

Sve se vrti oko sunca

Pasivna solarna kuća zasniva se na principima koji su poštovani još u antičko doba. Današ je naglasak na riječi pasivno, što u praksi znači da toplinske potrebe kuće treba zadovoljiti bez trošenja ogrjeva, samo hvatanjem sunčeve topline i promišljenim iskorištenjem toplijeg ili hladnjeg zračnog strujanja. Unatoč dugogodišnjim nastojanjima pojedinaca takva gradnja nije u nas pustila korijene. No, zato su tu dobri njemački i austrijski primjeri za koje već godinama postoje i norme. Naprimjer, samo arhitekt Josef Kiraly kojega neki nazivaju i kraljem sunca, projektirao je u toj zahtjevnoj kategoriji stotine kuća...

Foto: Josef Kiraly



U solarnom graditeljstvu glavni je cilj što dublje osunčati unutrašnje prostorije, osobito tijekom zime. Time se bitno poboljšava kvaliteta stanovanja i osjećaj ugode. Psihološki učinak suncem obasjanog prostora gotovo je nemjerljiv jer svijetle sobe djeluju stimulirajuće, bude životnu radost i veselje.

Kao što je biljkama sunce najvažniji izvor energije tako je i osunčana kuća izvor snage za punjenje životnih baterija. Kvaliteta dnevnog svjetla i ritam svjetlo-tama odlučujuće utječe na ljudski organizam i opću aktivnost.

Zato se sunčeva energija može najbolje iskoristiti samo u pravilno projektiranoj solarnoj kući, gdje dominira zimski vrt kao glavni motor svih mikroklimatskih promjena u zatvorenom sustavu dobro izolirane zgrade.

U Njemačkoj se od 1996. godine, u okviru državnog poticanja kvalitetnijeg i energetski racionalnijeg stanovanja, intenzivno podupire gradnja niskoenergetskih kuća. Stalnim pooštravanjem normi, poticanjem primjene novih materijala i tehničkih rješenja popravlja se kvaliteta građevina i smanjuje potrošnja energije po jedinici stambene površine.

S dobrom toplinskom izolacijom i pažljivom izvedbom svih detalja godišnja se potrošnja može smanjiti sa 70 na 30 kWh/m.

Ti izvanredni rezultati postignuti su ponajprije

modernizacijom prozora i staklenih vrata povoljnijim prolazom topline ($U < 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$) te dodatnom toplinskom izolacijom vanjskih zidova u debljini od najmanje 15 cm.

Energetskoj učinkovitosti prilagođeno je i planiranje - zgrade su kompaktnije, sa što manje izloženih površina. Pri izvedbi se posebno zaštićuju kritična mesta - podrum, spoj podruma i zidova, pojas uzduž strehe, krov, zabati i razne istake.

U niskonergetskoj kući potrošnja energenata za zagrijavanje stambenog prostora svedena je na minimum, no ipak je nužno zagrijavati sanitarnu vodu. Stoga se u dobro izoliranoj niskoenergetskoj kući vrlo djelotvorno primjenjuju razni alternativni sustavi - vodeni solarni kolektori, izmjenjivači topline, toplinske pumpe...

Iako su niskenergetske kuće građene klasičnim graditeljskim metodama i materijalima - u cijelosti i u detaljima - bitno su kvalitetnije od uobičajene gradnje.

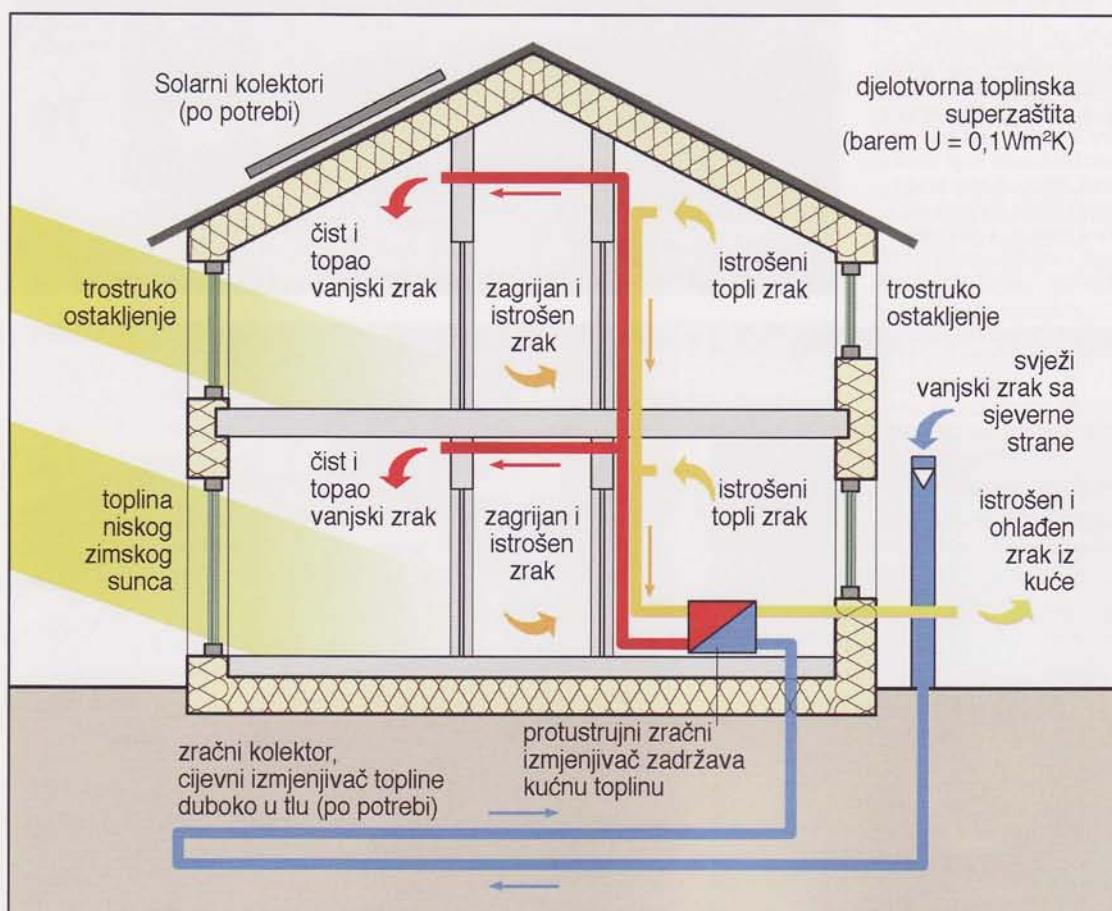
Energetski takve kuće nisu potpuno neovisne, pa svi pokušaji primjene modernijeg koncepta nemaju ekonomsko opravdanje. U Europi se mnoge kuće, pa i cijeli gradski blokovi i naselja, postupnim saniranjem pretvaraju najprije u niskoenergetske i zdrave objekte, a tamo gdje je moguće, dodatno se prilagođuju i modelu pasivne gradnje.



Foto: Josef Kiraly



Kiralyeva solarna pasivna kuća sa staklenom južnom fasadom i sustavom zračnih podzemnih kolektora ostvarila je tijekom godina sva očekivanja. Trostruko ostakljenje velikih ploha uspješno je čuva od vanjskih utjecaja, podjednako ljeti i zimi.



Da bi solarna ili niskoenergetска kuća dobila status pasivne, mora zadovoljiti određene normirane uvjete.

Prije svega, to znači da bez loženja i ogrjeva mora sačuvati toliko topline da joj godišnje toplinske potrebe ne premaže 15 kWh po četvornom metru zatvorene i izolirane površine. Prema popularnoj usporedbi, potrošnja energije ne bi smjela premašiti 1,5 litara loživog ulja po četvornom metru vanjske ljeske.

A to zahtijeva vrhunsku toplinsku zaštitu, promišljenu organizaciju prostora i nekoliko originalnih tehničkih rješenja neovisnih o ogrjevu. U tomu je ključnu ulogu dobio sustav ventilacije dubokim podzemnim kolektorom u kojem se zrak ljeti hlađi, a zimi grijije. Dakako, tu su trostruki prozori i toplinska zaštita od najmanje 20 cm.

Za optimalnu solarnu kuću treba vješto složiti mnoge kockice mozaika.

Maksimalni toplinski dobici:

- **lokacija, okolina, smjer vjetra**
- **strane svijeta, sjene, susjedne zgrade, stabla**
- **čuvanje topline, minimalne temperaturne oscilacije**
- **zaštita od sunca, sjenila, bez pregrijavanja**
- **solarni dobici, prozori, staklenik, solarni zidovi**
- **nepropusnost vanjske ljeske, ulaz s pretkomorom**
- **toplinska izolacija**
 $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$

Minimalni toplinski gubici:

- **kompaktan oblik, volumen i prozirne površine za upijanje topline**
- **zrakonepropusnost**
- **bez toplinskih mostova**
- **zoniranje prostorija unutar zgrade, odvajanje stambenih od ostalih prostorija**
- **grijanje - prozračivanje, centralni sustav s povratom topline**
- **moguće predgrijavanje, peć na pelete**

Ipak, uza sve spektakularne uštede u odnosu na klasičnu kuću, godišnji pogonski troškovi ne mogu osigurati kraću i isplativiju amortizaciju isključivo na osnovi vrhunskog energetskog učinka.

Kako biste to postigli treba vam prava pasivna kuća, podignuta iz temelja, koja oblikom, izborom materijala, konstrukcijom, unutrašnjom organizacijom prostora i instalacija omogućuje potpunu energetsku neovisnost, od temelja do krova.

U pasivnoj kući nema grijanja u klasičnom smislu. Tu se iskoristi svaki izvor topline, pa i žarulje, a cijela je kuća orijentirana prema suncu kako bi zagrabila što više energije iz tog najjeftinijeg i najpouzdanijeg izvora.

Uspješnoj gradnji takvih objekata najviše je pridonio razvoj troslojnog izolacijskog ostakljivanja ($U < 0,4 \text{ W/m}^2\text{K}$) koje je potpuno promjenilo razmišljanje o kući kao objektu koji isključivo gubi toplinu, pa sve napore treba usmjeriti na usporavanje njenog bijega. Današnji superprozori namijenjeni pasivnim kućama imaju

najčešće trostruko ostakljjenje, plemeniti plin između stakala, reflektirajuće slojeve za razne valne duljine sunčevog zračenja - sve u svemu, pravi *high-tech*. Stoga ne čudi da se iza takvog stakla u hladnoj zimi temperatura nikad ne spušta ispod 17 °C.

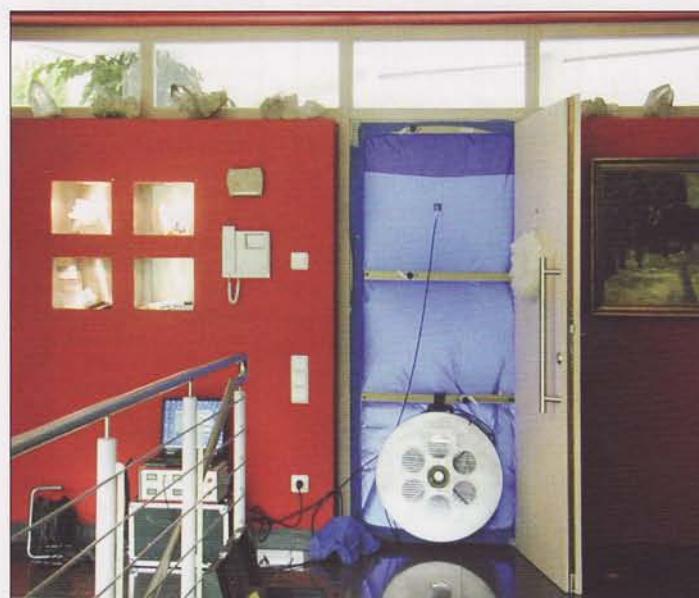
Troslojnim ostakljjenjem kompletнog južnog pročelja pasivna kuća djelotvorno skuplja toplinu iskorištenjem izravnog i difuznog sunčevog zračenja.

Tijekom zimske sezone u pasivnoj je kući to sasvim dovoljno za zagrijavanje cijelog volumena. Dakako, svi prozori i sve zastakljene površine moraju tijekom dana biti izložene suncu, bez ikakvog zasjenjenja. Primjenjuje se pravilo kao za solartermijske kolektore i fotonaponske panele - zimi, kad je sunce najniže, iz južnog smjera ne smije biti nikakvih sjena od vazdazelenog raslinja...

U rasporedu prostorija treba predvidjeti *temperaturno zoniranje* kojim se smanjuju temperaturne razlike između susjednih volumena.

DESNO: Umjesto žbukom, na ovoj je solarnoj kući južni zid prekriven fotonaponskim panelima koji daju struju za visoku autonomiju cijelog sustava. Tu mogu biti i solarni kolektori za pripremu tople vode.

DOLJE: Energetska učinkovitost kuće ovisi o nepropusnosti vanjske ljeske. Stoga je obvezan tzv. blower-test s ventilatorom koji utiskuje zrak kroz ulazna vrata prekrivena folijom. Pod takvim uvjetima radi i zračni izmjerenjavač topline u podrumu kuće.



Stoga kuću treba projektirati s tzv. *tampon-zonama* koje čine postupni prijelaz između hladnoga vanjskog prostora i najbolje zagrijanih prostorija u središnjem dijelu kuće. Prostorije kojima je u svakodnevnom funkcioniranju kuće namijenjena sporedna funkcija postavljaju se na sjevernu stranu, a prozori u pojačano izoliranom sjevernom zidu moraju biti što manji.

I raspored ostalih prostorija treba prilagoditi prirodnom gibanju sunca od istoka do zapada, pa njihov raspored odgovara svakodnevnim aktivnostima ukućana i slijedi crtu sjeveroistok - jugozapad.

Staklenik, zimski vrt i ostakljene prostorije koje hvataju sunčevu toplinu nalaze se u vanjskoj kućnoj zoni i treba ih pretvoriti u prostor koji pribavlja toplinu. Zato su staklene površine isključivo okrenute prema jugu.

Istodobno zgrada mora biti što kompaktnija, bez razvedenih krila, prigradnji, masivnih neizoliranih balkona i sl.

Izborom materijala i dosljedno provedenim konstrukcijskim rješenjima treba oblikovati vjetronepropusnu vanjsku lјusku s koeficijentom prolaza topline od $U = 0,1 \text{ W/m K}$.

Dakako, u takvoj konstrukciji ne smije biti nikakvih toplinskih mostova.

Koncept zahtijeva dobro promišljanje, stručno projektiranje i izvedbu, ali i veću početnu investiciju u opremu i strukturu zgrade. Naime, umjesto običnog, slabo ili prosječno izoliranog vanjskog zida, pasivna kuća zahtijeva toplinski bitno kvalitetniji zid.

Pri usporedbi novogradnji, razlika se uglavnom svodi na debљinu izolatora i pažljiviju izvedbu, što je dostupno i prosječnom investitoru - pod uvjetom



Staklenik na južnom pročelju prikuplja sunčevu toplinu, a zagrijani se zrak raspršuje kroz cijelu kuću.

Unatoč trostrukom staklu, nisko zimsko sunce daje iznenadujuće mnogo topline. Ljeti je taj dio kuće u hladu jer ga zaklanja široka streha pa sredinom dana sunce zahvaća samo vanjski rub zimskog vrta. Osim toga gornja se stakla mogu otvoriti pa višak pregrijanog zraka odmah izlazi u otvoreni prostor.

Kako je kuća opremljena ventilacijskim sustavom koji zrak iz hladovite sjene na sjevernoj strani upuhuje u kuću, ljeti je staklenik posljednja prostorija u nizu iz koje zrak ponovno izlazi u vanjski prostor. Time je izbjegnuto ljetno pregrijavanje zimskog vrta.

Sustav kontrolirane izmjene zraka pri kojoj se u jednom danu izmjeni od 0,6 do 2,5 ukupnog zračnog volumena (ovisno o broju stanara, namjeni, aktivnostima) može raditi s jednim ili dva ventilatora kojima snaga ne premašuje 100 W. A to je danas vrlo lako povezati s nekim tipskim kompletom fotonaponskih panela za proizvodnju struje iz dnevnog svjetla.

Foto: Josef Kiraly



DOLJE: Izrada podzemnog zračnog kolektora uklapa se u zemljane radove pri iskopavanju podruma i uređenju zemljišta. Rovokopači i bageri ionako moraju na gradilište pa taj dodatni zahvat nije preskup. Jednom ukopane cijevi ne treba servisirati, a pri nužnom povremenom čišćenju i ispiranju ne treba ih otkapati. Riječ je o sustavu cijev-u-cijevi gdje rebrasti vanjski omotač zaštićuje vrlo glatke savitljive cijevi za zrak.



Pasivni sustav prozračivanja ukopava se na dubinu od najmanje 2 metra, gdje i ljeti i zimi vladaju podjednake temperature.



Nadzemni je usis gustim mrežama dobro zaštićen od insekata, a posebni G4-filtri sprečavaju i ulaz prašine. Sve je dostupno...

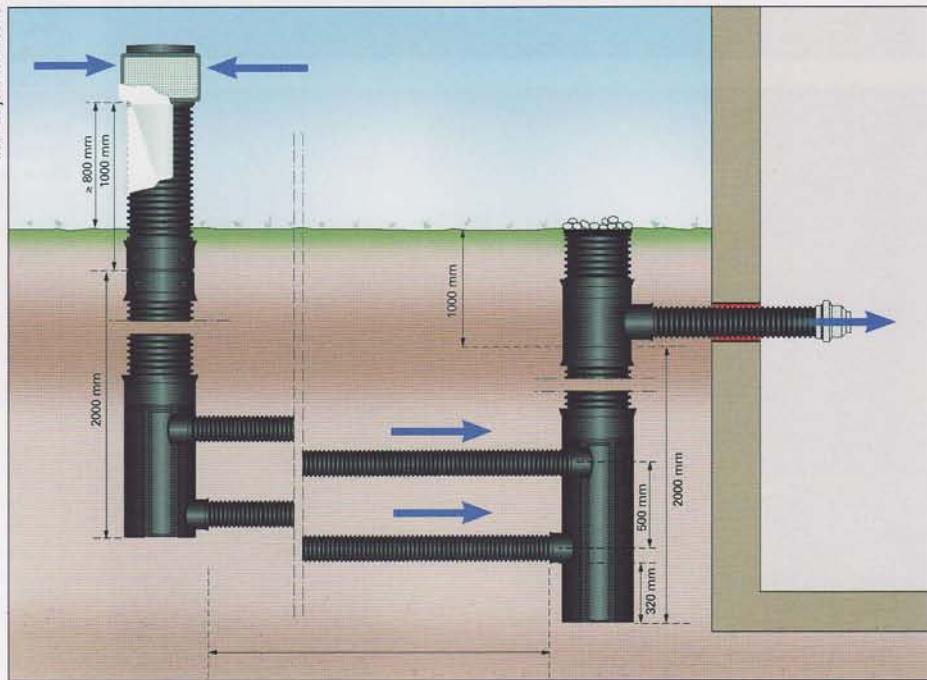


... pa kontrola i izmjena filtra ne zahtjeva više od nekoliko minuta. Brzina zraka u cijevima uglavnom je oko 1 m u sekundi.



Ilustracije: Fränkische

Kako je Fränkische tvrtka koja se proslavila modularnim drenažnim sustavima, oprema za podzemne zračne kolektore samo im je inovativno unapređenje prokušanog proizvoda... Unutar nepropusnih rebrastih cijevi otpornih na sve kemikalije iz tla provučene su specijalne savitljive i glatke polietilenske cijevi. Promjer im je 20 cm, a vertikalnih šahtova 40 cm. Za obiteljsku kuću treba oko 100 m ukopanih cijevi.



svoje zrcalno obrnute funkcije tijekom ljeta. Što manje vrućeg zraka, što više sjena, duboki hlad na prozorima ispod sjenila i balkona...

Pasivna je kuća nezamisliva s ljetnim paketom raznih klima-uređaja koji poništavaju dobitke preobilnog osunčanja, pa projekt i konstrukcijska rješenja, izgled i funkcionalnost unaprijed moraju riješiti oba zahtjeva - toplu zimu, prohladno ljeti.

Zimi se glavnina toplinskih potreba zadovoljava kontroliranom izmjenom toplog i hladnog zraka. Ugradnjom zračnog izmjenjivača s ukriženim strujanjem hladnog vanjskog i toplog sobnog zraka toplina se djelotvorno zadržava u kućnom volumenu.

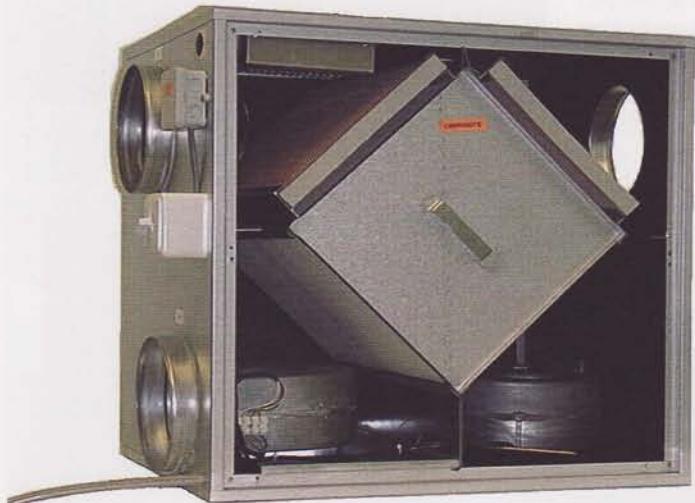
Ljeti je mnogo značajniji utjecaj tzv. podzemnog izmjenjivača koji osigurava dotok trajno hladnijeg zraka iz podzemlja. Uredaj je krajnje jednostavan i - jeftin.

Pri gradnji se u tlo ispod kuće ili vrta ukopaju cijevi kroz koje prisilno struji zrak, za što ne treba više od osrednjeg ventilatora.

Kako je temperatura tla na određenoj dubini konstantha (bez obzira na godišnja doba) zimi se hladni vanjski zrak utiskuje u podzemlje gdje se strujanjem kroz dugačke cijevi postupno zagrijava i ulazi u kuću kroz izmjenjivač.

Naprimjer, ako je temperatura vanjskog zraka oko -12°C prolazom kroz dovoljno dugi podzemni izmjenjivač topline zagrijat će se barem do $5^{\circ}\text{--}6^{\circ}\text{C}$. Kad tako predgrijani zrak dospije u križni izmjenjivač u podrumu, protustruji istrošenog tolog zraka predat će mu svoju toplinu i zagrijati ga, recimo, do 15° ili 18°C .

Po potrebi, primjenom manje toplinske pumpe (najviše 500 W), zrak koji ulazi u prostoriju može se i dodatno zagrijati do $+35^{\circ}\text{C}$.



Kompaktni križni toplinski izmjenjivač zraka u kojem se preko velikih dodirnih površina susjednih zračnih kanala brzo i djelotvorno prenosi toplina s topljega na hladniji zrak.

Kroz zidne otvore za provjetravanje obrađeni se vanjski zrak upuhuje u spavaonicu i dnevni boravak, dok se istodobno zagrijani istrošeni zrak isisava iz kuhinje, kupaonice i zahoda i odvodi do križnog zračnog izmjenjivača ili isparivača toplinske pumpe - gdje predaje svu svoju toplinu - i odlazi u otvoreni prostor. Tako se stalno održava dotjecanje predgrijanog svježeg zraka i ispuštanje istrošenoga. Dakako, pri pojavi jačih mirisa u kuhinji (ili zbog pušenja) možete prostoriju i klasično provjetravati - kroz otvoreni prozor. Očito, pasivna kuća nije baš pogodno mjesto za pušače...

Prednosti tog sustava su udobno stanovanje i kvalitetan zrak u zatvorenom prostoru. Stalnim odvođenjem zagrijanog zraka koji sadrži velike količine vodene pare isključuje se pojava kondenzata. Istodobno zgrada je suha pa nema



DESNO: Skice vanjskih zidova pokazuju razvoj graditeljstva u posljednjih dvadeset godina. Na vrhu je zid od šuplje blok-opeke debljine 25 cm koji s običnom žbukom ima koeficijent prolaza topline $U = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Prosječna godišnja potrošnja kuće s takvim vanjskim zidom otprilike je 13 litara loživog ulja po četvornom metru grijane površine.

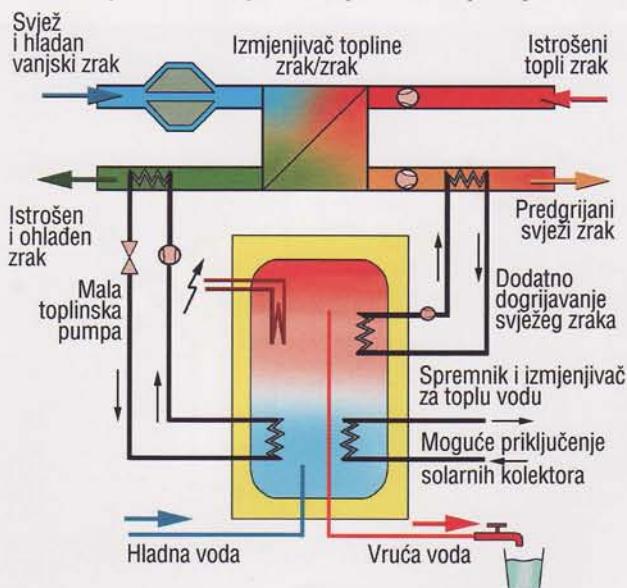
U sredini je zid tzv. trolitarske kuće izoliran stiroporom. $U = 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, a potrošnja oko 3 litre po četvornom metru.

Najdonji je zid pasivne kuće s ukupnom toplinskom izolacijom (stiropor) u debljinama od 30 cm (npr. 25 + 5 cm) i $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. Usporedba s loživim uljem daje potrošnju od $1,5 \text{ l/m}^2$.

Iako pasivnu kuću možete po potrebi opremati raznim praktičnim uređajima, najčešće se primjenjuje tzv. kompaktni modul s toplinskom pumpom i izmjenjivačem koji proširuje mogućnosti kombiniranja i poboljšanja sustava.

Priklučuje se na mjestu gdje vanjski zrak ulazi u protustrujni izmjenjivač topline. Ovisno o načinu rada, toplinska pumpa može taj zrak znatno zagrijati ili pak ohladiti, s bitno manjom potrošnjom struje od uobičajenih rashladnih uređaja. Toplinske pumpe nisu nužna oprema prave pasivne kuće, no ako im struju daju fotonaponski paneli mogu postići spektakularne toplinske dobitke. Valja znati da pozemni kolektor zagrijava zimski zrak do 8°C , pa toplinska pumpa stvara prava čuda. A u suvremenim niskotemperaturnim objektima dopušteni su svi zahvati koji ne zahtijevaju trošenje konvencionalnog ogrjeva i neobnovljivih izvora energije.

Kompaktni komplet s toplinskom pumpom





Sophienhof u Frankfurtu od 2006. godine je najveća pasivna kuća u Njemačkoj. Ta gotovo samodovoljna stambena zgrada ima 160 stanova s odličnim komforom i zdravom mikroklimom koju podržava stalni dovod zraka kroz kolektore u tlu.

uobičajenih šteta čime se smanjuju troškovi održavanja. Kako svježi zrak ulazi u sustav kroz filter u kući nema prašine ni peluda, a štetne tvari iz zraka stalno se odvode sustavom kontroliranog prozračivanja.

Kako je klasično prozračivanje rijetka iznimka, godišnje energetske potrebe mogu biti i samo 30 kWh/m².

Pažljivom razradom projekta - pri čemu se odmah rješavaju i svi izvedbeni detalji - već na prvim skicama mogu se smanjiti godišnje toplinske potrebe na pukih 15 kWh/m² - što je tek desetinu energetskih potreba klasičnih kuća kakve i danas gradimo svuda oko nas.

A pasivnu kuću možete sagraditi gotovo uz podjednake troškove - kao da gradite klasičnu jednakog volumena!

Razlika je u znanju projektanata, razumijevanju fizičkih problema i primjeni novih tehničkih rješenja. Za usporedbu, kad serviseri elektroničke opreme ne bi razumjeli digitalnu tehniku, već samo analognu, ne bi mogli popravljati uređaje



DESNO: Pasivnu kuću Darmstadt - Kranichstein sagradili su 1990. godine njemački arhitekti Bott, Ridder i Westermeyer. Tijekom vremena postala je ogledni i mjeri uzorak za tisuće drugih objekata. Prosječna godišnja potrošnja energije ogrjeva ne premašuje 10 kWh /m²a. To je prva tzv. jednolitrena kuća provjerena u praksi. Na južnoj strani su balkoni sa sjenilima i veliki prozori, dok je na sjevernoj svojevrsni zimski vrt, zastakljeni prostor koji umanjuje utjecaj hladnog vjetra, a istodobno omogućuje komunikaciju među stanovima bez izlaska na otvoreno.



Foto: Fiest/Passivhaustagung

Ključnu ulogu u energetskoj efikasnosti ima podzemni zračni kolektor iz kojega se ljeti i zimi upuhuje zrak u sve stanove, na tri etaže. Zoniranjem prostora najtoplji volumen je stubište u sredini zgrade, odakle se izvlači istrošeni zrak. Ta je izmjena jedva primjetna jer se u jednom satu cirkulacijom promjeni oko 0,6 ukupnog volumena kuće. I nakon šesnaest godina kuća odlično čuva toplinu, što potvrđuju i infracrvene fotografije.



koji već desetljećima vladaju tržistem zabavne i ostale elektronike.

Tako smo i mi u Hrvatskoj - čast rijetkim izuzecima koji potvrđuju pravilo, a jedva se mogu nabrojiti prstima jedne ruke - glede fizike zgrada i održivog graditeljstva i dandanas u tom *analognom* području.

Još gore - u tom klasičnom ili tradicionalnom području nemamo ni projektanata ni izvođača ni nadzora koji bi sustavno mogli graditi barem

niskotemperaturne zgrade.

Istdobno, u svijetu se iz godine u godinu povećava broj pasivnih kuća, pri čemu se u preciznoj i domišljatoj izvedbi detalja ističu upravo samograditelji.

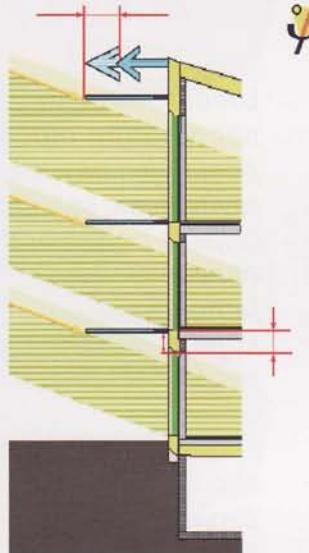
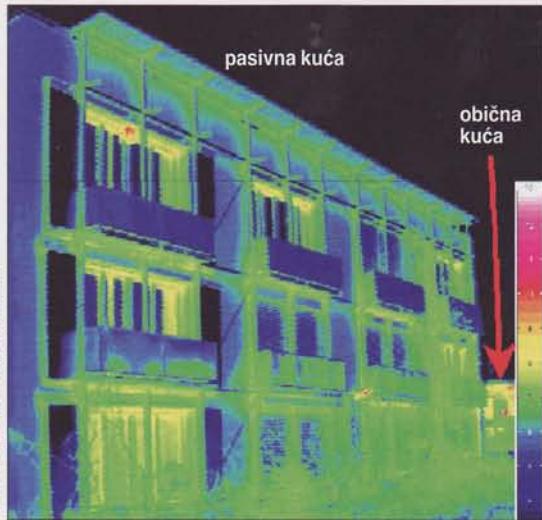
Dosadašnja dobra iskustva posvuda prate i državni poticaji, čime se strategija održive gradnje odlično uklapa u međunarodna nastojanja za smanjenjem emisije CO_2 u Zemljinoj atmosferi, smanjuje se potreba za uvozom energenata, a stambeni fond postaje bogatiji i kvalitetniji.

Rezimirajmo: Pasivna je kuća objekt kojemu godišnje za grijanje ne treba više energije od $15 \text{ kWh/m}^2(\text{a})$. Tako dobro izolirana zgrada ne treba ni konvencionalno grijanje jer sve potrebe zadovoljava toplinom iz svoje unutrašnjosti (zahvaćena sunčeva toplina, elektroredaji, osobe, rasvjeta). Ostatak toplinskih potreba zadovoljava se zagrijavanjem zraka. Bez toga ne bi bilo ni tako povoljne bilance jer stambeni prostor ipak zahtijeva i redovito prozračivanje...

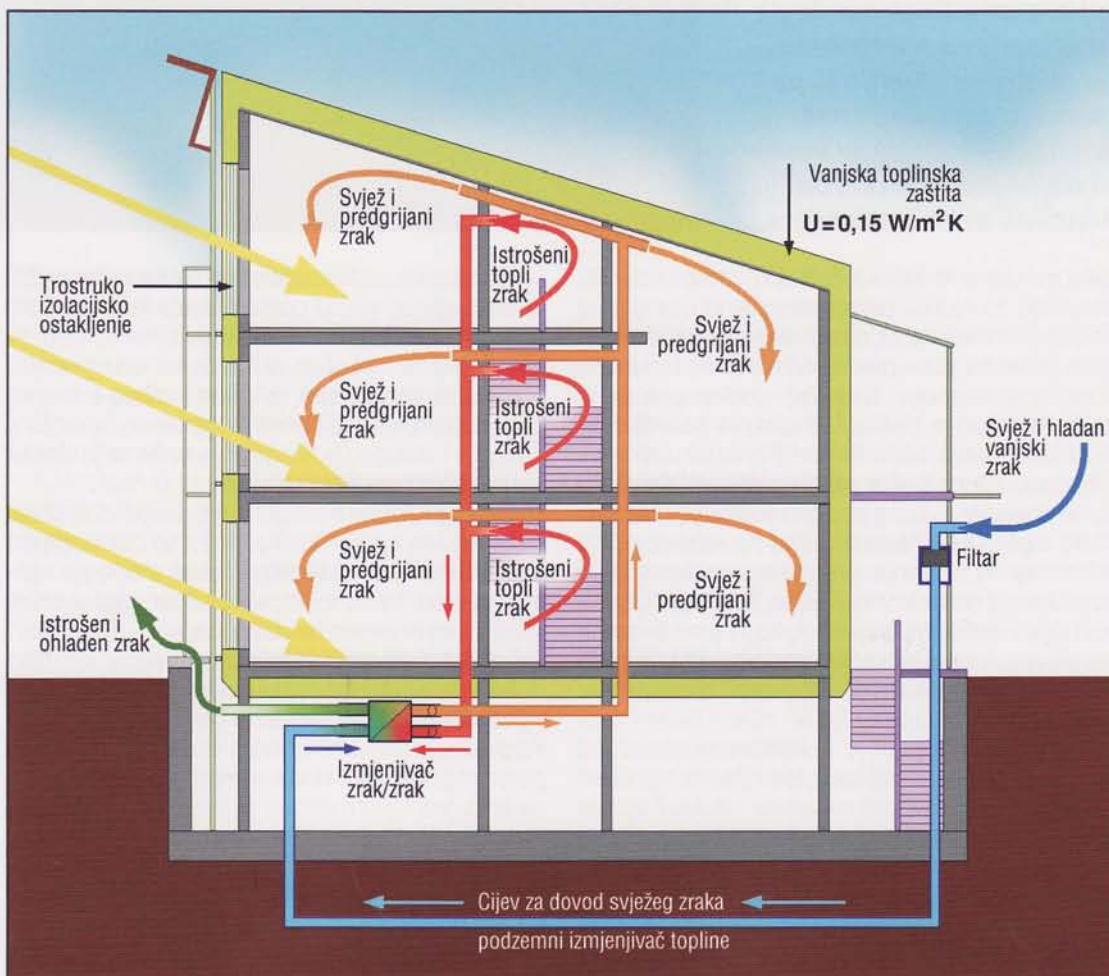
Pasivna kuća mora zadovoljiti točno određene kriterije:

- grijanje - najviše 10 W/m^2
- ukupne energetske potrebe (sva trošila, struja, topla voda) najviše 42 kWh/m^2
- ukupne potrebe za primarnom energijom (za sve) najviše 120 kWh/m^2 .

Foto: Passivhaus-Institut, Darmstadt



GORE: Promišljenim dimenzioniranjem balkona i sjenila ljetno se osuščanje smanjuje u korist zimskoga.



LJEVO: Svaka se zgrada može sanirati i poboljšati primjenom pravila i principa pasivne solarne kuće do razine fantastičnih ušteda. Ipak, prednost je na strani novogradnje jer pasivna solarna kuća ima specifičan raspored prostorija koji određuje položaj kuće i način strujanja zraka kroz izoliranu zgradu. Zimi se hladan vanjski zrak predgrijava u podzemnim cijevima, a potom u toplinskem zračnom izmjenjivaču preuzima toplinu istrošenog zraka koji se ispuhuje iz kuće. Kako je tlo ljeti relativno hladnije od zraka danju će svježa zračna struja s hladovitog sjevernog zida osigurati ugodnu kućnu klimu i bez dodatnih rashladnih uređaja. Ventilatori su relativno male snage, a struja im mogu osigurati i fotonaponski paneli.