյա ջրատար շերտերն օգտագործում է ավելորդ ջերմությունը կուտակելու և ցուրտ եղանակին օգտագործելու համար:

A heat source need not be only from solar-thermal collectors or CHP plants. Air-conditioning units or industrial processes that generate large quantities of waste heat

Մեկ այլ ուշագրավ օրինակ է **Ռեյխսթագի շենքը** Բեռլինում, Գերմանիա: Ռեյխսթագի էլեկտրական և ջերմային էներգիայի համակցված արտադրության կայանի (CHP) ավելցուկ ջերմությունը, մոտ 300 մ խորությամբ երկու հորատանցքերի միջով մղվում է դեպի Ռեյխսթագի շենքի դիմաց գտնվող ջրատար շերտերը (Նկ. 4): Ընդերքի ծակոտկեն ապարներում գտնվող ջուրն իր բնական՝ մոտ 20°C ջերմաստիճանով վեր է մղվում հորատանցքերից մեկի միջով, ավելցուկ ջերմության շտրոհիվ Բունդեսթագի շենքի նկուղում տեղակայված ջերմափոխանակիչների միջոցով տաքացվում է և նույն խորությամբ փորված մյուս հորատանցքի միջով ետ է մղվում: Առավելագույնը 60°C տաքությամբ ջուրը մղվում է 300 մ խորության տակ գտնվող ապարների շերտի մեջ: Երբ գալիս է կուտակված ջերմության օգտագործման պահը՝ ջուրը վեր է մղվում շենքի ջեռուցման համար<sup>5</sup>:

Պարտադիր չէ, որ ջերմության աղբյուրը լինեն արևային կոլեկտորները կամ էլեկտրական և ջերմային էներգիայի համակցված արտադրության կայանները: Կարելի է օգտագործել նաև օդորակման սարքերից կամ արտադրական գործընթացներից արձակված մեծ քանակությամբ ոչ պիտանի ջերմությունը: Այդ ջերմային թափոնները կարելի է որսալ և ուղղել դեպի ՋԷՍԿ կուտակիչները: ՋԷՍԿ կիրառման նման օրինակ է Շվեդիայի Էմմաբոդա քաղաքում գտնվող **Xylem Water Solutions AB** ընկերության արտադրական ձեռնարկությունը<sup>6</sup>: Այդ ընկերությունը ստորջրյա պոմպերի և խառնիչների աշխարհում առաջատար արտադրողն է: Գործարանը, որի շինություններն ունեն ավելի քան 200,000 մ<sup>2</sup> ընդհանուր մակերես, իրականացնում է ամբողջ արտադրական ցիկլը՝ մետաղի ձուլումից մինչև վերջնական արտադրանքը:

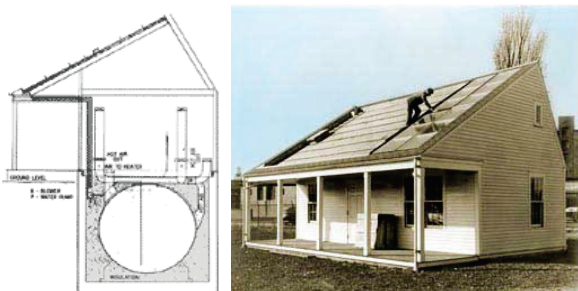
Գործարանն աշխատում է տարեկան 4,400 ժամ և այդ ընթացքում արտադրական և շահագործման գործընթացներից արձակվում է մեծ քանակությամբ ջերմային թափոններ: Մեկը մյուսից 4 մ հեռավորության վրա և 150 մ խորությամբ փորված 140 հորատանցքերի միջոցով այդ ջերմային թափոնները կուտակվում են ստորգետնյա ապարների մեջ: Համակարգը նախատեսված է տարեկան մինչև 3,800 ՄՎտժ ջերմային էներգիա կուտակելու և տարեկան մինչև 2,600 ՄՎտժ կորզելու համար: Նկ. 5-ում պատկերված է **Xylem Water Solutions AB** ընկերության արտադրական ձեռնարկության ընդհանուր սխեման և ջերմության ստորգետնյա կուտակիչի հորատանցքերի տեղանքը:

<sup>5</sup> “Power, heat, cold: the energy concept of the German Bundestag”, accessed March 2014, [http://www.bundestag.de/htdocs\\_e/artandhistory/architecture/energy/index.html](http://www.bundestag.de/htdocs_e/artandhistory/architecture/energy/index.html)



There is an increasing number of examples of seasonal thermal energy storage at the small building scale.<sup>8</sup> In such cases, either underground soil or highly insulated water tanks are used to store heat for use in colder seasons. The construction of the first such house, MIT Solar House #1, goes back to 1939 (Figure 6). This house used solar collectors to heat water that was stored in an highly insulated underground tank for use in the winter.

Figure 6. MIT Solar House #1 is the first small building making use of seasonal thermal heat storage



Նկար 6. MIT Solar House #1-ը ջերմության սեզոնային կուտակիչ օգտագործող առաջին փոքր շենքն է:

More recent examples of small buildings using STES solutions include:

- An eight-unit apartment building in Oberburg, Switzerland, was built in 1989 with three tanks (total storage of 118 cubic meters) that store more heat than the building requires.
- Architect Werner Sobek’s Haus-R128 is his own residence in Stuttgart, Germany, built in 2000 (Figure 7). Sobek used many green solutions in designing this building, including a 12,000-liter seasonal storage tank, the water in which is heated during summer for use in winter.
- The “Vital-Sonnenhaus” in Eferding, Austria, is an office building with 660 square meters of floor area (Figure 7). The south facade of the building is covered with 108 square meters of solar thermal collectors, which generate 30,000 kWh of heat a year. This is twice the amount of heat needed by the building

Կան փոքր շենքի մակարդակով ջերմային էներգիայի սեզոնային կուտակման շատ այլ օրինակներ<sup>8</sup>: Նման դեպքերում ջերմության կուտակման և այն ցուրտ եղանակին օգտագործման համար կիրառվում են կամ ստորգետնյա հողաշերտը, կամ առավել մեկուսացված ջրի տարողությունները: Առաջին այդպիսի տունը՝ MIT Solar House #1-ը, կառուցվել է դեռ 1939-ին (Նկ. 6): Այս առանձնատանը տեղակայված արևային կոլեկտորների միջոցով տաքացված ջուրը կուտակվում էր առավել մեկուսացված ստորգետնյա տարողությունում՝ ձմռանը օգտագործելու համար:

Ստորև բերված են ՋԷՍԿ լուծումներով վերջերս կառուցված փոքր շենքերի օրինակներ.

- Ութ ընտանիքի համար բազմաբնակարանային շենք Օբերբուրգում, Շվեյցարիա: Կառուցվել է 1989 թվականին, ունի 118 խորանարդ մետր ընդհանուր տարողությամբ երեք տարողություն, որտեղ պահվում է շենքի պահանջարկից ավելի ջերմություն,
- Ճարտարապետ Վերներ Սոբեկի Տուն-R128: Իր սեփական առանձնատունն է Շտուտգարդում, Գերմանիա: Կառուցվել է 2000 թվականին (Նկ. 7): Այս շենքը նախագծելիս Սոբեկը բազմաթիվ «կանաչ» լուծումներ է կիրառել, այդ թվում՝ 12,000լ տարողությամբ սեզոնային կուտակիչ տարողությունը, որտեղ ամառվա ընթացքում տաքացած ջուրն օգտագործվում է ձմռանը,
- «Vital-Sonnenhaus»-ը Էֆերդինգում, Ավստրիա: Վարչական շենք է՝ 660 մ<sup>2</sup> ընդհանուր մակերեսով (Նկ. 7): Շենքի հարավային ճակատը պատված է 108 մ<sup>2</sup> մակերեսով արևային կոլեկտորներով, որոնք արտադրում են տարեկան 30,000 կՎտժ ջերմային էներգիա: Սա շենքի պահանջարկից երկու անգամ ավել է: Շենքն ունի 27,000 լ տարողությամբ կուտակման տարողություն՝ ցուրտ ամիսներին օգտագործելու համար: Էներգիայի ավելցուկը կենտրոնական ջեռուցման ցանցի միջոցով, որին միացած է, տրվում է հարևան շենքերին<sup>9</sup>:

Սրանք փոքր շենքերի մակարդակով կատարված փորձարկումների նմուշներ են միայն: Ճարտարապետներն ու ճարտարագետները

<sup>8</sup> The following website of architectural firm BFC offers good background info on some of the key small buildings with seasonal thermal storage applications: <http://bruteforcecollaborative.com/wordpress/2010/03/16/seasonal-thermal-storage/>  
BFC ճարտարապետական ընկերության հետևյալ կայքն առաջարկում է ներածական տեղեկություն ջերմության կուտակման հնարավորությամբ փոքր շենքերի առանցքային տեսակների մասին.  
<http://bruteforcecollaborative.com/wordpress/2010/03/16/seasonal-thermal-storage/>

itself. The building has a 27,000-liter storage tank for use in cold months. The excess energy is supplied to neighboring buildings using the district heating system to which it is connected.<sup>9</sup>

These are but a sample of the attempts and experimentation happening at the small building scale. Architects and engineers continue to experiment and push the boundaries of making renewable energies and efficient energy use work at all building scales.

Figure 7. Two recent examples of small buildings with seasonal thermal storage solutions: Werner Sobek's Hause R-128 in Stuttgart (left) and Vital-Sonnenhause in Eferding (right)



Նկար 7. Ջերմային էներգիայի սեզոնային կուտակիչներով վերջերս կառուցված երկու փոքր շենքերի օրինակներ. Վալտեր Սոբեկի Տուն-R-128, Շտուտգարդում (ձախից) և «Vital-Sonnenhause»-ը Էֆերդինգում (աջից):

### Thermal Mass: Passive Heat Storage

All materials have their own rate of heat gain and heat loss. Copper, for instance, gains heat quickly and loses it quickly. Basalt rock, on the other hand, gains heat slowly and takes a long time to release it. This “inertia” of a material to change temperature is often described using the concept “heat capacity” (also known as “thermal capacity”). Heat capacity measures the amount of energy needed to change the temperature of a material by a given amount.

The scientific concept of heat capacity is equivalent to the term “thermal mass of a building” that is frequently used in architecture and building design. Depending on the materials used, the thermal inertia of a building could be different. Concrete or basalt, for instance, take a long time to gain

շարունակում են փորձարկումները և շենքերի բոլոր մակարդակներում ընդլայնում են վերականգնվող էներգիայի և էներգաարդյունավետ լուծումների կիրառման սահմանները:

### Ջերմային զանգված. ջերմության պասիվ կուտակում

Բոլոր նյութերն ունեն ջերմության կլանման և արձակման իրենց հատուկ ցուցանիշները: Պղինձն, օրհնակ, արագ կուտակում է ջերմությունը և նույնքան արագ էլ այն կորցնում: Բազալտ քարը, մյուս կողմից, ջերմությունը կլանում է դանդաղ և երկար ժամանակ է պետք, որ անջատի կուտակած ջերմությունը: Նյութի ջերմաստիճանը փոխելու այս «իներցիայի» հատկությունը հաճախ բացատրվում է՝ «ջերմունակություն» հասկացության կիրառմամբ: Ջերմունակությամբ որոշվում է էներգիայի այն քանակը, որն անհրաժեշտ է նյութի ջերմաստիճանը տրված մեծությամբ փոխելու համար:

Ջերմունակության գիտական սահմանումը համարժեք է «շենքի ջերմային զանգված» տերմինին, որը հաճախ կիրառվում է ճարտարապետության մեջ և շենքերի նախագծերում: Շենքերի ջերմային «իներցիան» կարող է տարբերվել՝

<sup>9</sup> Jenni Energietechnik, *The Concept of Solar House is Spreading*, St. Gallen, 2011, <http://www.jenni.ch/pdf/SunWindEnergy.pdf>

heat and a long time to release it. Steel, on the other hand, gains heat quickly and loses it quickly.

The thermal mass of a building can be used to store energy when it is not needed, and release it when it is needed. In the process, it helps to level the internal temperature of a building throughout the day. When a building structure has large thermal mass, the inside of the building will remain relatively unaffected by the temperature fluctuations outside of the building. On hot summer days, for example, a building structure with high thermal capacity will protect the inside from heating up too quickly; at night it will lose the heat to the cooler outside temperature, thus keeping the inside temperature relatively constant.

All matter – solid, liquid, or gas – has thermal mass. Some have higher thermal mass than others. One of the properties of a material that helps to understand its thermal mass is its specific heat capacity.<sup>10</sup> The specific heat capacity of a material is its heat capacity for a specified mass, e.g. kilogram. Therefore, the specific heat capacity of concrete is the amount of energy needed to raise the temperature of 1 kilogram of concrete by 1°C. The higher the specific heat capacity, the higher the thermal mass of the material (i.e. more energy would be required to change the temperature per kilogram of that material). Figure 8 below summarizes the specific heat capacity of materials used in construction.



Էներգիա կպահանջվի 1 կգ կոնկրետի ջերմաստիճանը փոխելու համար): Այս 8-ում ամփոփված է շինարարության մեջ օգտագործվող նյութերի տեսակարար ջերմունակությունը:

կախված շենքում օգտագործվող նյութերից: Բետոնի կամ բազալտ քարի դեպքում, օրինակ, երկար ժամանակ է պետք, որ ջերմությունը կուտակվի և երկար ժամանակ է պետք, որ այդ ջերմությունը ետ արձակվի: Իսկ պողպատ, օրինակ, արագ կլանում է ջերմությունը և նույնքան արագ էլ կորցնում:

Շենքի ջերմային զանգվածը կարելի է օգտագործել էներգիա կուտակելու համար, երբ դրա կարիքը չկա և արձակել այն ժամանակ, երբ անհրաժեշտ է: Հետևաբար սա օգնում է ամբողջ օրվա ընթացքում հավասարեցնել շենքի ներքին ջերմաստիճանը: Եթե շենքի ջերմային զանգվածը մեծ է, ապա շենքի ներսը հարաբերականորեն անմասն է մնում շենքից դուրս արտաքին ջերմաստիճանի տատանումների: Ամառվա շոգ օրերին, օրինակ, բարձր ջերմունակությամբ շենքը կպաշտպանի իր ներսի միջավայրը արագ տաքանալուց, ընդ որում՝ գիշերը շենքը կփոխանցի ջերմությունը դուրս՝ ավելի ցածր ջերմաստիճան ունեցող միջավայրին, համեմատաբար հաստատուն պահպանելով ներսի ջերմաստիճանը:

Բոլոր նյութերը՝ լինեն դրանք պինդ, հեղուկ կամ գազային վիճակում, օժտված են ջերմային զանգվածով: Դրանցից որոշներն ավելի բարձր ջերմային զանգված ունեն, քան մյուսները: Տեսակարար ջերմունակությունն այն հատկությունն է, որն օգնում է որոշել նյութի ջերմային զանգվածը<sup>10</sup>: Նյութի տեսակարար ջերմունակությունը նյութի կոնկրետ զանգվածի ջերմունակությունն է, ասենք՝ մեկ կգ-ի: Այնպես, բետոնի տեսակարար ջերմունակությունը էներգիայի այն քանակն է, որն անհրաժեշտ է 1 կգ բետոնի ջերմաստիճանը 1°C-ով բարձրացնելու համար: Որքան բարձր է տեսակարար ջերմունակությունը, այնքան բարձր է նյութի ջերմային զանգվածը (այսինքն՝ ավելի շատ

<sup>10</sup> Note that thermal mass is a different concept to thermal conductivity, a concept discussed in the module on thermal insulation. Նկատել, որ ջերմային զանգվածը և ջերմահաղորդականությունը տարբեր գաղափարներ են: Վերջինս քննարկվում է ջերմամեկուսացմանը նվիրված մոդուլում:

**Figure 8. Specific heat capacity of materials in buildings**

Note: (\*) Water has a high specific heat capacity. As a result, water is considered the planet's temperature regulator, slowing warming and cooling.

Material	Specific heat capacity, watt hours/(kg)(°C) ● Տեսակարար ջերմունակությունը, Վտժ/(կգ)(°C)	Նյութ
Copper	0.11	պղինձ
Steel	0.14	պողպատ
Cork, straw	0.17	խցան, ծղոտ
Mineral wool, fiberglass, foam glass	0.25	հանքային բամբակ, ապակե մանրաթելից բամբակ, ապակեփրփուր
Brick, marble, granite	0.26	աղյուս, մարմար, գրանիտ
Air (10°C)	0.28	օդ (10°C)
Gypsum boards	0.29	գիպսաստվարաթուղթ
Concrete, cement plaster	0.31	բետոն, ց/ա հարթասվաղ
Polystyrene, polyurethane	0.35	պոլիստիրոլ, պոլիուրեթան
Wood, fiberboard and chipboard	0.65	փայտ, մանրաթելային պանելներ և մամլված թեփե պանելներ
Water (20°C)*	1.16	ջուր (20°C)*

Նշում (\*) Ջրի տեսակարար ջերմունակությունը բարձր է: Դրա շնորհիվ ջուրը համարվում է մոլորակի ջերմաստիճանի կարգավորիչը, որը դանդաղեցնում է տաքացումը և հովացումը:

**Նկար 8. Շենքերում կիրառվող նյութերի տեսակարար ջերմունակությունը**

Thus, architects can affect the energy use of a building through the materials with which they decide to make the building. Architects and engineers will have to work together to optimize a building's thermal mass while achieving the aesthetic and cost expectations of the project.<sup>11</sup>

In addition to designing a building using thermal mass as an energy-saving tool, the thermal mass of a building can be enhanced through the use of so-called “thermal mass activation”. Two increasingly popular thermal mass activation solutions are discussed below: concrete-core activation and phase-change materials.

**Enhancing Thermal Mass: Concrete-core Activation**

The thermal mass of concrete structures and exteriors (floors, walls, and roofs) can be enhanced by embedding pipes through them that will carry cool or hot water, depending on the season (Figure 9).

Այսպիսով, ճարտարապետները կարող են շենքի կառուցման համար ընտրված նյութերի միջոցով ազդել շենքի կողմից էներգիայի սպառման ծավալների վրա: Ճարտարապետներն ու ճարտարագետները պետք է աշխատեն միասին, որպեսզի օպտիմալացնեն շենքի ջերմային զանգվածը՝ միևնույն ժամանակ բավարարելով նախագծից ակնկալվող գեղագիտական և ֆինանսական սպասելիքները:<sup>11</sup>

Ջերմային զանգվածը որպես էներգախնայողության միջոց օգտագործող շենքեր նախագծելուց բացի, շենքի ջերմային զանգվածի կիրառումը կարելի է մեծացնել նաև, այսպես կոչված՝ «ջերմային զանգվածի ակտիվացման» միջոցով: Ստորև ներկայացված են ջերմային զանգվածի ակտիվացման լայնորեն տարածվող երկու լուծումները՝ բետոնի միջուկի ակտիվացում և ֆիզիկական վիճակը փոխող նյութեր:

<sup>11</sup> For an in-depth discussion of thermal mass visit: [http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed\\_papers/thermal/index.html](http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed_papers/thermal/index.html)  
Ջերմային մասսայի մանրամասն քննարկման համար այցելեք [http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed\\_papers/thermal/index.html](http://web.ornl.gov/sci/roofs+walls/research/detailed_papers/thermal/index.html)

If water cooler than the outside temperature is run through the pipes (something that is typically done in the summer months), the thermal mass of the piped elements will increase. Similarly, if warmer water than the outside temperature is run through the pipes (something that is typically done in the winter), the thermal mass will also increase. In both cases, the temperature of the exterior concrete elements will be more resistant to change. If the water is run through the pipes 24 hours a day, temperature fluctuations inside the building will narrow, therefore reducing a building's need for mechanical heating and cooling (Figure 10).<sup>12</sup>



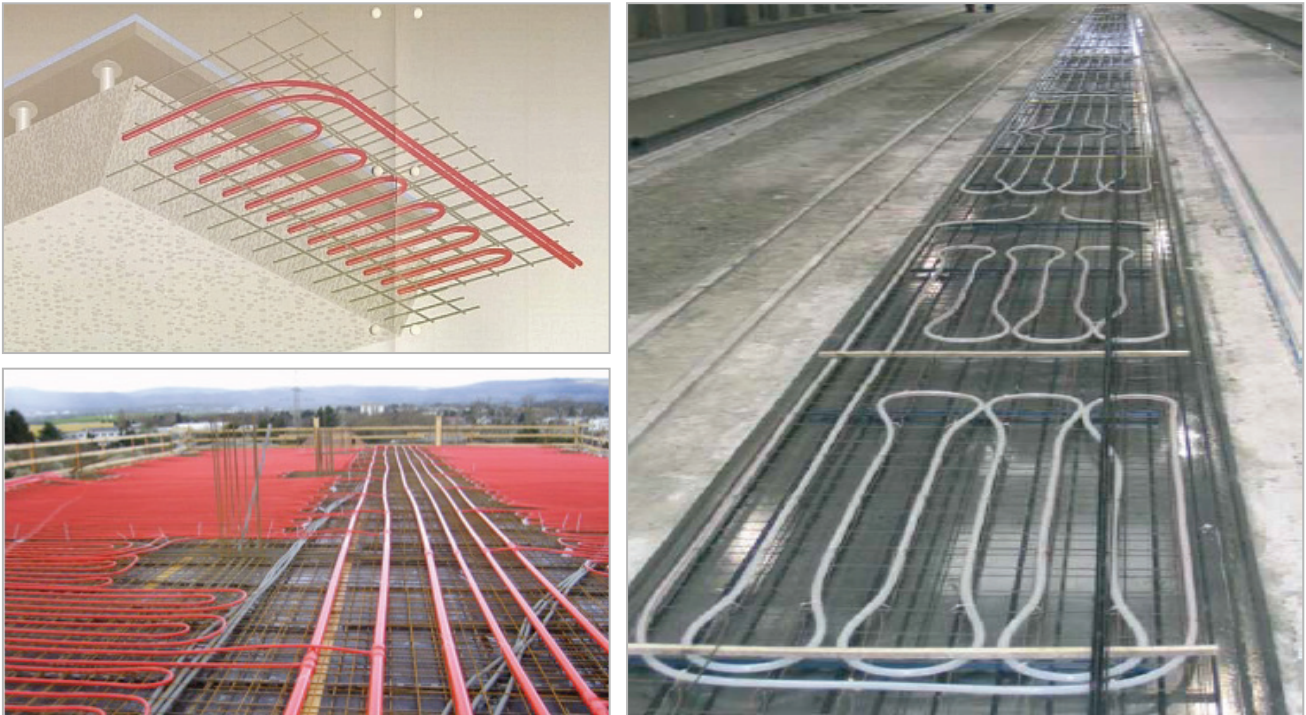
բետոնե տարրերի ջերմաստիճանն ավելի դիմացկուն կլինի փոփոխության նկատմամբ: Եթե ջուրն անցնի խողովակներով օրական 24 ժամ, ապա շենքի ներսում ջերմաստիճանի տատանումները կլինեն ավելի սահմանափակ, հետևաբար՝ կնվազեն շենքի մեխանիկական ջեռուցման և հովացման կարիքները (սկ. 10):<sup>12</sup>

### Ջերմային զանգվածի մեծացում. բետոնի միջուկի ակտիվացում

Բետոնե կոնստրուկցիաների և արտաքին մասերի (պատերի, հատակի և տանիքների) ջերմային զանգվածը կարող է մեծանալ դրանց ներսում թաղված/ներկառուցված խողովակների միջոցով, որոնցով կարելի է սառը կամ տաք ջուր անցկացնել՝ կախված տարվա եղանակից (սկ. 9):

Եթե ջուրը, որն ավելի սառն է, քան դրսի ջերմաստիճանը, անցնի խողովակների միջով (սովորաբար դա արվում է ամառային ամիսներին), ապա խողովակապատ տարրերի ջերմային զանգվածը կավելանա: Նույն սկզբունքով՝ եթե ջուրը, որն ավելի տաք է, քան դրսի ջերմաստիճանը, անցնի խողովակների միջով (սովորաբար դա արվում է ձմեռային ամիսներին), ապա այս դեպքում նույնպես ջերմային զանգվածը կավելանա: Երկու դեպքում էլ արտաքին

Figure 9. Schematic representation of water pipes in concrete (top); examples of water pipes laid between rebars but before concrete is poured (bottom and right)

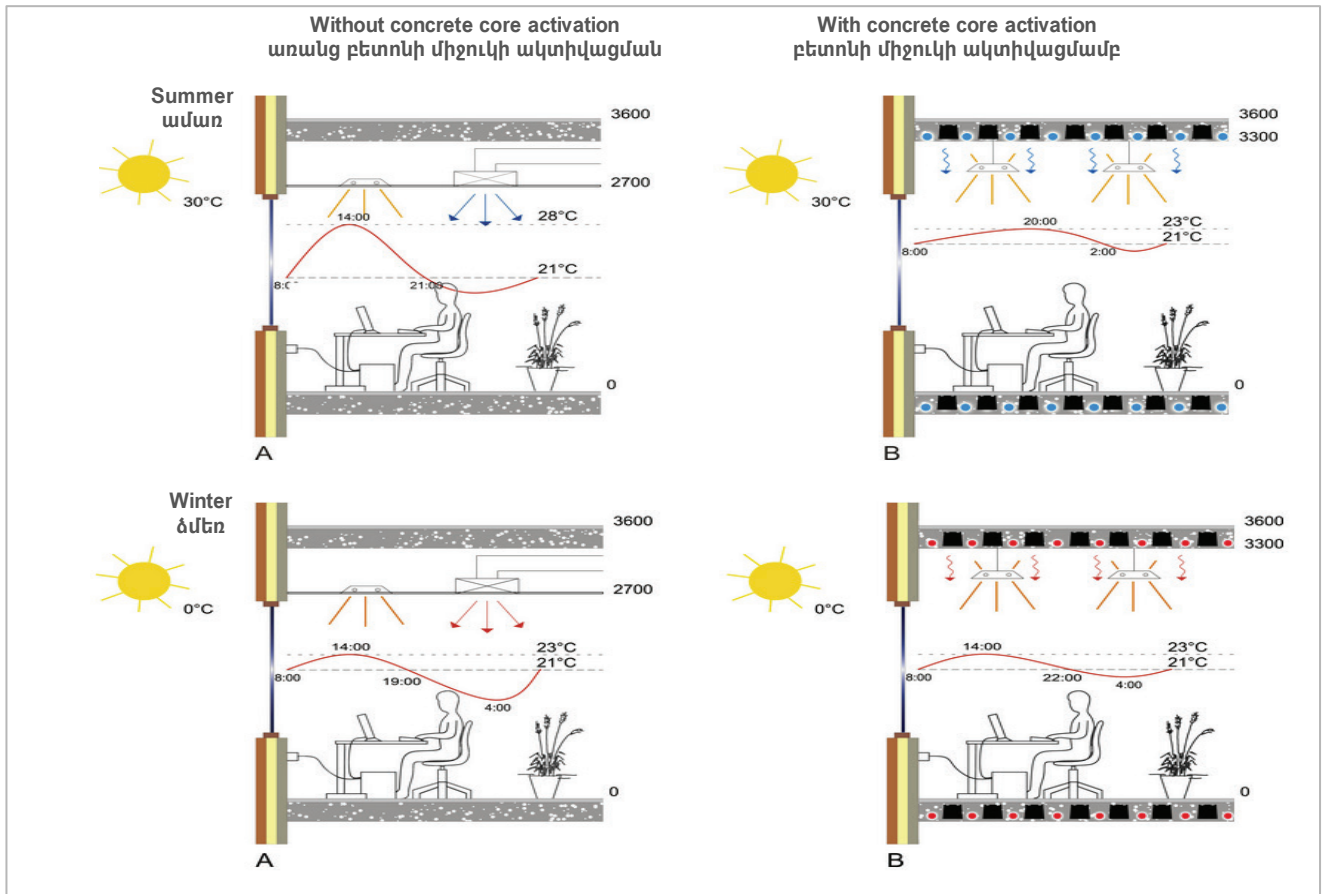


Նկար 9. Բետոնի մեջ թաղված խողովակների գծապատկերը (վերևում): Ամրանների միջև տեղադրված խողովակների օրինակներ՝ մինչև բետոնապատումը (ներքևում և աջից)

<sup>12</sup> Concrete-core activation is not the same thing as radiant floor heating/cooling. The main difference is that a concrete-core activation system is embedded in structural or floor concrete, whereas radiant-flooring systems are separate from the structure of a building. They typically sit on top of the floor, separated from the structure by a layer of insulation. Բետոնի միջուկի ակտիվացումը չէ, ինչ տաքացվող/հովացվող հատակը: Հիմնական տարբերությունն այն է, որ բետոնի միջուկի ակտիվացման համակարգը կառույցի կամ հատակի բետոնի մի մասն է, իսկ տաքացվող/հովացվող հատակի ճառագայթիչները (ռադիանտ) կառույցից առանձին են: Դրանք սովորաբար տեղադրվում են հատակի վրա և կառույցից առանձնացվում մեկուսիչ շերտով:

Figure 10. Schematic representation of an office building without (A) and with (B) concrete-core activation. Each option is presented in both summer and winter conditions. The main impact of concrete-core activation is the leveling of interior temperature, thus reducing the need for mechanical cooling and heating

Source: [www.airdeck.be/en/index.php?n=2](http://www.airdeck.be/en/index.php?n=2)



Աղբյուրը՝ [www.airdeck.be/en/index.php?n=2](http://www.airdeck.be/en/index.php?n=2)

Նկար 10. Գրասենյակային շենքի սիեմատիկ պատկերը՝ (Ա) առանց բետոնի միջուկի ակտիվացման, (Բ) բետոնի միջուկի ակտիվացմամբ: Երկու տարբերակներն էլ ներկայացված են ամառային և ձմեռային պայմաններում: Բետոնի միջուկի ակտիվացման հիմնական արդյունքը հավասարեցված ներքին ջերմաստիճանն է, որի դեպքում նվազում են շենքի մեխանիկական ջեռուցման և հովացման կարիքները:

A variation of thermally activated concrete was used in Roman times. The system was called a “hypocaust heating system”, where cavities under floors transported heated air to thermally activate stone mass. In the early 20<sup>th</sup> century, a company called Crittall embedded steel pipes in concrete slabs used for ceilings. Crittall ceilings, however, had many problems. As the buildings were not well insulated back then, the pipe diameter was very large. Also, condensation was a problem with Crittall’s product. In the early 1990s, the Swiss started to reintroduce this technology with substantial improvements. Since then, the application of concrete-core activation technology in new building construction has surged. By 2003, more than 30% of new commercial constructions have used concrete-core activation.<sup>13</sup>

Դեռ Հռոմեական կայսրության ժամանակներում կիրառվում էր բետոնածածկի ջերմային ակտիվացման մի տարբերակ: Համակարգը կոչվում էր «hypocaust ջեռուցման համակարգ», որտեղ հատակի տակ կառուցված խորշերով հոսող տաք օդը տաքացնում էր քարե զանգվածը: Իսկ 20-րդ դարասկզբին «Crittall» կոչվող մի ընկերությունն պողպատյա խողովակները թաղեց առաստաղի բետոնե սալերի մեջ: Crittall տիպի առաստաղները, սակայն, շատ խնդիրներ ունեին: Քանի որ այն ժամանակվա շենքերը վատ էին ջերմամեկուսացված, ապա այդ խողովակների տրամագիծը շատ մեծ էր: Crittall-ի արտադրանքի համար նաև մեծ խնդիր էր օդորակումը: 1990-ականների սկզբին Շվեյցարիայում Էական բարելավումներով վերսկսեցին այդ տեխնոլոգիայի կիրառումը: Այդ ժամանակից ի վեր սկսվեցին

<sup>13</sup> Frank Mauersberger and Dominik Cibis, *Energy Efficiency In Commercial Buildings with Concrete Core Activation*, Purdue University,

Figure 11 shows images of recently constructed buildings that use concrete-core activation. The increased popularity of using concrete-core activation in new buildings is driven by the energy cost savings during the building's use and operation.

բետոնի միջուկի ակտիվացման տեխնոլոգիաների լայն կիրառումը նորակառույց շենքերում: Արդեն 2003 թ. նորակառույց առևտրային շինությունների ավելի քան 30%-ը կիրառվում էր բետոնի միջուկի ակտիվացման տեխնոլոգիաներ<sup>13</sup>:

Նկ. 11-ում պատկերված են վերջերս կառուցված շենքերի լուսանկարներ, որտեղ կիրառվում է բետոնի միջուկի ակտիվացումը: Բետոնի

միջուկի ակտիվացման հարաճուն կիրառումը նորակառույց շենքերում պայմանավորված է շենքերի օգտագործման և շահագործման համար էներգետիկ ծախսերի խնայողությամբ:

Figure 11. Examples of recent buildings that use concrete-core activation, which is rapidly becoming standard practice in European commercial construction. Exterior on the left and interior on the right  
Links to architects of buildings above: [www.uytenhaak.nl](http://www.uytenhaak.nl) (top); [www.unstudio.com](http://www.unstudio.com) (middle); [www.rau.eu](http://www.rau.eu) (bottom)



Նկար 11. Բետոնի միջուկի ակտիվացման տեխնոլոգիայով վերջերս կառուցված շենքերի օրինակներ, որը Եվրոպայում կառուցվող առևտրային շենքերի համար արագորեն վերածվում է ընդունված գործելակերպի: Ձախից պատկերված է արտաքին հատվածը, աջից՝ ներքինը:

## Enhancing Thermal Mass: Phase-change Materials

In addition to concrete-core activation, another approach to enhancing the thermal mass of buildings is the application of phase-change materials (PCMs) to exposed surfaces closest to a building's source of heat gain or loss. Water has been the most widely used PCM in HVAC applications. However, water changes phase at 0°C. When you want to slow the heat gain of an interior of a building, the PCM that should be used should melt at 20 or 25 degrees. This way it will store the heat affecting the exterior of a building and not allow it to transfer to the interior.

PCMs are used in many industries, automotive and aerospace products, textiles, HVAC, and increasingly buildings. It is their application in buildings that interests us most in this section.

To understand PCMs, a little bit of physics needs to be explored. Energy can be stored in materials both in the form of latent and/or "sensible" heat. Sensible heat is the energy required to change the temperature of a substance with no phase change. Latent heat, on the other hand, is the heat stored or released when a material undergoes a phase change from solid to liquid, liquid to gas, solid to gas, and vice versa.

If a substance is changing from a solid to a liquid, for example, the substance absorbs energy from the surrounding environment that allows it to spread out the molecules into a larger, more fluid volume while still maintaining molecular bonds. Likewise, if the substance is changing from gas (which has lower density) to a denser phase such as liquid or solid, the substance gives off energy. Figure 12 shows the relationship between sensible heat and latent heat when measured against temperature change and heat gain/loss.

The latent heat properties of PCMs make them attractive as a heat-storage material. PCMs can store several times more heat per volume when compared with sensible-heat storage systems (such as stone or water/liquid H<sub>2</sub>O). For example granite and water can store 50 and 84 megajoules per cubic meter respectively for a temperature change of 20°C. However, ice and salts can store 306 and 1,500 megajoules per cubic

## Ջերմային զանգվածի մեծացում. Ֆիզիկական վիճակը փոխող նյութեր

Բացի բետոնի միջուկի ակտիվացումից՝ շենքի ջերմային զանգվածի մեծացման համար կա նաև մեկ այլ մոտեցում ևս, որտեղ ֆիզիկական վիճակը փոխող նյութերը (ՖՎՓՆ) ամրացվում են շենքի ջերմության կլանման և ջերմության կորստի աղբյուրին ամենամոտ բաց մակերեսների վրա: ՋՋՕ սարքերում ջուրը եղել է առավել լայնորեն օգտագործվող ՖՎՓՆ-ը: Սակայն ջրի ֆիզիկական վիճակը փոխվում է 0°C-ում: Եթե ցանկանում եք շենքի ներսում դանդաղեցնել ջերմության կլանումը, ապա կիրառվող ՖՎՓՆ-ը պետք է հալվի 20 կամ 25°C-ում: Այս կերպ այն կկուտակի շենքի արտաքին հատվածի վրա ազդող ջերմային էներգիան և թույլ չի տա, որ այն անցնի շենքի ներսը:

ՖՎՓՆ-երը կիրառվում են արդյունաբերության շատ ոլորտներում և արտադրանքներում, այդ թվում՝ ավիացիա, տիեզերագնացություն, ավտոմոբիլաշինություն, տեքստիլ, ՋՋՕ համակարգեր, ինչպես նաև, ավելի լայն կտրվածքով՝ շենքերում: Այս բաժնում մեզ ավելի շատ հետաքրքրում է այդ նյութերի կիրառությունը շենքերում:

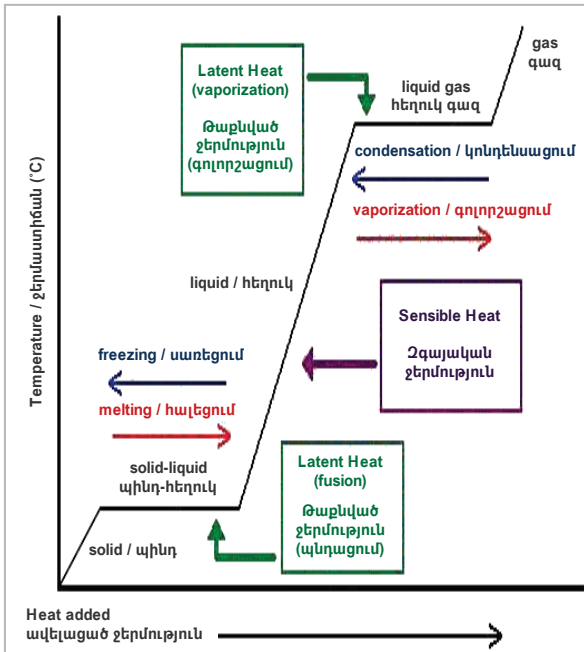
ՖՎՓՆ-երի մասին պատկերացում կազմելու համար մի փոքր վերհիշենք ֆիզիկան: Էներգիան կարող է պահպանվել նյութերում թաքնված և/կամ զգայական ջերմության տեսքով: Չզայական ջերմությունն այն էներգիան է, որն անհրաժեշտ է նյութի ջերմաստիճանը փոխելու համար՝ առանց տվյալ նյութի ֆիզիկական վիճակը փոխելու: Թաքնված ջերմությունը, մյուս կողմից, նյութի վիճակի փոփոխության (պինդ, նյութից դեպի հեղուկ, հեղուկից՝ գազային, պինդից՝ գազային, և հակառակը) ժամանակ կլանված կամ արձակված ջերմությունն է:

Օրինակ՝ եթե մի նյութ պինդ վիճակից փոխվում է հեղուկի, ուրեմն նյութը շրջակա միջավայրից էներգիա է կլանում, որի արդյունքում նյութի մոլեկուլներն ընդարձակվում են՝ վերածվելով ավելի մեծ՝ հեղուկ վիճակի՝ միաժամանակ պահպանելով նյութի մոլեկուլային կապերը/կառուցվածքը: Նույն կերպ՝ եթե նյութը գազային վիճակից (որի խտությունն ավելի ցածր է) փոխվում է ավելի խիտ վիճակի, ինչպիսիք են հեղուկ կամ պինդ վիճակը, ապա այդ դեպքում նյութը էներգիա է կորցնում: Նկ. 12-ում ներկայացված է զգայական և թաքնված ջերմությունների միջև փոխհարաբերությունը՝ ջերմաստիճանի փոփոխության և ջերմության կլանման/կորուստի պայմաններում:

ՖՎՓՆ-երի թաքնված ջերմային հատկությունները բարձրացնում են դրանց գրավելությունը՝

meter respectively at constant temperature. This storage capacity can be used for many applications such as space heating and cooling. PCMs cover a relatively large range of 0-130°C. However, for building-envelope applications PCMs are used that change phase from solid to liquid between 20-60°C.<sup>14</sup>

Figure 12. Illustration of sensible and latent heat and their relationship with temperature and heat gain



Նկար 12. Չգայական և թաքնված ջերմությունը և դրանց փոխհարաբերությունը՝ ջերմաստիճանի բարձրացման և ջերմության կլանման դեպքում:

Figure 13 presents a simplified picture of a material's heat gain and loss as it changes phases. When a material goes from solid to liquid, for example, it absorbs a great deal of heat. As Figure 13 shows, the heat gain or loss at these phase changes (melting, freezing, vaporizing, or condensing) can occur at very high rates without any temperature changes. This is a fact that is useful for storing heat when you do not need it and releasing it when you do. PCM applications precisely aim for that.

որպես ջերմություն պահպանող նյութեր: ՖՎՓՆ-երը՝ համեմատած զգայական ջերմության համակարգերի հետ (ինչպիսիք են, օրինակ, քարը կամ ջուրը / հեղուկ H<sub>2</sub>O), կարող են մեկ միավոր ծավալում մի քանի անգամ ավելի ջերմություն պահպանել/կուտակել: Օրինակ՝ ջերմաստիճանի 20°C փոփոխության դեպքում մեկ խորանարդ մետր ծավալով գրանիտը և ջուրը կարող են կուտակել համապատասխանաբար 50 և 84 ՄՋ (մեգաջոուլ): Սակայն մշտական ջերմաստիճանի պայմաններում մեկ խորանարդ մետր սառույցը և աղերը կարող են կուտակել համապատասխանաբար 306 և 1,500 ՄՋ: Այս կուտակման հզորությունը կարելի է կիրառել բազմաթիվ նպատակներով, օրինակ՝ տարածքի ջեռուցման և հովացման համար: ՖՎՓՆ-երն ունեն ջերմաստիճանի համեմատաբար մեծ միջակայք՝ 0-ից մինչև մոտ 130°C: Ինչ վերաբերում է շենքի արտաքին պատող կոնստրուկցիաներին, ապա այստեղ կիրառվում են այնպիսի ՖՎՓՆ-եր, որոնք պինդ վիճակից փոխվում են հեղուկի 20-ից մինչև 60°C պայմաններում<sup>14</sup>:

Նկ. 13-ը ներկայացնում է նյութի վիճակի փոփոխության ժամանակ ջերմության կլանման և կորուստի մի պարզեցված պատկեր: Երբ նյութն, օրինակ, անցնում է պինդ վիճակից հեղուկի, ապա այն մեծ քանակությամբ ջերմություն է կլանում: Ինչպես երևում է նկ. 13-ից, նյութի վիճակի նման փոփոխության (հալվելու, սառելու, գոլորշիանալու կամ խտանալու) ժամանակ ջերմության կլանումը կամ կորուստը կարող է ընթանալ շատ արագ՝ առանց ջերմաստիճանի որևէ փոփոխության: Սա մի երևույթ է, որը կարելի է օգտագործել ջերմային էներգիա կուտակելու համար, երբ այն պետք չէ, և ջերմություն արձակելու համար՝ դրա կարիքն առաջանալու դեպքում: Յենց դա է ՖՎՓՆ-երի կիրառման նպատակը:

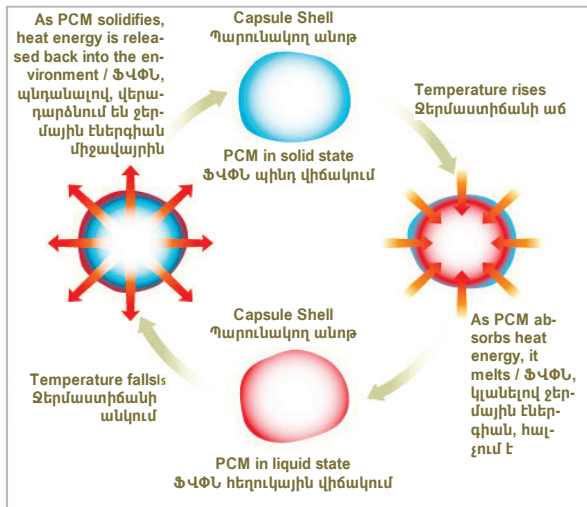
Այն, որ ՖՎՓՆ-երն ընդհանակ են փոքր ծավալի և զանգվածի մեջ կուտակել մեծ քանակությամբ էներգիա, նրանց առավելություն է տալիս զգայական էներգիայի (ինչպես, օրինակ՝ քար, գիպսաստվարաթուղթ, մեկուսացնող նյութեր և այլն) կիրառությամբ լուծումների համեմատ:

Պրակտիկ պատճառներից ելնելով՝ շենքերում կիրառվում է միայն պինդ-հեղուկ վիճակի փոփոխության տարբերակը՝ 20-ից մինչև 60°C միջակայքում: Յենց 20-ից մինչև 60°C ջերմաստիճանի պայմաններում է, որ նյութն անցնում

<sup>14</sup> Many of the facts and explanations are based on the following highly informative document: Fariborz Haghghat, *State of the Art Review: Applying Energy Storage in Building of the Future*, Paris: International Energy Agency, 2013. Փաստերից և բացատրություններից շատերը հիմնվում են տեղեկությամբ հարուստ հետևյալ աղբյուրի վրա. Fariborz Haghghat, *State of the Art Review: Applying Energy Storage in Building of the Future*, Paris: International Energy Agency, 2013.

Figure 13. Simplified picture of heat gain and loss during phase changes of a material

Source: University of California, Davis; wcec.ucdavis.edu



Աղբյուրը՝ Կալիֆոռնիայի համալսարան, Դավիս; wcec.ucdavis.edu

Նկար 13. Նյութի ֆիզիկական վիճակի փոփոխության ժամանակ ջերմության կլանման և կորուստի պարզեցված պատկեր:

The fact that PCMs can store large amounts of energy in a small volume and mass compared to solutions where sensible energy (such as stone, gypsum board, insulation material, etc.) is used gives them an advantage. For practical reasons, in buildings, only the phase change solid-liquid is used in the range of 20-60°C. At 20-60°C, material transitions from solid to liquid, storing lots of heat energy. When these materials begin to melt at 20°C, their temperature stops rising as they begin to store heat. Their temperature can remain constant up to 60°C while continuing to store heat. When exposure temperatures begin to drop and fall below the solidification point, the material begins to change phase back to a solid and, in the process, releases the heat it had gained to the outside environment.

PCMs come in three major categories: organic, inorganic, and eutectics. Organics include paraffin wax, fatty acids, alcohols, and glycols. Inorganic PCMs include hydrated salt, metals and alloys. Eutectics are a mixture of organics and inorganics.

There are several ways in which PCMs can be applied to the building envelope, for example as separate elements added to the building surface or mixed with the building element. Below are the four broad application types. Figure 14 gives some visual examples of PCM containment:

Է պինդ վիճակից հեղուկի և մեծ քանակությամբ ջերմային էներգիա կուտակում: Երբ նյութերը 20 աստիճանի տակ սկսում են հալվել, նրանց ջերմաստիճանը դադարում է բարձրանալ, քանի որ սկսում են ջերմություն կուտակել: Ջերմաստիճանը կարող է մնալ անփոփոխ մինչև 60°C, միաժամանակ շարունակելով ջերմություն կուտակել: Երբ դրանց վրա ազդող ջերմաստիճանը սկսում է ընկնել և անցնում է պինդ վիճակի անցնելու կետից, ապա նյութի վիճակը սկսվում է փոխվել՝ վերածվելով պինդ վիճակի և այդ ընթացքում նյութի կողմից կլանված ջերմությունը փոխանցվում է արտաքին միջավայրին:

ՖՎՓՆ-երը բաժանվում են երեք հիմնական կատեգորիաների. օրգանական, անօրգանական և Էվտեկտիկ: Օրգանական նյութերից են պարաֆինը, ճարպային թթուները, սպիրտները և գլիկոլները: Անօրգանական ՖՎՓՆ-երից են հիդրացված աղը, մետաղները և համաձուլվածքները: Էվտեկտիկներն օրգանական և անօրգանական նյութերի խառնուրդ են:

Շենքի պատող կոնստրուկցիաներում ՖՎՓՆ-երի կիրառման մի շարք եղանակներ կան: Դրանցից որոշները առանձին էլեմենտներ են և ավելացվում/փակցվում են շենքի մակերեսին, մինչդեռ մյուս դեպքում ՖՎՓՆ-երը պետք է խառնվեն շենքի էլեմենտների հետ: Ստորև բերված են դրանց լայնորեն կիրառվող չորս եղանակները: Նկ. 14-ում ներկայացված են ՖՎՓՆ-ի կիրառման չորս եղանակների մի քանի օրինակ:

- Ուղղակի կիրառում. հեղուկ կամ մեխանիզացված ՖՎՓՆ-ն ավելացվում կամ խառնվում է շինանյութին (գիպս, բետոն) հենց արտադրության ընթացքում,
- Ընկղմամբ/իմբրսիոն եղանակ. ծակոտ կեն շինանյութերը (գիպսաստվարաթուղթ, աղյուս, պեմզաբլոկ, փայտ, գաջ) ընկղմվում են հեղուկ ՖՎՓՆ-ի մեջ: Մազանոթային էֆեկտի շնորհիվ ՖՎՓՆ-ը ներծծվում է ծակոտիների մեջ,
- Մակրո-ներկապսուլացում. 1 սմ-ից ավելի տրամագծով խողովակներ, պարկեր, գնդիկներ (հանգույցներ), սալեր և այլ անոթներ,
- Միկրո-ներկապսուլացում. ՖՎՓՆ-եր որսացող 1 մմ-ից փոքր տրամագծով անոթներ (երբեմն խոսվում է 20 մկմ արժեքի մասին): Փոշի, միկրոկապսուլներ (մեկ միջուկով, կամ բազմամիջուկային կամ մատրիցային):

- Direct application – Liquid or powdered PCM is added and mixed with materials (gypsum, concrete) during production;
- Immersion – Porous building materials (gypsum board, brick, concrete block, wood, plaster) are dipped into liquid PCM. The PCM is absorbed into pores through the capillary effect;
- Macro-encapsulation – Container larger than 1cm diameter tubes, pouches, spheres (nodules), panels and other receptacles;
- Micro-encapsulation – Containers smaller than 1mm (sometimes the value of 20 mcm is given) in which the PCM is trapped. Powder, microcapsule (mononuclear, or poly-nuclear or matrix).

Այսօր ամբողջ աշխարհով մեկ կան մեծ թվով շենքեր, որտեղ ՖՎՓՆ-երն օգտագործում են շենքի ջերմային զանգվածը մեծացնելու համար:<sup>15</sup>

Բեռլինի բուսաբանական այգին մի ցուցադրական օբյեկտ է, որտեղ մեծ մասշտաբով ցույց է տրվում այս տեխնոլոգիայի ներուժը: Բուսաբանական այգու արևադարձային ջերմոցում կառուցված կուտակման աշտարակը տանիքի վրա տեղադրված ՖՎՓՆ պանելների միջոցով ցերեկվա ընթացքում կուտակում է արևային ջերմությունը և գիշերային ժամերին ետ արձակում դեպի ջերմոցի բուսածածկ տարածք՝ հաստատուն պահելով ցերեկային ու գիշերային ջերմաստիճանները:



---

Today there are a good number of commercial and residential buildings throughout the world that use PCM for enhancing a building's thermal mass.<sup>15</sup> One demonstration site that shows the potential of this technology at a large scale is the Berlin Botanical Garden. The storage tower in the tropical greenhouse stores solar heat during the day in PCM panels on the roof; this heat is then released at night into the plant area, maintaining a constant daytime and nighttime temperature.

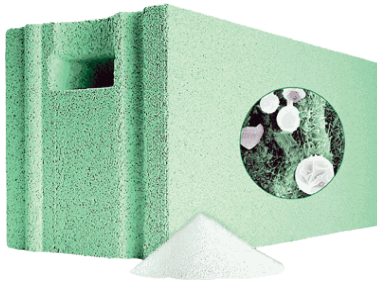
---

<sup>15</sup> The following site offers good practical examples of the application of PCM solutions to buildings, mostly in Germany: [www.bine.info/en/publications/publikation/latentwaermespeicher-in-gebaeuden/](http://www.bine.info/en/publications/publikation/latentwaermespeicher-in-gebaeuden/)  
Յետևյալ կայքը առաջարկում է գործնական, հիմնականում գերմանական օրինակներ շենքերում ֆիզիկական վիճակը փոխող նյութերի կիրառումով լուծումների վերաբերյալ. [www.bine.info/en/publications/publikation/latentwaermespeicher-in-gebaeuden/](http://www.bine.info/en/publications/publikation/latentwaermespeicher-in-gebaeuden/)

Figure 14. Examples of direct application and macro-encapsulation

Նկար 14. Ուղղակի կիրառման և մակրո-ներկապսուլացման օրինակներ

DIRECT APPLICATION - H+H Deutschland GmbH's CelBloc Plus™ has PCM added to the mixture of the concrete block. The powder next to the block is the PMC material. The circular part is a magnification of the composition of the concrete, with the white parts representing the PCM particles.



ՈՒՂՂԱԿԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄ - H+H Deutschland GmbH's CelBloc Plus™ ընկերությունը ՖՎՓՆ-ը խառնել է պեմզաբլոկի շաղախին: Պեմզաբլոկի կողքին պատկերված փոշին ՖՎՓՆ նյութն է: Շրջանակի մեջ երևում է ՖՎՓՆ սպիտակ մասնիկներ պարունակող բետոնի բաղադրության խոշորացված պատկերը:

DIRECT APPLICATION - Dupont™ Energain... are plasterboards that can be applied to walls and ceilings. PCM particles are embedded in the gypsum. Unlike traditional plasterboards which are large and require more than one person to handle, these boards are small and light enough for one person to install. Other companies such as Knauf and BASF also have similar products.



ՈՒՂՂԱԿԻ ԿԻՐԱՌՈՒՄ - Dupont™ Energain... արտադրության ներքին հարդարման պանելները կարող են փակցվել պատերին և առաստաղին: ՖՎՓՆ-ի մասնիկները թաղված են գիպսի մեջ: Ի տարբերություն ավանդական գիպսաստվարաթղթե պանելների, որոնք մեծ են և տեղադրման համար մեկից ավելի մարդ է անհրաժեշտ, այս պանելները այնքան փոքր են ու թեթև, որ մեկ մարդը կարող է տեղադրել: Այլ ընկերությունները (օրինակ՝ Knauf և BASF) նույնպես ունեն նման արտադրանք:

PCM MACRO-ENCAPSULATION - BioPCmat™ macro encapsulates PCM into pouches connected in long sheets. The sheets can be stapled to walls and ceilings surfaces. They are also sometimes used in the cavities between floors.



PCM MACRO-ENCAPSULATION - BioPCmat™ ընկերությունը ՖՎՓՆ մակրոներկապսուլացնում է երկար թերթերի վրա շարված պարկերի մեջ: Այդ թերթերը կարող են փակցվել պատերի և առաստաղի մակերեսին: Դրանք երբեմն կիրառվում են հարկերի/հատակների միջև ընկած բաց տարածքներում:

PCM MACRO-ENCAPSULATION - GLASSX... crystal is a facade element for commercial or residential buildings. It consists of 4 layers of glass. Between the interior 2 layers macro-encapsulated PMC is sandwiched. The exterior two layers have integrated shading. The image to the right is the cross-section of the product. A building is shown where this facade element has been incorporated. The opaque elements are GLASSX....



PCM MACRO-ENCAPSULATION - GLASSX... տիպի բյուրեղն առևտրային և բնակելի շենքերի ճակատային մասում կիրառվող էլեմենտ է: Այն բաղկացած է ապակու չորս շերտից: Ներքին մասի 2 շերտերի միջև դրված են մակրոներկապսուլացված ՖՎՓՆ: Արտաքին մասի երկու շերտերն ունեն իրենցում ինտեգրված ստվերման սարք: Ձախակողմյան պատկերը ներկայացնում է այդ արտադրանքի լայնակի կտրվածքը: Նկարում պատկերված է այդպիսի ճակատային էլեմենտով կառուցված շենք: Անթափանց էլեմենտները GLASSX... տիպի են:

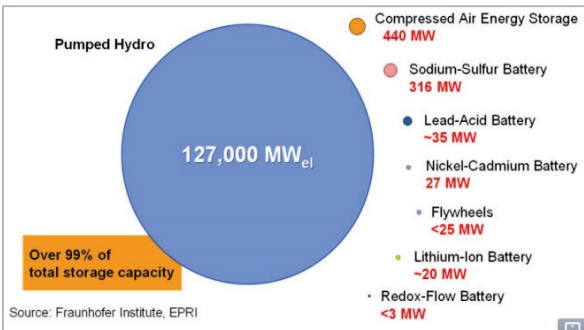
## STORAGE OF ELECTRICITY

There are also various technologies and solutions available for the storage of excess electricity for later use. As electricity networks begin to integrate intermittent and unpredictable renewable energy, such as solar and wind, the storage of excess generated electricity becomes a critical issue for buildings that are trying to become increasingly more efficient.

In 2010, electrical energy storage capacity worldwide was about 3.5% of total production. Pumped storage hydro systems were by far the most widely used solution, offering 99% of storage capacity worldwide (Figure 15). This is followed by compressed air energy storage and various battery technologies, as well as flywheel technologies. In the remainder of this section we will review electricity-storage solutions and highlight those most relevant solutions at the building or community level.

Figure 15. Worldwide installed storage capacity for electrical energy

Source: Dan Rastler, *Electricity energy storage technology options: A white paper primer on applications, costs and benefits*, Palo Alto: Electric Power Research Institute.



Աղբյուրը՝ Dan Rastler, *Electricity energy storage technology options: A white paper primer on applications, costs and benefits*, Palo Alto: Electric Power Research Institute

Նկար 15. Աշխարհում էլեկտրաէներգիայի կուտակման դրվածքային հզորությունները:

### Pumped-storage Hydroelectricity

Pumped-storage hydroelectricity is a simple and elegant way of storing electrical energy. It does so by using excess electrical energy to pump water up to a higher-level water reservoir. When there is a need for electricity, the water is released from the higher elevation and passes through turbines that generate electricity.

## ԷԼԵԿՏՐԱԷՆԵՐԳԻԱՅԻ ԿՈՒՏԱԿՈՒՄ

Ավելցուկային էլեկտրաէներգիայի պահպանման համար ևս կան տարբեր տեխնոլոգիաներ և լուծումներ հետագայում օգտագործելու նպատակով: Քանի որ էլեկտրաէներգետիկ ցանցերը սկսում են միանալ պարբերաբար ընդհատվող և անկանխատեսելի վերականգնվող էներգետիկային, ինչպիսիք են, օրինակ՝ արևային և քամու էներգիան, ապա արտադրված ավելցուկային էլեկտրաէներգիայի կուտակումը կարևոր խնդրի է վերածվում ավելի ու ավելի արդյունավետ դարձող շենքերի համար:

Աշխարհում էլեկտրական էներգիայի կուտակման հզորությունները 2010 թվականին կազմել են ընդհանուր արտադրության մոտ 3.5%-ը: Հիդրոպոմպային (հիդրոակումուլյացիոն) էլեկտրակայանների համակարգն առավել լայնորեն կիրառվող մի լուծում է, որի միջոցով կարելի է ապահովել աշխարհում կուտակման հզորությունների 99%-ը (նկ. 15): Դրանից հետո գալիս են սեղմված օդի միջոցով էներգիայի կուտակումը և տարբեր տիպի մարտկոցների տեխնոլոգիաներն ու թափանիվի տեխնոլոգիաները: Հաջորդ բաժիններում մենք դիտարկելու ենք էլեկտրաէներգիայի կուտակման տարբերակները՝ հիմնականում կարևորելով շենքերի կամ համայնքային մակարդակով առավել կիրառելի լուծումները:

### Հիդրոպոմպային (հիդրոակումուլյացիոն) էլեկտրակայաններ

Հիդրոպոմպային էլեկտրակայանը էլեկտրական էներգիա կուտակելու պարզ միջոց է: Դա կատարվում է հետևյալ ձևով. օգտագործելով ավելցուկ էլեկտրաէներգիան՝ պոմպերի միջոցով ջուրը վեր է մղվում դեպի վերին մակարդակի ջրամբարը: Էլեկտրաէներգիայի պահանջարկի դեպքում ջուրը բարձրությունից բաց է թողնվում դեպի հիդրոէլեկտրակայանի տուրբինները և դրանք էլեկտրաէներգիա են արտադրում:

Հիդրոպոմպային էլեկտրակայան առաջին անգամ օգտագործվել է Շվեյցարիայում և Իտալիայում՝ 19-րդ դարավերջին: Այսօր այն կազմում է աշխարհում կայանի մակարդակով արտադրվող էլեկտրաէներգիայի կուտակման 99%-ը<sup>16</sup>: Էլեկտրաէներգետիկական ցանցերի կառավարիչները էներգիան կուտակում են գիշերային ժամերին, երբ էլեկտրաէներգիայի պահանջարկը ցածր է (և, որպես կանոն, էլեկտրաէներգիայի սակագինը նույնպես ցածր է)՝ ցերեկվա պիկային ժամերի ընթացքում էներգիայի պահանջարկը բավարարելու համար (երբ,

Pumped storage of hydroelectricity was first used in the late 19<sup>th</sup> century in Switzerland and Italy. Today it comprises 99% of world storage of electricity generation at the utility scale.<sup>16</sup> Electricity-grid managers store electricity during the night when demand for energy is low (and typically electricity has a lower tariff). To meet energy demand at the peak level during the day (when, typically, electricity tariffs are higher) water is released from the higher reservoir into the lower one (Figure 16).

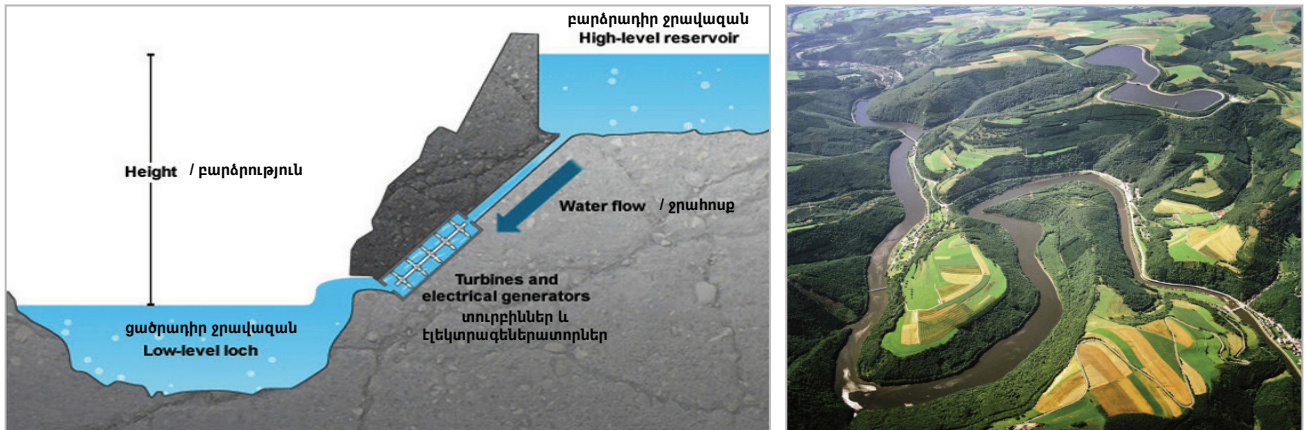
Over the past two decades there has been a resurgent interest in pumped storage hydro plants as a result of the rapid growth in renewables like PV and wind. Given that these renewables are intermittent, i.e. their supply can vary greatly over time, pumped storage is considered a way of storing excess electricity for times when the renewable is not generating electricity. The storage timing, however, may differ from the traditional load-management use of pumped storage. For PV, the excess will be stored during daytime for use at night or on overcast days. For wind, it will be stored whenever there is excess capacity, during the day or night.

որպես կանոն, էլեկտրաէներգիայի սակագները բարձր են) շուրջ վերին ջրամբարից բաց են թողնում դեպի կայան (նկ. 16):

Ֆոտովոլտայիկ և քամու էլեկտրաէներգիայի նման վերականգնվող էներգիայի արագ աճի հետևանքով վերջին երկու տասնամյակի ընթացքում հիդրոպոմպային էլեկտրակայանների նկատմամբ հետաքրքրությունը վերածնվել է: Հաշվի առնելով այն հանգամանքը, որ վերականգնվող էներգիայի այս աղբյուրներն աշխատում են ընդհատումներով, այսինքն՝ դրանց արտադրության ծավալը կարող է ժամանակի ընթացքում մեծապես փոփոխվել, ապա հիդրոպոմպային էլեկտրակայանները վերածվում են ավելցուկային էլեկտրաէներգիայի կուտակման միջոցի այն ժամանակ, երբ վերականգնվող էներգիայի կայանները պարապուրդի մեջ են: Կուտակման ժամանակային բաշխվածությունը, սակայն, կարող է տարբերվել հիդրոպոմպային էլեկտրակայանները՝ որպես բեռի կառավարման ավանդական միջոց կիրառելու գործառնությից: Ֆոտովոլտայիկ էներգիայի դեպքում ավելցուկ էներգիան կուտակվում է ցերեկային ժամերի ընթացքում և սպառվում գիշերը կամ ամպամած օրերին: Քամու դեպքում այն կուտակվում է միայն այն ժամանակ, երբ կա ավելցուկային հզորություն՝ ցերեկը կամ գիշերը:

Figure 16. Schematic design of pumped-storage hydroelectricity storage (left); utility-scale pumped hydro storage in Vianden, Luxembourg, the largest electricity storage system in Europe with 11 turbines and 1.3 GW, where the upper storage lake is artificially made (right)

Images: BBC (left); Hydro Equipment Association (right)



Պատկերները՝ BBC (ձախ), Hydro Equipment Association (աջ)

Նկար 16. Հիդրոպոմպային էլեկտրակայանի միջոցով էլեկտրաէներգիայի կուտակման սխեմատիկ պատկերը (ձախից); կայանի մակարդակով հիդրոպոմպային էլեկտրաէներգիայի կուտակիչը Վիանդենում, Լյուքսեմբուրգ: Եվրոպայում էլեկտրաէներգիայի կուտակման ամենամեծ համակարգն է, որն ունի 1.3 ԳՎտ ընդհանուր հզորությամբ 11 տուրբին, իսկ վերին մակարդակի ջրամբարն արհեստական է (աջից):

It takes more energy to pump water to a storage reservoir than it generates when water is released. Despite this, analyses have

Համակարգն ավելի շատ էներգիա է ծախսում շուրջ վերին ջրամբար մղելու համար, քան այն արտադրվում է շուրջ վար բաց թողնելու

<sup>16</sup> EC DG for Energy, *DG ENER Working Paper: The future role and challenges of Energy Storage*, Brussels, 2013, [http://ec.europa.eu/energy/infrastructure/doc/energy-storage/2013/energy\\_storage.pdf](http://ec.europa.eu/energy/infrastructure/doc/energy-storage/2013/energy_storage.pdf)

shown that, in most places, pumped storage is an effective and financially feasible solution for energy management.<sup>17</sup> Their financial feasibility may only be enhanced with investments in PV and wind power generation.

If a local utility provider/authority allows a small, distributed energy generator (such as a household with PV panels or wind turbines) to sell its excess generated electricity to the grid, then the decision to invest in pumped storage will lie with the utility company. If selling electricity to the grid is not an option, the community or industrial operation generating the PV or wind power may consider an investment in a small pumped-storage plant.

Small pumped-storage hydro plants can be built on streams and within infrastructures, such as drinking water networks, natural or artificial lakes, or reservoirs within other structures (irrigation or portions of mines or underground military installations that are no longer in use). There are not many examples of small plants yet, but this may change as distributed networks of solar and wind power become more prevalent.

### Compressed Air Energy Storage (CAES)

In CAES, excess electricity is used to compress air and store it in a reservoir, either an underground cavern or aboveground pipes or vessels. When electricity is needed, the compressed air is heated, expands, and is directed through a conventional turbine generator to produce electricity. As of 2010, there were two large utility CAES facilities in the world, one in Hunthorf, Germany (290 MW), operational since 1978 and the other in McIntosh, Alabama in the United States (110 MW), operational since 1991. A new, much larger underground CAES is being planned in Norton, Alabama, with a capacity of 2,700 MW. Above-ground CAES is also available, with capacity in the range of 3-15 MW.<sup>18</sup> Small-scale CAES has been used for a long time, especially in transportation, e.g. in mining locomotives. More recently, studies are being conducted to understand the

ժամանակ: Չնայած դրան, վերլուծությունները ցույց են տվել, որ շատ տեղերում հիդրոպոմպային կուտակիչների կիրառումը էներգիայի կառավարման արդյունավետ և ֆինանսապես շահավետ լուծում է<sup>17</sup>: Դրանց ֆինանսական իրագործելիությունը կարելի է բարելավել միայն ֆոտովոլտայիկ և քամու էներգիայի մեջ ներդրումներ կատարելու միջոցով:

Եթե տեղական էլեկտրամատակարարման ոլորտը կարգավորող մարմինը հնարավորություն է տալիս փոքր էներգաարտադրողներին (օրինակ՝ ֆոտովոլտայիկ պանելներով կամ հողմային տուրբիններով կահավորված ընտանեկան տնտեսություններին) ցանցին վաճառել իրենց արտադրած էլեկտրաէներգիայի ավելցուկը, ապա հիդրոպոմպային էլեկտրակայանի համար ներդրումներ կատարելու մասին որոշումը կայացվում է էլեկտրամատակարարող ընկերության կողմից:

Եթե ցանցին էլեկտրաէներգիա վաճառելու տարբերակ չկա, ապա ֆոտովոլտայիկ կամ հողմային էներգիա արտադրող համայնքը կամ արդյունաբերական ձեռնարկությունը կարող է դիտարկել փոքր հիդրոպոմպային կայանների մեջ ներդրումներ կատարելու տարբերակը:

Փոքր հիդրոպոմպային էլեկտրակայանները կարող են կառուցվել գետերի վրա և ենթակառուցվածքների ներսում, օրինակ՝ խմելու ջրի ցանցերում, բնական կամ արհեստական լճերում, այլ կառուցվածքների ջրամբարների շրջանակներում, ինչպիսին է ոռոգման համակարգը, կամ այլևս չօգտագործվող հանքահորերում և ստորգետնյա ռազմական օբյեկտներում: Դեռ չկան փոքր հիդրոպոմպային կայանների բազմաթիվ օրինակներ, սակայն իրավիճակը կարող է փոխվել այն ժամանակ, երբ արեգակնային և քամու էներգիայի ցանցերն ավելի մեծ տարածում ստանան:

### Սեղմված օդով էներգիայի կուտակիչներ

Սեղմված օդով էներգիայի կուտակիչների (ՍՕԷԿ) դեպքում ավելցուկ էլեկտրաէներգիան օգտագործվում է օդը խտացնելու և տարողությունում կուտակելու համար, որը կարող է լինել ստորգետնյա քարանձավից սկսած մինչև վերգետնյա խողովակներ կամ անոթներ: Էլեկտրաէներգիայի անհրաժեշտության դեպքում սեղմված օդը տաքացվում է, որի հետևանքով այն ընդլայնվում է և էլեկտրաէներգիայի

<sup>17</sup> "Pumped storage provides grid reliability even with net generation loss – US EIA report" (July 8, 2013), *Today in Energy*, US Energy Information Agency.

<sup>18</sup> Information in this section from two sources: a) Rastler, *Electricity energy storage technology options*; b) Energy Storage: Compressed Air, accessed October 2013, [www.climatechwiki.org/technology/jiqweb-caes](http://www.climatechwiki.org/technology/jiqweb-caes)  
Այս բաժնի կյուբերը հիմնված են երկու աղբյուրների վրա. ա) Rastler, D. "Electricity energy storage technology options: A white paper primer on applications, costs and benefits" (2010), Electric Power Research Institute, Palo Alto, California և բ) [www.climatechwiki.org/technology/jiqweb-caes](http://www.climatechwiki.org/technology/jiqweb-caes)

applicability of compressed air storage to store excess energy from PV and wind energy.<sup>19</sup>

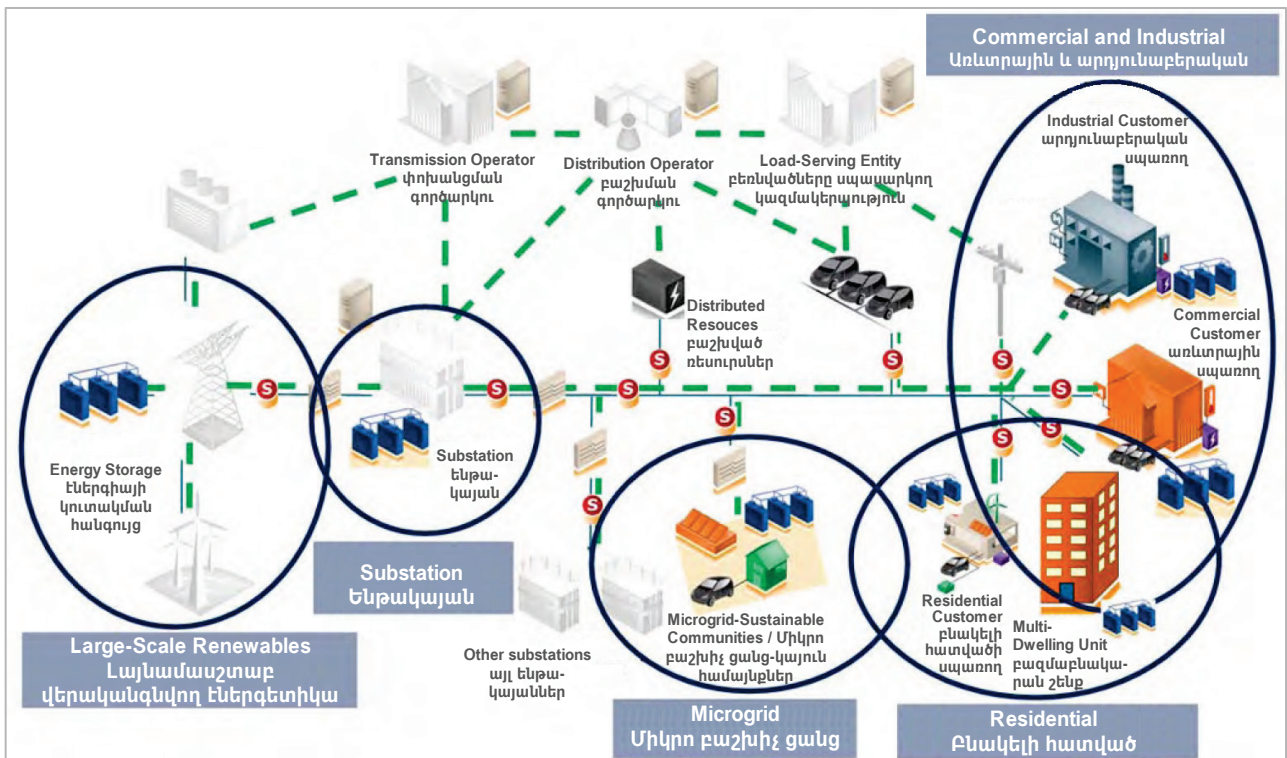
### Storing Electricity with Rechargeable Batteries

Storing electricity in batteries can occur at various levels: large-scale generation storage, at the substation level, as part of micro grids or at the community level, as part of industrial or commercial buildings, or at the level of residential buildings. Figure 17 shows five different levels at which battery technologies can be employed. Students should keep in mind that many of these battery storage solutions are in development phases, with only some being piloted or demonstrated. Only a few are mature technologies that are used widely.

արտադրության համար ուղղվում դեպի սովորական տուրբինային գեներատորը: 2010թ. դրությամբ աշխարհում գործում էին երկու մեծ ՍՕԷԿ կայաններ, մեկը՝ Յանթորֆում, Գերմանիա (290 ՄՎտ), որը շահագործվում է սկսած 1978թ-ից, և մյուսը՝ Մաքիստոշն Է, ԱՄՆ Ալաբամա նահանգում (110 ՄՎտ), որը շահագործվում է սկսած 1991 թ-ից: Նոր, շատ ավելի մեծ՝ 2700 ՄՎտ հզորությամբ ստորգետնյա ՍՕԷԿ կայան է նախատեսվում կառուցել Նորթոնում, Ալաբամա նահանգ: Կան նաև վերգետնյա ՍՕԷԿ կայաններ, որոնց հզորությունը տատանվում է 3-ից մինչև 15 ՄՎտ միջակայքում<sup>18</sup>: Փոքրածավալ ՍՕԷԿ-ներն օգտագործվել են դեռ վաղուց, հատկապես տրանսպորտի ոլորտում՝ հանքարդյունաբերության լոկոմոտիվներում: Վերջերս ուսումնասիրություններ են կատարվում ֆոտովոլտայիկ և քամու էներգիայի միջոցով ստացվող ավելցուկ էներգիան սեղմված օդի միջոցով կուտակելու հնարավորությունը պատկերացնելու համար:<sup>19</sup>

Figure 17. The 5 levels at which battery storage can be used

Source: Rastler, *Electricity energy storage technology options*



Աղբյուրը՝ Rastler, *Electricity energy storage technology options*

Նկար 17. Մարտկոցների միջոցով էներգիայի կուտակման 5 մակարդակները

<sup>19</sup> Dominique Villela et al, *Compressed-air energy storage systems for stand-alone off-grid photovoltaic modules*, Honolulu: Photovoltaic Specialists Conference, 2010.

The five levels of battery storage of electricity depicted in Figure 17 include:

1. **Utility-scale generation** at, for instance, wind farms or solar energy stations. At this scale, commercially available battery technologies can store up to 250 MWh of electricity. Demonstration projects are testing 400 MWh of storage.
2. **Utility-scale substations**, where the supply of stored energy can be made available at lower levels in the grid. There are also some mobile storage stations that can support the transmission and distribution network. Some mobile units can store as much as 2.8MWh of electricity.
3. **Micro, community level**, also known as community energy storage (CES). This approach involves placing storage batteries very near end users. This is typically done by the utility company. As such, the batteries would need to be smaller in size (Figure 18). Therefore, instead of 2 MW batteries, many smaller batteries of around 75 kW are installed. Figure 19 shows the various battery technologies appropriate for CES. Some of these, such as advance lead-acid batteries can provide up to 250 kWh. Such distribution of storage capacity has some advantages for electricity service stability and reliability, as it is unlikely that many CES units will be out of service simultaneously.<sup>20</sup>
4. **Commercial and industrial facilities** may also use batteries to store excess electricity either as load leveling, supply reliability, or as a renewable integration solution. Figure 20 summarizes the battery technologies available for use in commercial and industrial facilities.
5. **Residential-building level storage.** Buildings that use off-grid solar PV systems or wind turbines can store excess electricity in rechargeable batteries. This option may not always be economically feasible. However, if the option of selling excess electricity to the grid does not exist, buying a rechargeable battery to store electricity may be considered. Figure 21 summarizes the battery technologies available for residential buildings. There

## Էլեկտրաէներգիայի կուտակում վերալիցքավորվող մարտկոցների միջոցով

Մարտկոցներում էլեկտրաէներգիայի կուտակումը կարող է տեղի ունենալ տարբեր մակարդակներով. մեծածավալ արտադրական կուտակիչներում՝ զգալի մակարդակով, որպես միկրո ցանցի մաս, և համայնքային մակարդակով՝ որպես արդյունաբերական կամ առևտրային շենքերի մաս, կամ բնակելի շենքերի մակարդակով: Նկ. 17-ում բերվում են այն հինգ տարբեր մակարդակները, որտեղ կարող են օգտագործվել մարտկոցների տեխնոլոգիաները: Ուսանողները պետք է հաշվի առնեն, որ մարտկոցների միջոցով էներգիայի կուտակման այս լուծումներից շատերը դեռևս մշակման փուլում են, իսկ դրանցից մի քանիսը փորձարկման և ցուցադրման ընթացքում են: Քչերն են գտնվում հասուն տեխնոլոգիաների մակարդակում և կիրառվում լայնորեն:

Նկ. 17-ում պատկերված մարտկոցների միջոցով էներգիայի կուտակման 5 մակարդակները ներկայացնում են.

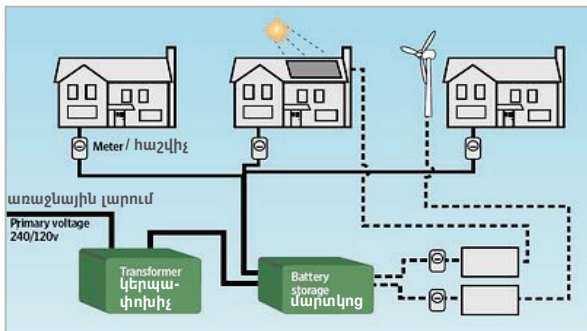
1. **Կայանի մակարդակ. էներգիայի արտադրություն:** Օրինակ՝ հողմային կայաններ կամ արևային էլեկտրակայաններ: Այս մակարդակներում շուկայում առկա մարտկոցները կարող են կուտակել մինչև 250 ՄՎտժ էլեկտրաէներգիա: Ցուցադրական նախագծի շրջանակում փորձարկվում է 400 ՄՎտժ կուտակման տարբերակը:
2. **Կայանի մակարդակի ենթակայաններ:** Կուտակված էներգիան այստեղ կարող է տրվել ցանցին՝ ավելի ցածր մակարդակով: Կան նաև կուտակման շարժական կայանքներ, որոնք օժանդակում են հաղորդման և բաշխման ցանցերին: Շարժական կայանքներից մի քանիսը կարող են կուտակել մինչև 2.8 ՄՎտժ էլեկտրաէներգիա:
3. **Միկրո, համայնքային մակարդակ:** Հայտնի է նաև որպես Համայնքային մակարդակի էներգակուտակիչ (ՅՄԷԿ): Ըստ այս մոտեցման՝ կուտակման մարտկոցները տեղադրվում են վերջնական սպառողներին շատ մոտ: Այս ներդրումը սովորաբար կատարվում է մատակարարող ընկերության կողմից: Այս նպատակով կիրառվող մարտկոցների չափերը պետք է փոքր լինեն (նկ. 18): Այսպես, 2 ՄՎտ մարտկոցների փոխարեն տեղադրվում են մոտ 75 կՎտ հզորության մեծ քանակությամբ մարտկոցներ: Նկ. 19-ում ցույց են տրված ՅՄԷԿ կամար կիրառվող

<sup>20</sup> “Community energy storage”, accessed May 2014, <http://energystorage.org/energy-storage/technology-applications/community-energy-storage>

are various residential battery products available in the market today. They vary on many parameters, such as storage capacity, efficiency, and cost. Figure 23 shows a few of these products. In selecting the battery, a number of factors should be taken into account by a building's architects and electrical engineers. These include the maximum electrical load that would be expected during battery use, the time required for full recharge, the space requirements of the battery, lifespan, etc.

Figure 18. Community electricity storage has been investigated by the utility company American Electric Power (AEP) since 2005

Source: American Electric Power (AEP)



Աղբյուրը՝ American Electric

Նկար 18. Համայնքային էլեկտրակուտակիչ համակարգերի հետազոտությունը 2005թ. ի վեր իրականացվում է American Electric Power (AEP) ընկերության կողմից: Power (AEP)

տարբեր մարտկոցների օրինակներ: Դրանց մի մասը, օրինակ՝ կատարելագործված կապարաթթվային տիպի մարտկոցները կարող են տալ մինչև 250 կՎտժ էներգիա: Կուտակված հզորության այսպիսի բաշխումը շատ օգտակար է էլեկտրամատակարարման կայունության և հուսալիության համար, քանի որ քիչ հավանական է, որ շարքից դուրս գան մի անգամից շատ ՅՄԷԿ-ներ<sup>20</sup>:

4. **Առևտրային և արտադրական օբյեկտները** նույնպես կարող են ավելորդ էլեկտրաէներգիան կուտակելու համար մարտկոցներ օգտագործել՝ կամ բեռի հավասարեցման, մատակարարման հուսալիության, կամ վերականգնվող էներգիայի ինտեգրման լուծումների նպատակով: Նկ. 20-ում ներկայացված են շուկայում առկա մարտկոցների տեխնոլոգիաները, որոնք կարող են կիրառվել առևտրային և արտադրական օբյեկտներում:

5. **Բնակելի շենքի մակարդակով կուտակում:** Այն շենքերը, որոնք ունեն ցանցին չմիացած ֆոտովոլտայիկ համակարգեր կամ հողմային կայաններ, կարող են իրենց ավելցուկ էլեկտրաէներգիան կուտակել վերալիցքավորվող մարտկոցներում: Այս տարբերակը միշտ չէ, որ տնտեսապես շահավետ է: Սակայն ավելցուկ էլեկտրաէներգիան ցանցին վաճառելու տարբերակի բացակայության դեպքում կարելի է դիտարկել վերալիցքավորվող մարտկոցներ գնելու և դրանցում էլեկտրաէներգիա կուտակելու տարբերակը: Նկ. 21-ում բերված է առկա մարտկոցների տեխնոլոգիաները, որոնք կարող են կիրառվել բնակելի շենքերի համար: Այսօր շուկայում առկա են բնակելի հատվածի համար նախատեսված տարբեր մարտկոցների արտադրատեսակներ: Դրանք ունեն տարբեր պարամետրեր, որոնցից են՝ կուտակման հզորության օգտակար գործողության գործակիցը և գինը: Նկ. 23-ում բերված են դրանցից մի քանիսի օրինակները: Մարտկոցի ընտրության ժամանակ շենքի ճարտարապետներն ու ճարտարագետ-էլեկտրիկները պետք է հաշվի

առնեն մի շարք գործոններ: Ինչպես, օրինակ՝ մարտկոցի օգտագործման ընթացքում սպասվելիք էլեկտրականության առավելագույն բեռը, լիարժեք վերալիցքավորելու համար անհրաժեշտ ժամանակը, մարտկոցի համար անհրաժեշտ տարածքը, պիտանելիության ժամկետը:

Figure 19. Battery technologies, their capacities and other characteristics for Community Electricity Storage, compiled in 2010

Source: Rastler, Electricity energy storage technology options

Technology option ● Ընտրված տեխնոլոգիա	Maturity ● Կարգավիճակ	Capacity (kWh) ● Էներգիա (կՎտժ)	Power (kW) ● Հզորություն (կՎտ)	Duration (hrs) ● Տևողություն (ժամեր)	Efficiency, % (total cycles) ● Արդյունավետություն, % (ամբողջական ցիկլեր)	Total Cost (USD/kW) ● Ընդամենը ծախս (ԱՄՆ դոլար/կՎտ)	Cost (USD/kW) ● Ծախս (ԱՄՆ դոլար/կՎտ)
Advanced Lead-Acid Կատարելագործված կապարաթթվային	Demo-Commercial Ցուցադրական-առևտրային	100-250	25-50	2-5	85-90 (4,500)	1,600-3,725	400-950
Zn/Br Flow Zn/Br հոսք	Demo Ցուցադրական	100	50	2	60 (>10,000)	1,450-3,900	725-1,950
Li-ion Լի-իոն	Demo Ցուցադրական	25-50	25-50	1-4	80-93 (5,000)	2,800-5,600	950-3,600

Աղբյուրը՝ Rastler, Electricity energy storage technology options

Նկար 19. Համայնքային էլեկտրակուտակիչների համար նախատեսված մարտկոցների տեխնոլոգիաները, դրանց հզորությունները և այլ տեխնիկական հատկանիշներ, կազմված է 2010թ.:

Figure 20. Battery technologies for commercial and industrial facilities, compiled in 2010

Source: Rastler, Electricity energy storage technology options

Technology option ● Ընտրված տեխնոլոգիա	Maturity ● Կարգավիճակ	Capacity (MWh) ● Էներգիա (ՄՎտժ)	Power (MW) ● Հզորություն (ՄՎտ)	Duration (hrs) ● Տևողություն (ժամ)	Efficiency, % (total cycles) ● Արդյունավետություն, % (ամբողջական ցիկլեր)	Total Cost (USD/kW) ● Ընդամենը ծախս (ԱՄՆ դոլար/կՎտ)	Cost (USD/kW) ● Ծախս (ԱՄՆ դոլար/կՎտ)
Advanced Lead-Acid Կատարելագործված կապարաթթվային	Demo-Commercial Ցուցադրական-առևտրային	0.1-10	0.2-1	4-10	75-90 (4,500)	2,800-4,600	700-460
Sodium-Sulfur Նատրիում-ծծումբ	Demo Ցուցադրական	7.2	1	7.2	75 (4,500)	3,200-4,000	445-555
Zn/Br Flow Zn/Br հոսք	Demo Ցուցադրական	0.625 2.5	0.125 0.5	5 5	60-63 (>10,000)	2,420 2,200	485-440
Vanadium Flow Վանադիումի հոսք	Demo Ցուցադրական	0.6-4	0.2-1.2	3.5-3.3	65-70 (>10,000)	4,380-3,020	1,250-910
Li-ion Լի-իոն	Demo Ցուցադրական	0.1-0.8	0.05-0.2	2-4	80-93 (4,500)	3,000-4,400	950-1,900

Աղբյուրը՝ Rastler, Electricity energy storage technology options

Նկար 20. Առևտրային և արտադրական օբյեկտներում կիրառվող մարտկոցների տեխնոլոգիաները, կազմված է 2010թ.:

Figure 21. Battery technologies for residential buildings, compiled in 2010

Source: Rastler, *Electricity energy storage technology options*

Technology option ● Ընտրված տեխնոլոգիա	Maturity ● Կարգավիճակ	Capacity (kWh) ● Էներգիա (կՎտժ)	Power (kW) ● Հզորություն (կՎտ)	Duration (hrs) ● Տևողություն (ժամեր)	Efficiency, % (total cycles) ● Արդյունավետություն, % (ամբողջական ցիկլեր)	Total Cost (USD/kWh) ● Ընդամենը ծախս (ԱՄՆ դոլար/կՎտ)	Cost (USD/kWh) ● Ծախս (ԱՄՆ դոլար/կՎտ)
Lead-Acid Կապարաթթվային	Demo-Commercial Ցուցադրական-առևտրային	10 20	5	2 4	85-90 (1,500-5,000)	4,520-5,600	2,260 1,400
Zn/Br Flow Zn/Br հոսք	Demo Ցուցադրական	9-30	3-15	2	60-64 (>5,000)	2,000-6,300	785-1,575
Li-ion Լի-իոն	Demo Ցուցադրական	7-40	1-10	1-4	75-92 (5,000)	1,250-11,000	800-2,150

Աղբյուրը՝ Rastler, *Electricity energy storage technology options*

Նկար 21. Բնակելի շենքերի համար նախատեսված մարտկոցների տեխնոլոգիաները, կազմված է 2010թ.:

### Flywheels

Flywheels operate by storing kinetic energy in a spinning rotor that is charged and discharged through a generator. Flywheels charge by drawing electricity from the grid to increase rotational speed, and discharge by generating electricity as the wheel's rotation slows.

Figure 22. Prototype of the Velkess energy-storage system that is an improved flywheel; it captures excess solar PV and stores it kinetically for use when supply is low or unavailable, such as at night

Source: "Velkess Energy Storage", accessed April 2014, [www.kickstarter.com/projects/1340066560/velkess-energy-storage](http://www.kickstarter.com/projects/1340066560/velkess-energy-storage)



Աղբյուրը՝ [www.kickstarter.com/projects/1340066560/velkess-energy-storage](http://www.kickstarter.com/projects/1340066560/velkess-energy-storage), 2014թ. ապրիլի դրությամբ

Նկար 22. Velkess Energy Storage /Էներգակուտակիչ/ համակարգի նախատիպը մի կատարելագործված թափանիվ է՝ նախատեսված ավելցուկ արևային ֆոտովոլտայիկ էներգիան որսալու համար, որը վերածվում է կինետիկ էներգիայի և օգտագործվում ցածր արևային լույսի կամ գիշերային ժամերին:

### Թափանիվներ

Թափանիվները կիրառվում են պտտվող ռոտորում կինետիկ էներգիան պահպանելու համար, որը լիցքավորվում և լիցքաթափվում է գեներատորի միջոցով: Թափանիվները լիցքավորվում են ցանցից վերցված էլեկտրաէներգիայի շնորհիվ պտտման արագությունը մեծացնելու միջոցով և լիցքաթափվում են էլեկտրաէներգիա արտադրելու ժամանակ, պտտման արագության դանդաղեցմանը զուգընթաց: Դրանց արձագանքման ժամանակը շատ կարճ է՝ 4 միլիվայրկյան կամ պակաս, կարող են լինել 100 կՎտ-ից մինչև 1,650 կՎտ և ներկայիս արտադրանքները հնարավորություն են տալիս դրանք կիրառել կարճ տևողությամբ՝ մինչև 1 ժ<sup>21</sup>: Թափանիվի տեխնոլոգիաներում կատարվող նոր ներդրումները, սակայն, հույսեր են ներշնչում, որ դրանք մեծ կիրառություն են ունենալու արևային ֆոտովոլտայիկ էներգիայի կուտակման համար (նկ. 22): Լիցքավորման համար հինգ ժամ կպահանջվի, որի ընթացքում հնարավոր կլինի կուտակել 15 կՎտժ էլեկտրաէներգիա, որը բավական է մեկ միջին տնային տնտեսության կարիքները մայրամուտից մինչև արշալույս բավարարելու համար<sup>22</sup>:

They have a very fast response time of 4 milliseconds or less, can be sized between 100 kW and 1,650 kW; with current technology, they may be used for short durations of up to 1 hour.<sup>21</sup> New investments in flywheel technology, however, have raised hopes of using it to store energy from solar PV (Figure 22). Charging takes five hours, which will store 15 kilowatt hours of power, enough to run a modest house from sunset to sunrise.<sup>22</sup>

Figure 23. Today, there are a number of batteries available in the market for residential use. (The pictures below are not to scale, so size comparisons between the units based on the images below should not be made)

Նկար 23. Այսօր շուկայում առկա են բնակելի հատվածի համար նախատեսված մարտկոցների տարբեր արտադրատեսակներ: (Ստորև բերված նկարներն իրական մասշտաբին չեն համապատասխանում և սարքերի չափերը մեկը մյուսի հետ չեն կարող համեմատվել:

Emergency power supply: A lithium-ion battery unit that can be mounted on walls. The unit is designed by Tesla and is being sold in the US by SolarCity, a rooftop PV panel installation company. With this system, a residential unit will be able to run basic lighting, a refrigerator, home security, and cell phone charging. ([www.solarcity.com/residential/energy-storage.aspx](http://www.solarcity.com/residential/energy-storage.aspx))



Վթարային էլեկտրամուցման սարք: Պատին տեղադրվող լիթիում-իոնային սարք է: Նախագծված է Տեսլայի, իսկ ԱՄՆ-ում վաճառվում է տանիքներին ֆոտովոլտային պանելներ տեղադրող SolarCity ընկերության կողմից: Այս համակարգով տանը կարելի է միացնել հիմնական լուսավորությունը, մեկ սառնարան, տան անվտանգության համակարգը և լիցքավորել բջջային հեռախոսը: ([www.solarcity.com/residential/energy-storage.aspx](http://www.solarcity.com/residential/energy-storage.aspx))

The Bosch Company from Germany has produced the BPT-S 5 Hybrid, lithium-ion batteries with storage capacity ranging from 4.4 to 13.2 kWh, depending on the model. The batteries are fully charged in one hour of sunshine. The battery can simultaneously supply major appliances, such as washing machines and ovens. The lifespan of the lithium-ion batteries used was calculated to be 7,000 charge and discharge cycles, giving an expected lifespan of at least 20 years. (<http://bosch-solar-storage.com/>)



Գերմանական «Բոշ» ընկերությունն արտադրել է BPT-S 5 Hybrid տեսակի լիթիում-իոնային մարտկոցներ 4.4-ից 13.2 կՎտժ կուտակման հզորությամբ՝ կախված մոդելից: Մարտկոցը լիարժեք լիցքավորվում է մեկ ժամվա արևի լույսից: Միաժամանակ կարող է աշխատեցնել հիմնական տեխնիկան՝ լվացքի մեքենան, ջեռոցները: Լիթիում-իոնային մարտկոցները կարող են լիցքավորվել և լիցքաթափվել 7,000 անգամ և ծառայել առնվազն 20 տարի: (<http://bosch-solar-storage.com/>)

NP Technologies offers the IPS Hybrid all Power System that can combine power from different energy sources such as the sun, wind, diesel generator and grid. The unused energy is saved in a battery for future use. The hybrid power system consists of AC and DC charge controllers, battery, a DC-AC inverter, and a micro-computer unit for monitoring and control. These units can be configured from 2 kW to 10 MW packages. At the higher end, they are for industrial and grid support uses; at lower capacities, they can be used for residential units or complexes. ([www.npttechnologies.co.in/ips-hybrid-all-power-system.htm](http://www.npttechnologies.co.in/ips-hybrid-all-power-system.htm))



NP Տեխնոլոգիան առաջարկում է IPS Hybrid all Power System-ը, որը կարող է համակցել տարբեր աղբյուրներից՝ արևից, քամուց, դիզելային գեներատորից, ցանցից ստացվող էներգիան: Ավելցուկ էներգիան կուտակվում է մարտկոցներում՝ հետագա օգտագործման համար: Հիբրիդային էներգահամակարգը բաղկացած է ԶԶ և ՓՅ լիցքավորման կարգավորիչից, մարտկոցից, ԶԶ-ՓՅ ինվերտորից և աշխատանքին հետևող ու հսկող միկրոհամակարգից: Սարքը կարող է հարմարեցվել 2 կՎտ-ից 10 ՄՎտ փաթեթով աշխատելու համար: Հզոր տարբերակով դրանք կիրառվում են արտադրությանը և ցանցերին օժանդակելու համար, իսկ փոքր հզորությամբ սարքը կարող է օգտագործվել բնակելի շենքերի կամ համալիրների համար: ([www.npttechnologies.co.in/ips-hybrid-all-power-system.htm](http://www.npttechnologies.co.in/ips-hybrid-all-power-system.htm))

<sup>21</sup> Rastler, *Electricity energy storage technology options.*

<sup>22</sup> Chris Nieder, "Turn Up the Juice: New Flywheel Raises Hopes for Energy Storage Breakthrough," *Scientific American*, April 10, 2013, [www.scientificamerican.com/article/new-flywheel-design/](http://www.scientificamerican.com/article/new-flywheel-design/)

## Reading List | Ընթերցանության կյութեր

Dan Rastler, *Electricity energy storage technology options: A white paper primer on applications, costs and benefits*, Palo Alto: Electric Power Research Institute, 2010.

Fariborz Haghighat, *State of the Art Review: Applying Energy Storage in Building of the Future*, Paris: International Energy Agency, 2013.

Energy Storage Association | Էներգիայի կուտակման միություն/ասոցիացիա  
<http://energystorage.org/>

International Energy Agency, Energy Conservation through Energy Storage | Միջազգային Էներգետիկ գործակալություն, Էներգախնայողությունը՝ Էներգիայի կուտակման միջոցով [www.iea-ec.es.org/energy-storage/storage-techniques.html](http://www.iea-ec.es.org/energy-storage/storage-techniques.html)

International Renewable Energy Storage Conference | Վերականգնվող Էներգիայի կուտակման միջազգային համաժողով <http://www.eurosolar.de/en/index.php/ires-conference-series>

Dan Rastler, *Electricity energy storage technology options: A white paper primer on applications, costs and benefits*, Palo Alto: Electric Power Research Institute, 2010.

Fariborz Haghighat, *State of the Art Review: Applying Energy Storage in Building of the Future*, Paris: International Energy Agency, 2013.

## Audiovisual Materials

Visit online sources for “energy storage in buildings”, “energy storage at the community level”, or “energy storage at the neighborhood level”.

As the field of energy storage is rapidly changing, students should search online sources frequently for updated information.

## Discussion Questions

1. What are the advantages of net metering?
2. What are challenges of net metering?
3. What are the advantages of on-site energy storage?
4. What are the disadvantages of on-site energy storage?
5. What technologies are available for heat storage? How would you decide which technology to use?
6. What technologies are available for electricity storage? How would you decide which technology to use?

## Տեսաձայնային կյութեր

Այցելեք առցանց ռեսուրսներ և գտեք «շենքերում Էներգիայի կուտակում», «Էներգիայի կուտակում համայնքներում» կամ «Էներգիայի կուտակում թաղամասում» առանցքային բառերով կյութեր:

Քանի որ Էներգիայի կուտակման ոլորտն արագորեն փոփոխվում է, ուսանողները պետք է հաճախ այցելեն առցանց ռեսուրսներ տրամադրված տեղեկություն ստանալու նպատակով:

## Հարցեր բանավեճերի համար

1. Որո՞նք են հաշվիչի ցուցմունքների փոխհաշվառման առավելությունները:
2. Որո՞նք են հաշվիչի ցուցմունքների փոխհաշվառման դժվարությունները:
3. Որո՞նք են տեղում Էներգիայի կուտակման առավելությունները:
4. Որո՞նք են տեղում Էներգիայի կուտակման թերությունները:
5. Ի՞նչ տեխնոլոգիաներ են կարող կիրառվել ջերմություն կուտակելու համար: Ինչպե՞ս կորոշեք, թե որ տեխնոլոգիան կիրառել:
6. Ի՞նչ տեխնոլոգիաներ են կարող կիրառվել էլեկտրականություն կուտակելու համար: Ինչպե՞ս կորոշեք, թե որ տեխնոլոգիան կիրառել: