

Ekološke hiše

Primož Skale

3. maj 2007

Povzetek

V zadnjih dvesto letih se je svetovna populacija povečala za dobre pet in pol milijarde ljudi. Posledica tega je večje izkoriščanje naravnih surovin in onesnaževanje okolja. V tem seminarju bodo predstavljene ekološke hiše, njihov način izgradnje, princip delovanja in kako lahko z izgradnjo ekološke hiše prispevamo k ohranjanju okolja.

1 Uvod

Pred 19. stoletjem so ljudje večinoma živeli na podeželju, le majhen del svetovne populacije je živel v mestih. Šele v začetku 21. stoletja je število prebivalcev mest preseglo število prebivalcev podeželja, katerega kmetijski presežki so omogočili nastanek in razvoj mest [1]. Ker se čedalje več ljudi odloča za bivanje v neposredni okolici večjih mest, tako bivanje zahteva večjo energetske porabo kot bivanje na podeželju. Energija in energetika sta bistvena dejavnika človekovega okolja, od katerih je odvisen naš življenjski in kulturni standard ter gospodarski razvoj [2]. Leta 1920 je v mestih živelo 360 milijonov prebivalcev, v začetku 21. stoletja pa že več kot 3 milijarde [1]. Letna stopnja rasti svetovne populacije je bila do sredine 18. stoletja 0.1%, v obdobju industrializacije, ko se je stopnja smrtnosti zmanjšala in kakovost življenja izboljšala glede na prejšnje razmere, je naraščanje prebivalstva skokovito naraslo [1]. Z nenehnim povečevanjem števila prebivalcev se je prav tako povečala poraba naravnih surovin (voda, les, premog, nafta, itd.) in občutno povečala tudi emisija toplogrednih plinov (npr. CO₂), ki pa ni naraščala linearno s povečanjem števila prebivalstva, temveč je bil prirastek večji [1].

Slovenija kar 3/4 energije uvaža [2]. Sem spadajo tekoča goriva in zemeljski plin, gorivo za jedrsko elektrarno in nekaj kakovostnega premoga. Razen zelo omejenih domačih hidroenergetskih virov in majhnega deleža premoga Slovenija ne premore lastnih energetske virov [2]. Zato je ključ prihodnosti ravno v obnovljivih virih. Tabela 1 prikazuje nekatere statistične podatke za zadnjih 50 let, ki veljajo za ves svet.

	1950	1970	1990	2000	Razmerje 2000/1950
Prebivalstvo (milijarde)	2.5	3.7	5.3	6.05	2.4
Mestno prebivalstvo (milijarde)	0.75	1.36	2.28	3.0	4.0
Pričakovana življ. doba (leta)	46.4	57.9	64.7	66.0	1.4
Poraba fosilnih goriv (tone)	1.67	6.51	7.15	7.65	4.6
Poraba vode (v km ³ /leto)	1360	2590	3240	5300	3.9
Proizvodnja žit (milijoni ton)	631	1096	1780	1855	2.9
Osebni avtomobili (milijoni)	53	194	445	520	9.8
Proizvodnja papirja (milijoni ton)	49	126	240	294	6.0
Emisije CO ₂ (milijarde ton)	5.9	15.0	21.0	23.1	3.9
Delež CO ₂ v izračju (ppm)	317	326	354	368	-

Tabela 1: Nekateri demografski, gospodarski in okoljski statistični podatki za obdobja let 1950, 1970, 1990 in 2000 [1].

V šestdesetih letih dvajsetega stoletja se je svetovna populacija začela zavdati vpliva na okolje, ki ga povzroča. Število prebivalcev je strmo naraščalo, pričakovana življenjska doba se je povečevala, emisije CO₂ in ostalih strupenih plinov so naraščale, ledeniki so pričeli izginevati, ljudje so umirali zaradi zastrupljenega okolja, zrak v mestih je postajal čedalje bolj strupen in zdravju nevaren, izumirale so živalske in rastlinske vrste. Leta 1972 so v Stockholmu prvič oblikovali prvi zakonodajo o ohranjanju okolja [3]. Od tistega časa naprej svet teži k izboljšanju izkoristka energetskih virov in razvoju novih metod za izkoriščanje obnovljivih virov (predvsem sončne energije).

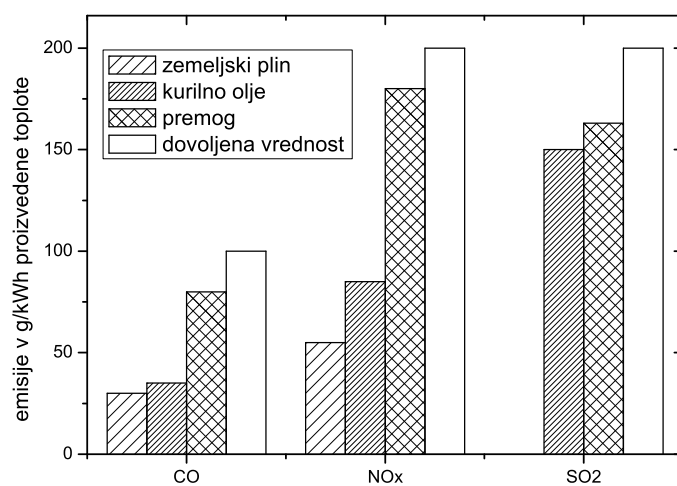
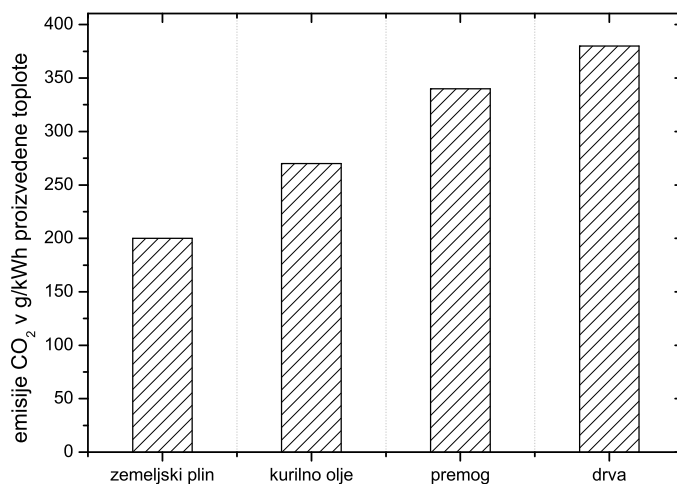
Vredno je omeniti rezultate študij, ki kažejo, da je izkoriščanje jedrske energije manj obremenjujoče za naravo, kot pa masovna proizvodnja solarne tehnologije [4]. Za isti energetski učinek bi pri proizvodnji solarne tehnologije porabili več vode in naravnih sredstev, ter v atmosfero izpustili večjo količino nevarnih plinov kot pa pri izgradnji jedrske elektrarne. Tudi jedrski odpadki, ki so reaktivni še od 300 do milijona let, niso nevarni za okolje, če je njihovo trajno skladiščenje pravilno načrtovano.

2 Vplivi na okolje

Vpliv človeštva na okolje je viden na vsakem koraku - zelene površine zamenjujejo betonske zgradbe in parkirišča, zrak v mestih je čedalje bolj nasičen s smogom, hrup je prisoten na vsakem koraku. Da bi razumeli, zakaj je gradnja ekoloških hiš smiselna, moramo najprej vedeti, v kolikšnem obsegu človekove dejavnosti škodljivo vplivajo na okolje. Ljudje 95% časa preživimo v zaprtih prostorih, zato je zaželena čim boljša kakovost bivalnih prostorov. Vsako leto se porabi približno 1/3 vseh energetskih virov, ki so na voljo, za gradnjo novih objektov in vzdrževanje že obstoječih. Ker energetski viri niso neomejeni se je v začetku prejšnjega stoletja začela gradnja t.i. ekoloških hiš [5], ki so pri svojem obratovanju čim manj obremenjevale naravo in naravne vire. V začetku devetdesetih let [6] pa so v Evropi pričeli z gradnjo pasivnih hiš, ki za shranjevanje prejete toplote uporabljajo zidove oz. dele hiše in to toploto postopoma spuščajo nazaj v prostor, ko je potrebna [7].

Povprečna enodružinska hiša, ki za ogrevanje uporablja kurilno olje, letno porabi približno 20 MWh energije za ogrevanje in s tem v zrak izpusti okoli 7 ton CO₂ [7]. Če je takih hiš po svetu od 0.5 do 1 milijarde, je letna poraba energije reda velikosti 10¹⁶ Wh in emisija CO₂ ustreza nekaj milijardam ton na leto [7]. Te ocene se ustrezno zvišajo, če upoštevamo še porabo toplotne in električne energije v industriji in prometu. Poraba energije in emisija strupenih plinov v ozračje v tem obsegu lahko povzročita segretje atmosfere za nekaj °C v 100 letih, kar lahko pripelje do neravnovesja v naravnih tokovih [8].

Fosilna goriva vsebujejo predvsem dva osnovna elementa: ogljik in vodik [2]. Vsebujejo pa prav tako še primese žvepla, dušika in mineralnih snovi, ki pri zgorevanju vplivajo na kakovost in hitrost gorenja. Zato je gorenje nepopolno in pri takem gorenju nastaja tudi ogljikov monoksid CO, dušikovi NO_x in žveplov oksidi SO_x (ali SO₂), nezgoreli ogljikovodiki, saje in mineralni ostanki - pepel [2]. Pojav izločanja plinastih produktov pri zgorevanju fosilnih goriv imenujemo emisija. Emisija plinov je lahko bodisi neškodljiva bodisi škodljiva. Slika 1 prikazuje emisije različnih stranskih produktov zgorevanja za zemeljski plin, kurilno olje, premog in drva.



Slika 1: **(zgoraj)** Emisije CO₂ v gramih na kWh proizvedene toplote za različne vrste goriv. Drva imajo največjo stopnjo emisij, medtem ko ima zemeljski plin najmanjšo. V zadnjem času se povečuje ravno črpanje zemeljskega plina. **(spodaj)** Dovoljene emisije različnih stranskih produktov za štiri vrste goriv. Vse vrednosti so pod dovoljeno vrednostjo [2].

Ogljikov monoksid CO se pri vdihavanju takoj poveže s hemoglobinom v karboksihemoglobin (COHb). Vrednosti okoli 5% COHb pri človeku vplivajo na vid in psihomotorične sposobnosti, vrednosti okoli 10% povzročajo vrtoglavico in glavobole, vrednosti nad 50% so pa lahko že smrtno nevarne. COHb se izloči z vdihavanjem svežega zraka, in sicer se vsebnost COHb v krvi prepolovi v cca. 3 – 4 urah [2].

Dušikovi oksidi NO_x ob prisotnosti sončnega sevanja reagirajo z ogljikovodiki v fotokemični smog, ki je zdravju škodljiv. Prav tako reagirajo z vodikovimi radikali (HO) in v atmosferi tvorijo dušikovo kislino, ki jo padavine izperejo. Rezultat takega delovanja so kisle padavine [2].

Pod vplivom sončnega sevanja v ozračju, kjer so prisotni dušikovi oksidi, različni hlapljivi ogljikovodiki, žveplov dioksid, itd., se sprožijo kemijske reakcije, katerih produkt so fotokemični oksidanti, med katerimi prevladuje ozon (O₃), ki z dušikovim oksidom reagira v dušikov dioksid. Ozon v troposferi je škodljiv tako ljudem kot rastlinam [2], vendar pa nas njegova prisotnost v višjih plasteh atmosfere ščiti pred sončnim sevanjem. Ozon v troposferi povzroča draženje sluznice v očeh, nosu in grlu, še posebej pa je nevaren pri vdihavanju. Povzroča kašelj in glavobol, ter lahko pri ekstremnih vsebnostih onesnaženja povzroči nadpovprečno umrljivost [2].

Čedalje večja prisotnost toplogrednih plinov v atmosferi, kamor spadajo predvsem vodna para, ogljikov dioksid (CO₂), metan, dušikovi oksidi, itd., močno povečuje učinek tople grede. Sončna svetloba, ki ustreza kratkim valovnim dolžinam preide skozi ozračje kljub prisotnosti toplogrednih plinov v atmosferi, vendar pa odbito dolgovalovno sevanje ne more v celoti skozi ozračje zaradi prisotnosti toplogrednih plinov in tako segreva molekule plinov v zraku. To lahko povzroči povečanje temperature ozračja in s tem neprijetne stranske učinke - tako za ljudi kot za vse svetovne žive organizme.

Sedaj ko smo vsaj deloma opravičili ekonomsko stran gradnje ekoloških hiš, si poglejmo, kako sta se razvoj in gradnja takih objektov pravzaprav pričela.

3 Začetki ekoloških hiš

Prve ekološke hiše so gradili že v začetku 20. stoletja [5]. Te hiše niso imele tehnologije, ki bi prejeto energijo shranila, temveč so bile grajene na način, da so prejeto energijo izkoristile na čim boljši način. Zgrajene so bile iz naravnih surovin, ki okolju in človeku niso nevarne. Arhitekturna oblika hiš se je razlikovala v odvisnosti od tega, kje je bila gradnja take eko-bio hiše izvedena. V večinoma hladnih podnebjih je bilo potrebno zadostiti ustreznemu naravnemu ogrevanju, v toplejših pa ustrezni ohladitvi. V ta namen so bile nekatere hiše pokrite s prstjo, da je bilo v njih poleti hladno, pozimi pa toplo (take hiše so bile npr. postavljene v Avstraliji, kjer so bili vzdrževalni stroški za 40 do 70 % nižji kot pri navadnih hišah [5]). Na Norveškem so napadli sneg puščali na strehah in ga nalagali k stenam, da so dosegli boljšo izolacijo in posledično manjšo izgubo toplote; verande hiš v Novi Mehiki imajo streho narejeno iz letvic, ki dajo senco (in s tem preprečujejo pregrevanje hiše) in omogočajo prezračevanje, ki je za počutje ljudi pomembno [5].

Omenili smo že, da se prostor za hišo od enega klimatskega področja do drugega spreminja. Glavni cilj je kar najbolje izrabiti vse naravne vire - drevesa, obliko pokrajine, lokalne vetrove in vodo - za toploto in zavetje ter na tak način

zmanjšati potrebo po umetnih oblikah ogrevanja, hlajenja in izolacije. Osnovno načelo pri gradnji ekoloških hiš (enako naj bi tipično veljalo tudi za drug tip gradenj, vendar temu ponavadi ni v celoti zadoščeno) je, da mora biti dom udoben, rabi naj kolikor je mogoče malo energije in naj bo v soglasju z naravo, ne pa v nasprotju z njo [5]. Dobro umeščen in energetsko učinkovit dom bo izkoristil naravne vire lokacije in ne bo potreboval toliko dodatne energije kot tisti, ki se ne ozira na okolje. S tem bodo tudi stroški vzdrževanja take gradnje manjši.

4 Solarna hiša

Toploto v stavbah lahko pridobivamo s solarnimi sistemi. Najbolj so razširjeni solarni sistemi, ki omogočajo pridobivanje toplote do temperature okoli $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2]. Večinoma z njimi ogrevamo sanitarno vodo, vodo za ogrevanje stavbe ter celo naselja. Solarni sistemi se pa ne uporabljajo le v namen ogrevanja stavb, temveč tudi za sušenje kmetijskih pridelkov in prezračevanje. Solarni sistemi so pomembni z okoljskega vidika, ker ne onesnažujejo okolja ter izkoriščajo obnovljive vire.

Osnovni model za solarno hišo je način, kako sonce ogreva planet: izžareva toploto in ogreva zemeljsko površino. Zemljina nagnjenost glede na ravnino tira, po katerem potuje Sonce, in njeno neprestano vrtenje okoli lastne osi povzročata, da se položaj Sonca na nebu spreminja tako med letom kot tudi čez dan. S tem se tudi spreminja jakost sončnega obsevanja, ki doseže zemljino površje, ter tudi čas obsevanja. Prav tako je količina prepuščene sončne energije odvisna od trenutnih vremenskih razmer. Žal se izkaže, da je ravno solarne energije v času ogrevalne sezone najmanj. V ta namen je potrebno prejeti energijo v času od pomladi do jeseni zajeti in jo shraniti za zimske dni [7].

Solarne hiše same po sebi prejete energije ne shranjujejo, temveč jo porabljajo čez dan kot je potrebno. Ker v zimskem času jakost prejete sončne energije pade [2], je potrebno vodo segrevati s pomočjo vroče vode iz ogrevalnega sistema ali s pomočjo elektrike. Četudi je jakost sončnega svetlobnega toka pozimi manjša, lahko vseeno določeni del stroškov pokrijemo z uporabo sončnih sistemov, saj nam vode ni potrebno v celoti ogrevati s pomočjo drugih virov energije.

4.1 Pretvorba sončne energije v električno, toplotno in kinetično energijo

Sončno energijo pretvorimo v električno energijo s pomočjo fotoefekta, ki se vrši v fotocelicah [7]. Proizvedeno električno energijo hranimo v akumulatorjih in jo porabljamo, ko jo le-ta potrebna. Izkoristki takih pretvorb se gibljejo okoli 10% za celice iz amorfne silicija in med 15 – 18% za celice iz kristalnega silicija. [7]. Pri maksimalni osvetljenosti takih sistemov pridobimo največ 180 W/m^2 [7]. Kljub nizkemu izkoristku takih sistemov so cene relativno visoke: približno 6 €/W .

Sončno energijo lahko pretvorimo tudi v toplotno. Skozi posebne kolektorje teče voda, ki jo sončna energija ogreva. Toplo vodo nato hranimo v hranilniku toplote [7]. Tako energijo lahko uporabimo za spremembo faznega stanja medija v hranilniku toplote in nato izkoriščamo sprostitvev latentne toplote. Taki sistemi delujejo najučinkovitejše, če so nameščeni z naklonom 25 do 45° (velja

za Slovenijo) in obrnjeni v smeri med jugom in jugozahodom [2]. Za vsak m^2 kolektorjev mora biti predvidena prostornina hranilnika med 50 in 70 litri [2]. Pri normalni porabi tople vode v bivalnih prostorih potrebujemo sprejemnike sončne energije s površino med 1.5 do 2 m^2 za vsako osebo [2]. Tipični solarni sistemi za pripravo tople vode v enodružinski stavbi imajo površino okoli 6 m^2 in prostornino hranilnika okoli 300 litrov [2].

Maksimalni izkoristki klasičnih vodnih kolektorjev so med 80 – 90% [7]. Takrat je temperatura prenosnega medija praktično enaka temperaturi okolice. Žal pa izkoristki hitro padejo na račun sevalnih izgub — ki jih zmanjšujemo s pomočjo selektivnih premazov —, če želimo višje temperature. Pri temperaturni razliki okrog 35 °C in polni osvetljenosti je realen izkoristek okoli 60%. V enotah energije to pomeni, da pridobimo okoli 650 W/ m^2 [7]. Cene takih sistemov se gibljejo med 0.3 do 0.5 €/W.

Sončno energijo pa lahko nenazadnje tudi pretvorimo v kinetično energijo. V solarnih dimnikih sončna svetloba segreje zrak, ki se začne zato dvigovati [7]. Kinetično energijo tako gibajočega se zraka lahko nato uporabimo kot motor za prezračevanje ali za pogon električnih generatorjev s katerimi pridobivamo električno energijo. Izkoristek solarnih dimnikov pri masovni proizvodnji energije, je ocenjen na 0.5% [9].

Pri solarni hiši delujejo štiri principi: žarčenje, zadrževanje, skladiščenje in kroženje [5]. Če je solarna hiša primerno izolirana (to je tudi pogoj za pasivno in aktivno hišo) in brez toplotnih mostov, vpija in zbira sončno energijo ter tako zadržuje toploto. V notranjosti se ta kopiči v stenah in tleh, termično gibanje pa pomaga pri kroženju. Najboljšo izrabo energije na tak način dosežemo ravno v dobro oblikovani hiši, ki je pokrita z zemljo [5].

Poznamo več načinov solarnega ogrevanja: pasivno in aktivno [5]. Pri pasivnem solarnem sistemu sonce ogreva notranjost hiše skozi okna oz. zimski vrt. Zgradba je oblikovana tako, da toploto skladišči, ponoči ali ob oblačnih dneh pa jo sprošča. Ponavadi se izkaže, da naravno termično gibanje zadošča, da toplota kroži po hiši [5]. V poletnem času moramo pregrevanje zimskih vrtov (drugo poimenovanje je tudi stekleniki [2]) preprečiti z zunanjimi senčili in prezračevanjem. Odprtine za naravno prezračevanje imajo tipično površino 1/5 površine zimskega vrta [2]. V krajih s celinskim podnebjem ima zimski vrt običajno dvojno zasteklenitev in nosilno konstrukcijo, na kateri pozimi ne pride do kondenzacije.

Pasivni sistemi potrebujejo malo (ali skoraj nič) vzdrževanja, saj ne vsebujejo mehanskih delov. Začetni inštalacijski stroški so razmeroma nizki in investicija se povrne v razmeroma kratkem času [5]. Bolj učinkovito in fleksibilno gretje in hlajenje (odvisno od podnebja) dosežemo z kombinacijo pasivnih in aktivnih sistemov.

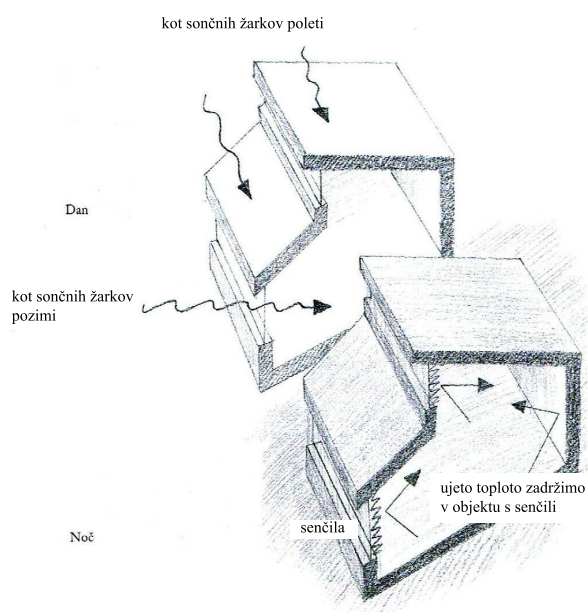
Aktivni sistemi temeljijo na mehanskih komponentah, kot so sončni kolektorji, ki vpijajo sončno energijo, jo skladiščijo v vodnih cisternah, kamnitih komorah in podobno. Shranjena toplota se nato s pomočjo ventilatorjev, črpalk in ventilov prenaša po ceveh in kanalih.

4.2 Glavni sistemi solarnih hiš

Glavni trije sistemi solarnih hiš so: *solarna okna*, *solarne stene* in *zimski vrtovi*.

Solarna okna

Solarna okna tvorijo najpreprostejši solarni sistem in omogočajo sončni energiji, da skozi okna obrnjena na sončno stran, prodre v notranjost hiše. Taka okna opravljajo nalogo kolektorjev, notranji gradbeni elementi pa postanejo zbiralniki toplote, ki jo oddajajo ponoči ali ob oblačnih dneh. Zaradi večje učinkovitosti morajo biti k soncu obrnjena okna večja od normalnih. Z vgradnjo strešnih oken ali lin pa lahko dosežemo, da svetloba prodre tudi v sicer senčne sobe (glej Dodatek). Vse steklene površine morajo biti dvojne ali celo trojne [5], v hladnih podnebjih pa je najbolje, da je tako steklo zatemnjeno, kar poveča absorpcijo sončne energije (slika 2).



Slika 2: Princip delovanja solarnih oken in skladiščenje prejete sončne toplote. Vpadni kot sončnih žarkov je poleti navpičnejši kot pozimi zato primerna izolacija strehe in senčenje oken pripomore k temu, da se notranji prostori poleti ne pregreva. Pozimi pa sončno toploto čez dan prepuščamo v prostore, kjer jo stene absorbirajo. Ponoči, ko se prostori ohladijo, se ta toplota sprošča nazaj v prostor, kjer jo zadržimo s senčenjem oken na notranji strani (zavese, rolete, itd.). Najbolje, da so okna, ki mejijo na sončno stran, večjih velikosti od normalnih in imajo vse površine dvojno ali trojno zastekljene in v hladnih podnebjih zatemnjene, kar poveča absorpcijo sončne energije [5].

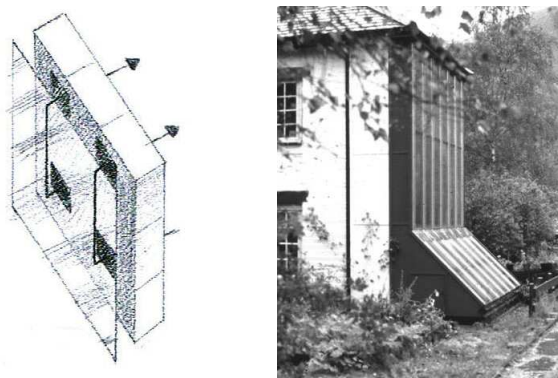
Sončna toplota se shranjuje v stenah. Najboljši materiali za shranjevanje so bele zidane stene ali betonska tla. Poleti lahko pregrevanje preprečimo s senčili: izolacijskimi zavesami, roletami in naoknicami. Celo rastline imajo dober učinek.

Solarne stene

Namesto da bi sončno energijo shranili v notranjih stenah in tleh, lahko uporabimo posebno termično steno na zunanji strani, pokrito s steklom [5]. Ko sončna energija pada na tako steno, se shranjuje in skozi odprtine v steni pasivno kroži po bivalnih prostorih.

Poznamo dve vrsti solarnih sten [5]: Trombove in vodne. Prve so imenovane po dr. Felixu Trombeju in so narejene iz težkih gradbenih materialov (opeka, kamen, zemlja). Zunanja stran je temno opleskana in zasteklena [2]. Toplota prehaja v bivalne prostore s časovnim zamikom glede na sončno sevanje. Časovni zamik uravnavamo z izbiro materialov in debelino zidu (med 20 in 40 cm [2]).

Pri vodnih stenah namesto zidov toploto skladiščijo vodni valji ali stebri [5]. Kot termični zbiralnik je voda bolj učinkovita od zidu, vendar je izjemno težka. Prav tako je potrebno redno vzdrževanje, saj drugače lahko voda izteka ali pa se pojavijo alge.



Slika 3: Trombova stena, ki s pomočjo odprtin podnevi shranjuje sončno toploto in jo ponoči oddaja [5].

Zimski vrtovi

Zimski vrt se uporablja za različne naloge. Lahko služi kot konzervatorij, sončna topla greda, solarij ali sončna soba. Prav tako je uporaben za bivanje, gojenje rastlin ali kot zbiralnik sončne toplote [5]. Oblikovanje zimskega vrta je odvisno od njegove primarne naloge, saj je takrat učinkovitost največja.

Zimski vrt deluje enako kot solarna okna. To je pretežno zasteklena soba, ki meji na sončno stran hiše. Čez dan zrak, ki ga ogreje sonce, priteka v hišo po poti naravne konvekcije (skozi odprta okna ali posebne odprtine). Če prostori niso namenjeni bivanju ali za toplo gredo jih ponoči zapremo in temperatura pade pod tisto v hiši [5].

Za uporabo zimskega vrta kot dodatnega nočnega grelca moramo poskrbeti za ustrezno termično shrambo in izolacijo zasteklitve. Toploto hranimo v težkih materialih, ki obdajajo zimski vrt, ali pa jo ventilatorji čez dan pošiljajo v toplotni zbiralnik. Pregrevanje zimskega vrta preprečimo enako kot pri uporabi solarnih oken.

Čeprav uporaba zimskih vrtov lahko pripomore k zmanjšanju vzdrževalnih stroškov, pa v zmernih podnebjih ti prihranki niso tolikšni, da bi upravičili drago montažo [5]. Cenejša so solarna okna in ustrezna izolacija.

Povečanje in zmanjšanje dnevne svetlobe

Primerna arhitekturna zasnova hiše tako, da čim bolj izkorišča dnevno svetlobo, zmanjša potrebo po dodatni energiji. Vsak dom se lahko tako priredi, da bo veliko bolj svetel in zato manj odvisen od umetne svetlobe. Seveda je količina dnevne svetlobe odvisna od lokacije in podnebja. V podnebjih, kjer je veliko dnevne svetlobe, je potrebno količino zmanjšati, zato sledeči napotki pridejo v poštev predvsem za področja z malo dnevne svetlobe ali za lokacije, kjer je veliko sence.

Obstaja več metod, s katerimi poskrbimo, da pride v prostore več svetlobe kot bi je sicer [5]:

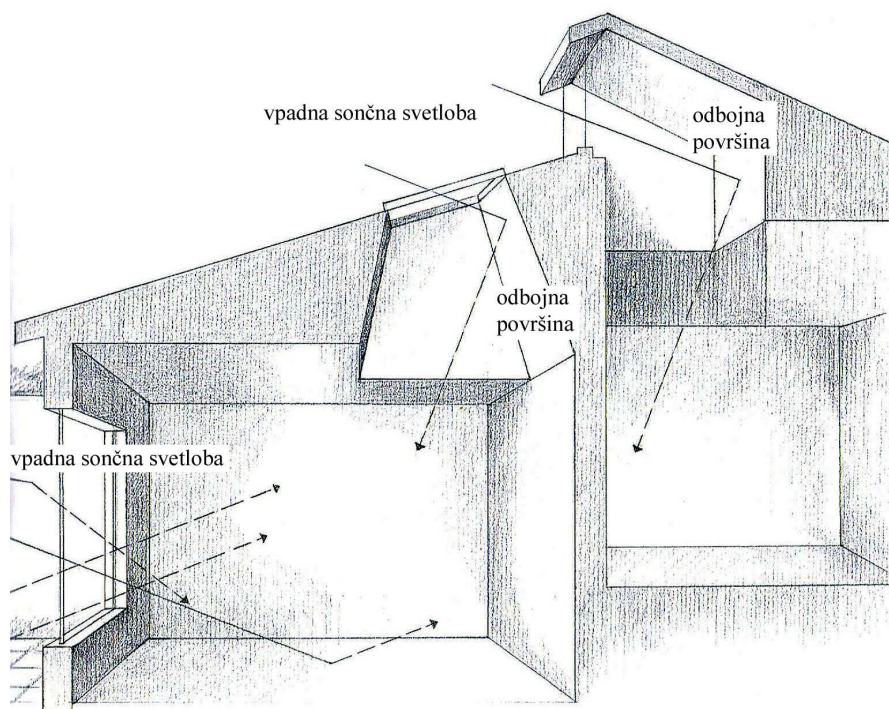
1. Prodor dnevne svetlobe v prostore povečamo z uporabo svetlih tlakov, svetlo pobarvanimi zidovi, z odstranitvijo drevja, grmičevja in plezalk na stenah. Seveda odstranitev rastlinja ne pride v poštev v vročih podnebjih, ker ravno te dajejo potrebno senco, ki skrbi, da se objekt ne pregreva.
2. Svetlobno ozadje povečajo tudi primerno postavljena ogledala znotraj prostora.
3. Vnos dnevne svetlobe se poveča s primerno oblikovanimi okvirji oken. Ti okvirji so poševni, in tako omogočajo prehod svetlobe iz večjih vpadnih kotov.
4. Okna naj bodo postavljena na primerni višini, da bodo čimbolj izkoristila kot vpadne dnevne svetlobe.

Največ vpadne svetlobe pride v zgradbo ravno skozi strešna okna in line. Svetlobo, ki prodre v objekt skozi strešna okna s primerno površino (npr. bele stene ali ogledala) usmerimo v notranjost zgradbe tako, da osvetlimo želena področja (slika 4). Količina vpadne svetlobe je odvisna od lege in usmeritve zgradbe.

5 Pasivna in aktivna hiša

Vsaka pasivna¹ hiša je v osnovi solarna hiša in vsaka aktivna hiša je v osnovi pasivna, vendar pa so kriteriji za pasivno in aktivno hišo bolj natančno določeni kot za solarno hišo [10]. Bistveni element glede zmanjševanja potrebo po toploti je visoka izolativnost zunanega ovoja zgradbe (t.j. zunanjih sten in oken). Toplotne prehodnosti sten in tal morajo biti pod $0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$, toplotne prehodnosti oken pa pod $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ [7, 10]. Da bi zadostili takim zahtevam, mora biti debelina izolacije na zunanji steni najmanj 25 cm in vsa okna morajo biti dvojno ali celo trojno zastekljena [7].

¹V nadaljevanju bomo govorili o pasivni hiši, kateri bomo postopoma dodajali elemente aktivne hiše. Prehod med pasivno in aktivno hišo ni popolnoma določen. Razlika je le v tem, da ima aktivna hiša prisotne tudi elemente, ki prejeta toploto lahko hranijo v ta namen grajenih hranilnikih toplote.



Slika 4: Potrebo po dodatni energiji lahko zmanjšamo z učinkovitejšo usmeritvijo dnevne svetlobe v zgradbo. Skozi strešna okna in line prodre največ dnevne svetlobe in to svetlobo s pomočjo primernih površin (ogledala, bele stene) usmerimo na želeno področja znotraj zgradbe. Tako v dele zgradbe prodre več svetlobe kot bi jo sicer. Količina vpadne dnevne svetlobe je odvisna od lege in usmeritve lokacije ter od tipa podnebja [5].

Navadno znašata toplotni prehodnosti sten in oken okoli $0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ in $0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ [7]. Pri enaki površini steklenih elementov in sten je toplotni tok skozi steklene površine 8-krat večji kot toplotni tok skozi stene. Izolacija sten bi v tem primeru imela zelo majhno vlogo pri varčevanju z energijo.

Zato pasivne hiše gradimo v razmerju $1 : 8$ [7], kar pomeni, da $1/8$ površine stavbe predstavljajo steklene površine, ostalo so stene, tla, stropi, itd. Na tak način dosežemo ravnovesje pri varčevanju z energijo. Seveda je še potrebno steklene površine orientirati na način, da bo izkoristek sončne energije maksimalen.

Tabela 2 prikazuje podatke, ki jim moramo zadostiti pri gradnji ekološke in pasivne hiše. Navedene so minimalne zahteve in zahteve, ki jih določa pasivna gradnja.

	minimalne zahteve	pasivna gradnja
Zunanje stene	$0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$
Streha, izoliran strop	$0.15 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0.12 \text{ W/m}^2\text{K}$
Okna - steklo	$0.75 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0.70 \text{ W/m}^2\text{K}$
Okna - okvir	$0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0.8 \text{ W/m}^2\text{K}$
Tla	$< 0.16 \text{ W/m}^2\text{K}$	$0.10 \text{ W/m}^2\text{K}$

Tabela 2: Zahteve toplotne prehodnosti nekaterih gradbenih elementov. Navedene so minimalne zahteve, ki še določajo ekološko hišo, ter zahteve, ki določajo pasivno hišo [10].

Poleg visoke izolativnosti je bistven element tudi zmanjšanje toplotnih mostov zaradi konstrukcijskih elementov v ovoju zgradbe. Pri gradnji pasivnih hiš se je potrebno kolikor je mogoče izogniti linijskim toplotnim mostovom, ko konstrukcijski element poteka preko celotnega preseka stene vzdolž daljše linije na zunanjem ovoju stene (npr. nepokrit nosilni steber) [7]. Če bi stavba vsebovala linijske toplotne mostove, lahko njihov učinek zmanjšamo s primerno rekonstrukcijo (slika 5).

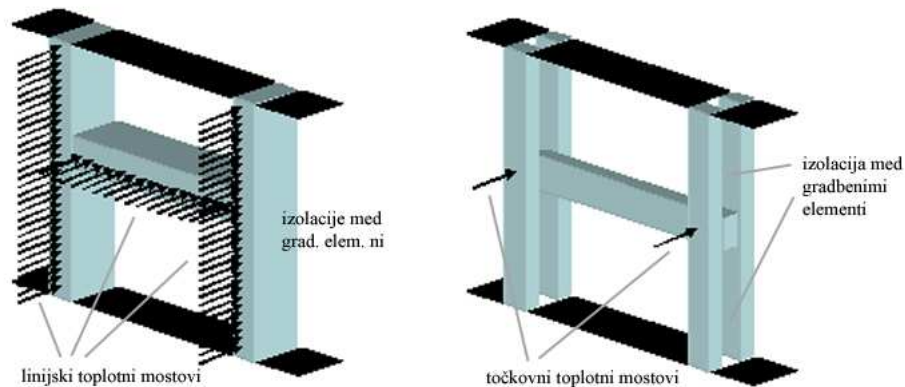
5.1 Optimiran pasivni zajem brez pregrevanja

Enako kot pri solarni hiši tudi pri pasivni hiši želimo čim boljše pasivno izkoriščanje solarne energije skozi zasteklene površine (solarna okna) v zimskem času in čim bolj učinkovito senčenje teh površin v poletnem času (senčila, izolacijske zavese, rastline, itd.).

Na zajem energije skozi steklene dele ovoja zgradbe vplivajo [7]:

1. velikost steklenih površin
2. orientacija steklenih površin glede na vpadno svetlobo
3. svetlobna prepustnost steklenih površin
4. senčenje steklenih površin s horizontom

Z večanjem steklenih površin povečujemo zajem sončne energije, vendar se hkrati tudi povečujejo izgube. V splošnem je priporočljivo povečevati tiste steklene površine, ki ne mejijo na sever, ter tiste, ki niso izpostavljene močnemu vetru.



Slika 5: Toplotni mostovi so posledica nepravilne konstrukcije stika med gradbenimi elementi. **(levo)** Konstrukcija z linijskimi toplotnimi mostovi. Če med gradbenimi elementi ni izolacije so toplotne izgube večje. **(desno)** Izboljšana konstrukcija s točkovnimi toplotnimi mostovi, kjer izolacija med gradbenimi elementi preprečuje nastanek linijskih toplotnih mostov in s tem zmanjša toplotne izgube. V vsakem primeru je najbolje, da se celotna konstrukcija obleče v izolativen material. Najboljšo učinkovitost gradnje pasivnih standardov dosežemo s sodelovanjem med arhitektom in statikom [7].

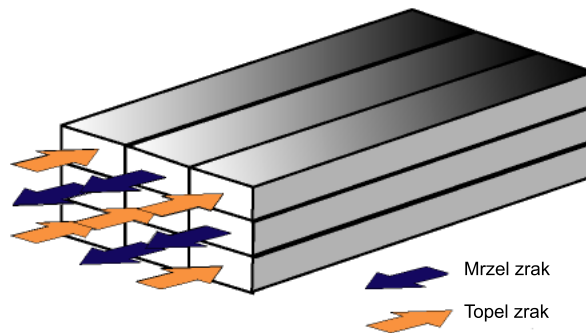
5.2 Prezračevanje z rekuperacijo

Da bi dosegli visoko izoliranost pasivne gradnje, moramo poskrbeti za dobro zrakotesnost zgradbe. Spoje sten lahko tudi lepimo, da dosežemo boljše tesnost. Meritve kažejo, da če tesnosti ni zadoščeno v zadostni meri, se pri 100 m^2 veliki gradnji zaradi konvekcije izgubi približno 4 MWh energije na leto [7].

V primeru zrakotesne izvedbe je potrebno poskrbeti za dotok svežega zraka preko prezračevalnih kanalov. Konstantno nizko prezračevanje je bolj učinkovito od trenutnih masivnih prezračevanj, saj prvi način bolj preprečuje nastanek vlage in plesni.

Rekuperator je kovinska kocka majhnih dimenzij, v kateri se križajo tanki kovinski kanali vstopnega in izstopnega zraka (slika 6). Zrak se v rekuperatorju ne meša. Izkoristek rekuperatorja je do 70% [7] in je cenovno ugoden. Z rekuperatorjem se dovodni kanal za svež zrak razdeli na kanale, ki dovajajo zrak v posamezne prostore hiše. Vsi odvodni kanali se nato zberejo in usmerijo odpadni zrak v (isti) rekuperator. Na tak način dosežemo nemoteno kroženje zraka po zgradbi.

Količina izmenjanega zraka mora biti najmanj $20 \text{ m}^3/\text{osebo}/\text{h}$ [7]. Poraba toplote prezračevalnega sistema brez uporabe rekuperatorja znaša okoli 4.5 MWh , z rekuperatorjem pa okoli 1.5 MWh . Pri pretoku $80 \text{ m}^3/\text{h}$ zraka skozi kanale preseka 200 cm^2 znaša hitrost zračnega toka $\sim 1 \text{ m/s}$ [7].



Slika 6: Shematski prikaz rekuperatorja. Izstopajoči topli odpadni zrak teče skozi tanke kovinske kanale ter preko toplotno prevodnih sten odda toploto vstopajočemu svežemu hladnemu zraku, ki se zato segreje. S tem prihranimo nepotrebno energijo, ki bi jo porabili pri segrevanju hladnega zraka [12].

5.3 Sistem talnega ogrevanja

Aktivne hiše prejeto toploto shranijo v toplotne hranilnike. Prav zaradi shranjevanja toplote v nizkotemperaturnem toplotnem hranilniku je sistem talnega ogrevanja najbolj primeren (enako tudi sistem stenskega ogrevanja). Zaradi nižjih temperatur grelnega medija so potrebne večje površine - oz. manjše moči.

Bistvene lastnosti talnega ogrevanja so [7]:

1. izjemno nizka temperatura ogrevalnega medija zaradi nizkih toplotnih izgub, velikih površin (t.j. manjših specifičnih moči)
2. sistem talnega ogrevanja je idealen v povezavi s solarnimi sistemi
3. nizki pretoki zaradi nizkih potrebnih moči - posledično so potrebne majhne črpalke.
4. samoregulativnost - nenadne hitre spremembe v temperaturi okolice (npr. v kuhinji) ne povzročijo pregretja prostorov, saj sistem talnega ogrevanja takrat oddaja manj toplote
5. sistem talnega ogrevanja sestavljajo zanke čimbolj enakih dolžin
6. moč zanke se prilagaja glede na debelino poda
7. zanke talnega gretja lahko uporabimo tudi za gretje dohodnega svežega zraka, ki priteka preko rekuperatorja
8. razmerja posameznih moči zank se izvaja preko ventilov
9. regulacija talnega ogrevanja se izvaja glede na razliko zunanje in notranje temperature ali glede na dnevni cikel

Specifične toplotne izgube talnega gretja (kjer so vključene tudi potrebe po ogrevanju zraka v prezračevalnem sistemu za rekuperatorjem) so okoli 45 kWh/m²/leto [7].

5.4 Sistem ogrevanja sanitarne vode

V primerjavi s sistemom talnega ogrevanja sistem ogrevanja sanitarne vode potrebuje večje delovne moči, saj so potrebe po topli sanitarni vodi časovno lokalizirane (zelo neenakomerni intervali potreb). Pri talnem ogrevanju želimo konstantno temperaturo (ki ni primerljiva s temperaturo sanitarne vode) vode skozi ves dan, zato so delovne moči manjše.

Sanitarno vodo je potrebno vsaj enkrat tedensko ogreti nad 60°C [7] zaradi nevarnosti okužbe vode, ne glede na dejanske potrebe po topli vodi. Neenakomerni intervali potreb po sanitarni vodi zahtevajo vgradnjo manjšega hranilnika (*buffer*), ki blaži sunkovito potrebo po toploti in omogoča zmernejše pogoje obratovanja sekundarnim izmenjevalcem, ki toploto črpajo iz toplotnega hranilnika v sistem ogrevanja sanitarne vode.

V manjši hranilnik vgradimo električni grelec, ki skrbi, da je manjši del vode vedno ogret na želeno temperaturo. Večjim potrebam po topli vodi zadostimo tako, da postopoma ogrevamo manjšo količino vode, ki je že v večjem toplotnem hranilniku, vendar pri nižji temperaturi od zelene (zato lahko med porabo vode posledično prihaja do temperaturnih nihanj).

Realna poraba sanitarne vode pri temperaturi 55°C znaša okoli 200 l/dan. Energijske potrebe za ogrevanje sanitarne vode znašajo letno okoli 3.8 MWh [7].

5.5 Toplotni hranilnik

Toplotni hranilnik je v aktivnih hišah potreben, saj omogoča shranjevanje toplote za dni, ko količinskim potrebam po energiji ni zadoščeno. Velikost toplotnega hranilnika je odvisna od količine toplote, ki jo želimo shraniti in od izkoristka primarnega sistema. Moč primarnega sistema je posledično odvisna od površine kolektorjev, pretoka, temperaturnih gradientov ter sheme kontrolne logike. Pri načrtovanju velikosti hranilnika moramo upoštevati tudi njegove izolacijske lastnosti ter dinamiko črpanja toplote.

Količina shranjene toplote je sorazmerna prostornini hranilnika pri konstantni začetni in končni temperaturi. Izgube toplote so sorazmerne s površino hranilnika ter s toplotno prehodnostjo sten hranilnika. Količina, ki je torej na voljo za kritje toplotnih potreb, je sorazmerna razliki shranjene toplote in toplotnih izgub:

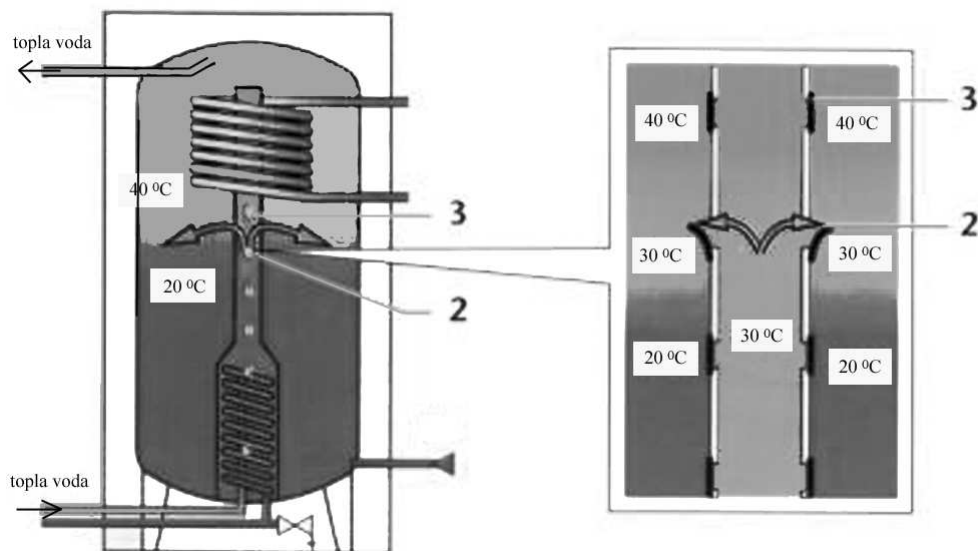
$$Q_{\text{na voljo}} = Q_{\text{shranjena}} - Q_{\text{izgube}} \quad (1)$$

Največji problem pri načrtovanju toplotnih hranilnikov predstavlja prenos toplote v in iz hranilnika ter tudi znotraj samega hranilnika. Kako učinkovit je prenos toplote vpliva na izkoristke hranjenja in črpanja toplote.

V toplotnih hranilnikih se pojavi tudi nelinearen prenos toplote s konvekcijo, t.i. Rayleigh-Bénardova konvekcija [7, 11], ki povzroči nepravilno mešanje tople in hladne vode (slika 7). Voda, ki se nahaja med dvema vzporednima površinama, se ob primerno velikem $\delta\tau$ začne mešati v lateralni smeri. Voda se zmeša na višini nekaj Rayleigh-Bénardovih konvekcijskih con, ki so v primeru toplotne moči reda nekaj kW velike okoli 10 cm [7, 11].

Ko topla voda vstopi v hranilnik iz spodnje strani se zaradi Rayleigh-Bénardove konvekcije premeša le v spodnjem delu hranilnika. To povzroči neenakomerno

porazdelitev tople vode v hranilniku. S termosifonskimi stolpi pa toplo vodo najprej usmerimo v zgornji del hranilnika, kjer se premeša z že toplo vodo. Toplo vodo z zgornjega dela hranilnika nato vodimo v preostali sistem.



Slika 7: Nezaželeno mešanje hladnejše in toplejše vode zaradi Rayleigh-Bénardove konvekcije znotraj toplotnega hranilnika preprečimo s termosifonskimi stolpi, ki toplejšo vodo usmerijo v zgornje plasti hranilnika. [7].

Toplotni hranilniki toplote delujejo v temperaturnem območju med 20 in 80°C. Za učinkovito hranjenje toplote mora biti prehodnost sten hranilnika pod 0.07 W/m²K, kar ustreza približno debelini izolatorja 60 cm z prevodnostjo 0.045 W/mK. Izkoristki toplotnih hranilnikov so visoki in znašajo ob optimalnem delovanju okoli 70%. Toplotna kapaciteta znaša med 55 in 110 kWh/K. Odvisno od oblike hranilnika znaša količina shranjene toplote med 3 in 7 MWh, kjer so toplotne izgube hranilnika velikosti okoli 2 MWh.

6 Zaključek

V seminarju so bile v uvodu in vplivih na okolje predstavljene problematike, ki smo jim priča v 21. stoletju. Sem spadajo čedalje večje zahteve po energiji, ki naraščajo iz leta v leto. Gradnja ekoloških hiš, ki večino svojih energijskih potreb (v večjem delu energijskih potreb za ogrevanje) prejmejo iz obnovljivih virov, lahko pripomore k zmanjšanju svetovne potrebe po energiji in ohranjanju okolja za prihodnje rodove.

Ceprav je gradnja ekološke hiše ekonomsko dražja od nizkoenergijske hiše, študije kažejo, da se na dolgi rok gradnja izplača. Ekološke hiše imajo dodane elemente, ki prejeta energijo shranijo na ustrezen način in jo vračajo v okolje, ko je le-ta potrebna. To dosežemo z debelejšo izolacijo ter dobro zrakotesnostjo

gradnje. Vendar pa na tak način prav tako izgubimo nekaj prejete toplote, saj je potrebno poskrbeti za dobro kontrolirano prezračevanje, ki je pomembno za dobro počutje stanovalcev.

Literatura

- [1] D. Plut, *Mesta in sonaravni razvoj* (Znanstvenoraziskovalni inštitut Filozofske fakultete, Ljubljana, 2006).
- [2] P. Novak in S. Medved, *Energija in okolje: izbira virov in tehnologij za manjše obremenjevanje okolja* (Svet za varstvo okolja Republike Slovenije, Ljubljana, 2000).
- [3] A. Pribaković Borštnik, M. Zornik in T. Žagar, *Odgovorno okoljsko delovanje: Sistemi ravnanja z okoljem* (Slovenski inštitut za kakovost in meroslovje, Ljubljana, 2004).
- [4] dr. M. Ravnik, *ustno*, 2003
- [5] D. Pearson, *Eko-Bio hiša* (DZS, Ljubljana, 1994).
- [6] http://www.passivhaustagung.de/Passive_House_E/Examples_passive_houses.html
- [7] dr. J. Štrancar, http://www.ijs.si/ijs/dept/epr/projekt_slo.htm
- [8] A. Gore, *Na poti k ravnovesju* (Inštitut za ekološke alternative, Bohinj, 1994).
- [9] http://en.wikipedia.org/wiki/Solar_updraft_tower
- [10] *Osnovni kriteriji za načrtovanje pasivnih hiš*, <http://www.arhem.si>
- [11] K. Thorne, *Applications of Classical Physics: Convection* (Chapter 17, Academic Year 2004-2005); <http://www.pma.caltech.edu/Courses/ph136/yr2002/chap17/0217.1.pdf>
- [12] <http://mech-server.mech.kyoto-u.ac.jp/lab/yoshida/b4intro/kumagai/recuperator.bmp>