

VELIKI PASIVNI OBJEKTI

LARGE PASSIVE STRUCTURES

UDK 725+728
COBISS 1.02 pregledni znanstveni članek
prejeto 15.2.2008

izvleček

V Nemčiji, Avstriji in Švici je bilo v dobrih 10-ih letih zgrajenih že več kot 10.000 pasivnih hiš. Pristop h gradnji izredno energijsko varčnih hiš, ki je bil sprva razvit za stanovanjske zgradbe, se je v zadnjih letih razvil tudi za objekte drugih vsebin in večjih dimenzij. Poleg velikih večstanovanjskih objektov danes obstajajo pasivne poslovne zgradbe, šole in vrtci, cerkve, športne hale, proizvodne zgradbe, družbene in rekreacijske zgradbe ipd. Omejitve s strani uporabe ni.

V članku Veliki pasivni objekti sta uvodoma predstavljena tehnologija pasivne hiše in ustroj njenega delovanja. Največji del vsebine je namenjen predstavitvi velikih zgradb, grajenih po pasivnem standardu: osnovna šola in vrtec v Frankfurtu, energijsko samozadostna planinska kočica Schiestl na nadmorski višini 2154 m, Cerkev sv. Frančiška v Welsu, kongresni in rekreacijski objekt SOL na Dunaju, študentski dom na Dunaju, poslovna zgradba Energon v Ulmu, naselje večstanovanjskih zgradb Utendrgasse na Dunaju, proizvodni prostori podjetja Drexel und Weiss v Vorarlbergu, plusenergijsko naselje Schlierberg v Freiburgu, pasivna S-hiša iz slame v Böhheimkirchenu ter sanacija večstanovanjskega objekta po pasivnem standardu v Linzu.

Tehnologija pasivne gradnje je ekonomsko upravičena, zato se pričakuje, da bo postala tudi osnova za zaostrovanje zakonodaje na področju porabe energije v zgradbah.

ključne besede:

pasivna hiša, veliki pasivni objekti, pasivni standard

abstract

More than 10,000 passive houses have been built in Germany, Austria and Switzerland over the past ten years. The construction of extremely energy-saving houses, which was initially developed for residential buildings, has spread during the past years to other types of structure and with greater dimensions. Besides multi-occupied residential buildings, there are now passive office buildings, schools and nurseries, churches, sports halls, public and recreational facilities and the like. There are no limitations on use.

The introductory section of the article Large Passive Structures presents the technology of the passive house and the structure of its operation. The major part of the article is devoted to the presentation of large structures built to passive standards, such as the elementary school and nursery in Frankfurt, the Schiestl energy self-sufficient mountain hut at 2,154m above sea level, St. Francis' Church at Wels, the SOL congress and recreational facility in Vienna, a student hostel in Vienna, the Energon office building in Ulm, the Utendorgasse housing estate in Vienna, the manufacturing facilities of the Drexel & Weiss company in Vorarlberg, the Schlierberg plus-energy settlement in Freiburg, a straw S-house at Böhheimkirchen, as well as the remediation of a multi-occupied building in Linz to passive standards.

The technology of passive building is economically justified, and therefore it is expected to be given additional weight in legislation on energy consumption in buildings.

key words:

passive house, large passive structures, passive standard

Ime pasivna hiša ne izhaja iz pasivne izrabe sončne energije, temveč iz dejstva, da zgradba ne potrebuje aktivnega ogrevalnega sistema [2]. Pasivna hiša ni nova tehnologija gradnje, temveč dosledno izpeljana nizkoenergijska zgradba. Zgradba sama in njena funkcija sta popolnoma tradicionalni, prav tako ni novih omejitev pri tlorisni zasnovi ali oblikovanju zgradbe. V pasivni hiši se živi tako kot v vsaki običajni hiši. Višji standardi so zagotovljeni izključno s tehničnimi izboljšavami na ovoju zgradbe in pri hišni tehniki. Za te izboljšave niso potrebne nobene dodatne komponente. Vse zahteve pasivnega standarda je mogoče izpolniti z vgradnjo inovativnih tehničnih naprav za ogrevanje in prezračevanje – tako kot je bilo že pri nizkoenergijski hiši. Res pa je, da so gradbeno-fizikalne pomanjkljivosti na ovoju zgradbe za zagotavljanje potreb po toploti veliko bolj usodne kot pri običajnih gradbenih standardih.

Koncept pasivnih hiš je razvil dr. Wolfgang Feist, ki je leta 1991 v okviru pilotnega projekta Cepheus (Cost Efficient Passiv Houses As European Standard) v Darmstadtu zgradil prvo pasivno hišo. Ta prototip se je v praksi tako izkazal, da je nastal standard pasivnih hiš, ki se na trgu pojavljajo od leta 1998. Od takrat se število zgradb, grajenih v tem gradbenem standardu z zglednim zmanjšanjem emisij ogljikovega dioksida, vsako leto poveča za več kot 100 %. Trenutno je njihovo število v Nemčiji, Avstriji in Švici že preseгло število 10.000 [14].

V primerjavi z običajnimi zgradbami, ki so zgrajene po trenutno veljavnih predpisih, pri pasivnih hišah ni nobenih drugih temeljnih gradbeno-fizikalnih zahtev. Realizacija pasivnih hiš pa postavlja visoke zahteve za uporabljene komponente [1]:

- toplotna zaščita: toplotna prehodnost U vseh gradbenih elementov je pod $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, pri prostostoječi enodružinski hiši se priporoča celo pod $0,10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$;
- izvedba brez toplotnih mostov (linijska toplotna prehodnost $\psi \leq 0,01 \text{ W}/(\text{mK})$);
- izredna zrakotesnost, kontrolirana s tlačnim preizkusom po DIN EN 13829 – menjavanje zraka po tlačnem preizkusu pri 50 Pa tlačne razlike, mora biti manjša kot 0,6 h-1;
- zasteklitve z U_w pod $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, pri visoki prepustnosti skupne sončne energije ($g \geq 50 \%$ po DIN 67507), tako da so tudi pozimi možni neto toplotni dobitki;
- okenski okvirji z U_f pod $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ po DIN EN 10077;
- poraba električne energije za pogon prezračevalne naprave $\leq 0,4 \text{ Wh}/(\text{m}^3)$ prečrpanega zraka;
- najnižje toplotne izgube pri pripravi in distribuciji sanitarne vode;
- učinkovita uporaba elektrike v gospodinjstvu (stroji in naprave iz energijskega razreda A in A+).

Samo sestavljanje posameznih komponent, primernih za pasivno hišo, sicer še ne zadošča, da bi zgradba postala pasivna. Za doseganje standarda pasivne hiše je potreben integralni načrt, kjer so posamezne komponente smiselno povezane.

Značilne vrednosti, ki karakterizirajo pasivne hiše, so [2]:

- specifična letna raba toplote za ogrevanje $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- skupna poraba primarne energije $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- poraba električne energije $\leq 18 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$
- toplotne izgube $\leq 10 \text{ W}/\text{m}^2$
- zrakotesnost $n_{50} < 0,6/\text{h}$

Pasivna hiša je na področju energijsko učinkovite gradnje prva, ki dosega tovrstne standarde s finančno sprejemljivimi sredstvi. Izvedene so namreč tudi hiše, ki imajo precej večjo energijsko učinkovitost kot pasivne, vendar so investicije še precej neracionalne [9]. Že danes obstajajo CO₂ nevtralne hiše z nevtralno energijsko bilanco, torej ne povzročajo CO₂. Potrebno energijo pokrijejo iz obnovljivih virov – npr. z močjo vode, vetra, sončnih celic ipd. Ničenergijska hiša v letnem povprečju celotno pridobljeno energijo (toploto in električno energijo) pridobi sama iz sončne energije, vendar ni neodvisna od javnega energetskega omrežja – poleti presežke elektrike oddaja v javno omrežje, pozimi pa jo iz njega porablja. Energijsko neodvisna hiša se oskrbuje sama – proizvede in shrani energijo, ki jo potrebuje za proizvodnjo elektrike, pripravo tople vode in kuhanje. S pomočjo sončnih celic, elektrolize vode in shranjevanja vodika se lahko potrebna energija za uporabo v gospodinjstvu shrani za poljuben čas. Izvedenih je tudi precej plusenergijskih hiš, ki proizvedejo več energije, kot jo potrebujejo same, presežek električne energije pa oddajajo v javno energetske omrežje. Pri vseh teh rešitvah odloča gospodarnost, zato ta hip še niso primerne za široki trg. Trenutno je glede na robne pogoje prag gospodarnosti področje od pasivne hiše do CO₂ nevtralne hiše. Vendar se meja glede na povpraševanje in zakonske zahteve precej hitro premika navzgor.

Prednosti odločitve za gradnjo po pasivnih standardih je več. Eden ključnih, ki je pomemben tudi na nivoju države, je zmanjšanje odvisnosti zgradbe od energije, ki izvira iz fosilnih energentov. Ob izgorevanju premoga, nafte in zemeljskega plina se sprošča CO₂, ki je glavni povzročitelj globalnega segrevanja ozračja. Tehnologija gradnje po standardu pasivnih hiš drastično zmanjša porabo energije za ogrevanje in s tem tudi emisije CO₂. Čedalje večje je tudi ekološko osveščenje. Tako se investitorji ne odločajo le za energijsko varčno zgradbo, temveč vanjo vključujejo tudi naravna gradiva, ekološko oskrbo z vodo itd. in tako skrbijo za trajnostno gradnjo. Prednost pasivne zgradbe je tudi njeno bivalno ugodje. Zaradi dobre toplotne izolativnosti so notranje površine sten tople, vedno nad 17°C. Zrak se ob stenah ne ohlaja tako hitro, kot običajno, zato se tudi giblje zelo počasi. Zaradi počasnejšega gibanja zraka je temperaturno ugodje višje – lahko tudi ob nižjih temperaturah zraka. V pasivni zgradbi je zrak vedno čist. Prezračevalna naprava dovaja zunanji zrak, ki je v rekuperatorju prevzel toploto od toplega izstopajočega zraka. Poudariti je potrebno, da prezračevalna naprava ni klimatska naprava. Prezračevalna naprava dovaja v zgradbo zunanji zrak, ki ga pred tem ogreje, klimatska naprava pa ves čas obdeluje isti zrak.

Tehnologija gradnje po pasivnem standardu se je v dobrem desetletju močno izpopolnila. Vse komponente so dovršene in dokazano delujejo. Začetne investicije niso več tako visoke kot

včasih, pravzaprav se približujejo stroškom nizkoenergijskih zgradb, ki se gradijo po trenutno veljavnih predpisih. Obratovnalni stroški pasivnih zgradb so zelo nizki, 10- in večkrat nižji kot v običajnih zgradbah. Tudi vzdrževalnih stroškov skoraj ni, saj ni strojev in naprav, ki bi se lahko pokvarile.

Ovoj zgradbe

Za pasivne hiše je primerna večina gradbenih tehnologij [5]. Enake rezultate je mogoče doseči z masivnimi in lahкими konstrukcijami, prav tako z različnimi gradivi. Pri masivnih sestavih je nosilna konstrukcija iz opečnih zidakov, opečnih zidakov, polnjenih s perlitom, in zidakov iz betona ali lahkega betona. Na zunanji strani je ustrezno debela plast toplotne izolacije. Pri lahkih konstrukcijah je najpogostejša uporaba lesa, in sicer v obliki prefabriciranih elementov. Največ se uporabljajo sistem stebrov in prečk, leseni okvirji, sistemi baloon frame, konstrukcije iz masivnega lepljenega in žebjanega lesa, votli elementi iz trislojnih plošč, nosilni elementi iz lesenega ogrodja itd. Med nosilno konstrukcijo je toplotna izolacija iz različnih gradiv. Izbor toplotnoizolacijskih gradiv je v veliki meri odvisen od tehnologije gradnje.

Tudi stavbno pohištvo mora ustrezati pasivnim standardom [3] – uporabljajo se okna s troslojno zasteklitvijo, nizkoemisijskimi nanosi in polnjena z žlahtnimi plini, ter posebna toplotnoizolativna vhodna vrata. Pomemben je tudi način vgradnje. Okna in vrata se vgrajujejo v plast toplotne izolacije. Zgradba mora biti popolnoma brez toplotnih mostov [4], kar je treba zagotoviti že v fazi načrtovanja v obliki detajlov, ki morajo biti nato skrbno izvedeni. Posebej skrbno je treba izvesti priključke, previse (konzole) ipd., kjer se prekine toplotna izolacija, kar povzroča toplotne izgube. Že manjši toplotni mostovi namreč lahko ogrozijo koncept pasivne hiše.

Pasivna hiša mora biti zrakotesna [8], [10]. To pomeni, da v zunanji konstrukciji ni netesnih mest, kjer bi nekontrolirano uhajal topli zrak iz zgradbe. Podobno kot pri toplotnih mostovih je tudi zrakotesnost treba zagotoviti v fazi načrtovanja – stiki med posameznimi elementi morajo biti prikazani z ustreznimi detajli in skrbno izvedeni. Zrakotesnost objekta se kontrolira s testom Blower Door.

Za oskrbo s svežim zrakom ima pasivna hiša vgrajen sistem kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka. Izrabljeni topli zrak v prenosniku toplote odda toploto hladnemu vstopajočemu. Ob sodobnih napravah z dobrimi izkoristki se zaradi prezračevanja izgubi le malo toplote.

Pod temi pogoji načrtovana in zgrajena hiša ima tako nizke potrebe po ogrevanju, da konvencionalni ogrevalni sistem ni več potreben. Stavbo se ogreva na ta način, da se po potrebi dogreva zrak, ki se ga vpihuje v prostore – t. i. toplozračno ogrevanje. Priporoča se uporaba toplotne črpalke, v uporabi pa so lahko tudi peči na pelete ipd. Sanitarno vodo ogrevajo sprejemniki sončne energije.

Pasivno hišo se lahko zaradi nizkih emisij toplogrednih plinov uvršča med okolju prijazne hiše. Skrb za okolje pa se tudi na področju gradnje nadaljuje. V zadnjih letih se je ideji energijsko varčne gradnje pridružila še ekološka komponenta – tudi za pasivno hišo so primerna gradiva, ki v življenjskem



Slika 1: Osnovna šola in vrtec, Frankfurt, Nemčija.
Figure 1: Elementary school and nursery, Frankfurt, Germany.



Slika 2: Na steni glavnega hodnika je mogoče ves čas spremljati količino pridobljene električne energije ter prihranek CO₂.

Figure 2: On the wall of the main corridor, it is possible at all times to follow the amount of electrical energy produced, as well as CO₂ reduction.

ciklusu ne povzročajo škodljivih emisij. V Avstriji, ki je ena najbolj ekološko osveščenih držav, je tako nastalo nekaj pasivnih hiš iz slame in ilovice z različnimi vsebinami (stanovanjska hiša, poslovna hiša, počitniška hiša). Nadgradnja pasivne hiše je tudi zmanjšanje njene odvisnosti od javnega energetskega omrežja. Sončne celice, povezane v sončne module, ki so vgrajeni na pasivno hišo, pretvarjajo sončno energijo v električno. Pridobivanje električne energije ne vpliva na delovanje pasivne hiše, lahko pa precej zmanjša njene obratovalne stroške.

Vrste velikih pasivnih zgradb

Izkušnje, ki so se nabrale v dobrem desetletju pri načrtovanju in gradnji manjših, predvsem stanovanjskih pasivnih hiš, dopuščajo razširitev na večje objekte z drugačnimi vsebinami v različnih urbanističnih kontekstih [9]. Neodvisno od orientacije nastaja vse več poslovnih zgradb, otroških vrtcev, večdružinskih hiš, telovadnic, javnih zgradb, sanacij domov za starejše občane ter celo cerkva in industrijskih zgradb v pasivnem standardu. Potem ko so bile na prvih pasivnih hišah izvedene številne raziskave in analize, s pomočjo katerih je gradnja postala uspešna in učinkovita, lahko govorimo o novi generaciji pasivnih hiš – velikih pasivnih objektih.

Osnovna šola in vrtec, Frankfurt

V mestni četrti Riedberg je bila leta 2004 zgrajena prva nemška šola z otroškim vrtcem v pasivnem standardu [24]. Zgradba je tako namenjena 400 šolarjem in 100 malčkom. Obsega še kuhinjo, ki deluje ves dan in telovadnico. Ta je v nizkoenergijskem standardu in je na razpolago tudi sosednjim stanovalcem.

Konstrukcija zgradbe je masivna. V izračun energijske bilance za posamezni razred je bilo vključenih 25 učencev in eden učitelj, ki skozi vse leto v času uporabe "ogrevajo" razred (1,5 kW), zato je potrebna toplotna izolacija na zunanji strani stene manjša kot pri stanovanjskih zgradbah.

Pri načrtovanju so bile izvedene simulacije in narejeni izračuni, kako preprečiti poletno pregrevanje v razredih, kjer poleti nastopajo velike interne toplotne obremenitve s 26 osebami in eksterne s sončnim obsevanjem (15 m² okenskih površin, 60–80 W/m²). Prvi ukrep za preprečevanje pregrevanja predstavlja masivna konstrukcija s sposobnostjo shranjevanja toplote. Uporablja se tudi nočno hlajenje. Preko zastekljene lopute nad vrati se ponoči avtomatsko odvaja topli zrak iz razredov. Okna so opremljena z zunanji žaluzijami s trojnim delovanjem – v zgornjem delu prepuščajo več svetlobe in jo usmerjajo v strop, srednji del je najbolj zaprt. Ta sistem, ki lahko deluje avtomatsko, pa tudi ročno, zagotavlja optimalno izrabo dnevne svetlobe.

Za kontrolirano prezračevanje šole in vrtca skrbijo tri naprave s prenosnikom toplote (skupno jih je šest) s 73 % izkoristkom. Sveži zrak, ki se predhodno ogreje v prenosniku toplote, se dovaja v posamezne razrede, odvaja pa iz skupnega hodnika. Sanitarni prostori so na odsosovalni sistem priključeni posebej. Temperatura vpihovanega zraka pod stropom znaša najmanj 16 °C. Majhna količina zraka (cca. 15 m³/h na osebo) omogoča ogrevanje s toploto šolarjev in zmanjšuje nevarnost presuhega zraka pozimi. Regulator volumskega toka zagotavlja večstopenjsko uravnavanje v razredih (100 %, 50 %, 0 %).

Za potrebno ogrevanje skrbijo grelna telesa v prostorih. Stroški bi bili sicer enaki, če bi se uporabil centralni grelni register, vendar ta ne bi omogočal individualnega uravnavanja. Potrebno toploto zagotavljata dve peči na pelete (60 kW). S toplo vodo so oskrbljeni samo prostori z veliki potrebami v bližini peči na pelete (kuhinja in garderobe telovadnice). V sanitarijah za šolarje je samo hladna voda. Na strehi so sončni moduli za pridobivanje električne energije. Na displayju na glavnem hodniku je mogoče spremljati njen doprinos.

Skupna letna poraba primarne energije za osnovno šolo in vrtec znaša 59 kWh/(m²a), letna potrebna toplota za ogrevanje 15 kWh/(m²a), toplotna izguba 10,5 W/m², prihranek CO₂ v 30 letih – 1000 t. Izračuni so pokazali, da bo objekt na leto prihranil



Slika 3: Planinski dom Schiestl, pogorje Hochschwab, Avstrija.
Figure 3: The Schiestl mountain hut in the Hochschwab Mountains, Austria.



Slika 4: Prva cerkev v pasivnem standardu, Wels, Avstrija.
Figure 4: First church built according to passive standards, Wels, Austria.

259 MWh energije, s tem bodo letni stroški (po izračunu iz 2004) nižji za 28.000 €. Istočasno pa zgradba nudi dobre pogoje tako za učence kot učitelje.

Samozadostna planinska koča Schiestl na Hochschwabu

Planinska koča Schiestl je na nadmorski višini 2154 m v pogorju Hochschwab na avstrijskem Gornjem Štajerskem. Nastala je na mestu stare, 120 let stare, ki je bila v zelo slabem stanju. Nova planinska koča je bila načrtovana kot energijsko samozadostna [20] in je bila odprta septembra 2005.

Koncept zgradbe je ustrezal najvišjim ekološkim standardom. Zaradi težkega dostopa – zgradba ni dostopna niti s cesto niti z vzpenjačo – je bila izbrana lahka lesena konstrukcija, ki omogoča helikopterski prevoz. Težke razmere za gradnjo v alpskem visokogorju so narekovale prefabricirano konstrukcijo (na masivnem podstavku), v čim večji meri izdelano v dolini in v kratkih poletnih mesecih sestavljeno na mestu.

Dvoetažna zgradba ima enostavno obliko. Južna fasada ima panoramsko zasteklitev s sončnimi celicami, ki pokrivajo 60 % potreb po električni energiji (7,5 kWp). Sprejemniki sončne energije so nameščeni na streho pokrite terase in pokrijejo 80 % potreb po topli vodi. Preostalo potrebno energijo (toploto in električno energijo) pridobijo iz kogeneracijskega postrojenja na repično olje (dizlov motor). Za kuhanje se uporablja štedilnik na trda goriva, ki ogreva tudi hranilnik toplote.

Tekočo in sanitarno vodo se pridobi iz padavin. Deževnica se zbira v cisterni, kjer se preko filtrov očisti in dezinficira z UV-napravo. V uporabi je biološka greznica, ki razgradi odpadno vodo. Učinkovitost čiščenja je 99 %. Lokacija zahteva popolno zaščito vode, ker je v bližini vodno zajetje za Dunaj in Gradec.

Zgradba je zgrajena po pasivnih standardih. Opremljena je s prezračevalno napravo, dovodni zrak se ogreva s prenosnikom toplote zrak-zrak in grelnim registrom.

Planinska koča Schiestl predstavlja prototip za solarno in ekološko gradnjo v alpskem prostoru in je dobila avstrijsko solarno nagrado.

Cerkev sv. Frančiška v Welsu

Cerkev v Welsu je bila načrtovana v pasivnem standardu [25], z namenom, da ne bi imela negativnih vplivov na okolje, da bi varovala surovinske vire in doprinesla k trajnostnemu razvoju. Poleg tega ni samo "prostor za molitev", temveč je namenjena tudi zbiranju in druženju krajanov.

Cerkev sv. Frančiška ima lahko leseno konstrukcijo. Je novogradnja, pomeni pa razširitev leta 1998 zgrajene longitudinalne zgradbe, v kateri so pisarne, stanovanje in prostori za mladino. Novogradnja je sestavljena iz dveh delov – dvorana z bogoslužnim prostorom in foyer ter trakt, v katerem so stranski prostori. Dvorana za bogoslužje je izvedena kot črna steklena škatla, v katero je vgrajenih 200 m² sončnih modulov. 4 m široka in 13 m dolga steklena fuga, centralno vstavljena v streho, se lahko glede na vremenske razmere in željeno svetlobno razpoloženje odpira in zapira s pomočjo nastavljive klimatske in svetlobne lopute.

Za ogrevanje cerkve služi sončna energija, ki pride v prostor skozi zastekljeno os v strehi. Brez ogrevanja je pozimi temperatura vedno med 12–15 °C. Dodatno potrebno toploto v prostor dovaja talno ogrevanje, ki se napaja s toploto iz sprejemnikov sončne energije in 85 kW kotla na pelete. Potrebno po topli vodi zagotavljajo 32 m² sprejemnikov sončne energije in dva 1000-litrska hranilnika toplote. Sončne celice na fasadi proizvedejo letno 15.300 kWh električne energije, kar je več od lastnih potreb, zato lahko poleti dodatno oskrbujejo še 15 gospodinjstev. Zgradba tako skupaj z aktivno izrabo sončne energije letno zmanjša obremenitev okolja s CO₂ za 15,7 t.

Večnamenski objekt, SOL 4, Dunaj

S svojimi 2000 m² površin je objekt največja poslovna pasivna hiša v Avstriji [23]. Petnadstropna zgradba je namenjena trem dejavnostim: poslovni, kongresni in rekreacijski. Poslovni dejavnosti služita dve etaži. Večje in manjše enote so primerne za majhna podjetja, koncept zgradbe nudi možnost medsebojnih



Slika 5: Večnamenski objekt SOL 4.
Figure 5: SOL 4, a multipurpose structure.



Slika 6: Stene iz nežganih ilovnatih zidakov shranjujejo toploto.
Figure 6: Walls of unfired clay bricks keep warmth.

poslovnih kontaktov. Za oddih služijo rekreacijski prostori, kjer za "zdrav duh v zdravem telesu" skrbijo usposobljeni trenerji. Ena etaža je namenjena kongresni dejavnosti. Večji prostori se lahko razdelijo v manjše in nudijo možnost istočasnega dela več skupinam.

Posebej inovativna je izpopolnjena hišna tehnika. Zgradba se prezračuje s kontroliranim prezračevanjem z vračanjem toplote izrabljenega zraka. Konstrukcija je masivna, iz opeke in zidakov iz ilovice. Ti še posebej dobro akumulirajo toploto v temperaturnih konicah in jo oddajajo v prostor potem, ko se temperature zraka v prostoru znižajo. Zgradba ima namreč velik notranji zastekljen atrij, iz katerega prostori dobivajo tako svetlobo kot toploto. Poletno pregrevanje se preprečuje z nočnim hlajenjem. Potrebno toploto dovaja toplotna črpalka, ki izkorišča toploto kamenin (geosonda). Na fasadi zadnjih dveh etaž so nameščeni moduli sončnih celic, proizvedeni električni tok v celoti pokriva potrebe zgradbe. Iz oblikovalskih razlogov so sončne celice, kljub manjši učinkovitosti pridobivanja električne energije ob odklonu od južnih površin, nameščene na vse fasade.

Študentski dom, Dunaj

Študentski dom na Dunaju v pasivnem standardu je bil zgrajen leta 2005 in nudi bivanje v enoposteljnih sobah 278 študentom iz vse Evrope, ki na Dunaju študirajo v okviru mednarodnega programa Erasmus [16].

Zgradba je umeščena na sorazmerno majhno gradbeno parcelo v gosto mestno zazidavo. Na masivni konstrukciji iz armiranega betona je 26 cm toplotne izolacije. Fasadi dajejo svojevrsten karakter kovinska pomična polkna, ki služijo za zastiranje, hkrati pa učinkovito preprečujejo poletno pregrevanje.

Velik zemeljski prenosnik toplote je pod temeljno ploščo; izkorišča toploto zemlje, ki preko črpalke predogreje svež zrak iz dovodnih kanalov na strehi.

Vse bivalne enote so združene v skupen vertikalni povezovalni

sistem (9 jaškov). Ta se nahaja izven bivalnih enot in je dostopen s hodnika. V njem so napeljave, potrebne za ogrevanje in prezračevanje.

Hišna tehnika je sestavljena iz decentralnega prezračevalnega sistema, ki sveži zrak vesava preko strehe ter vzporednega, od prezračevanja ločenega manjšega ogrevalnega sistema. Po 4 bivalne enote so povezane na skupno prezračevalno napravo z vračanjem toplote odpadnega zraka (več kot 85 % izkoristek). Temperaturo v temperaturnem območju 18–23 °C je možno uravnati v vsakem prostoru.

Toplotne izgube na običajno bivalno enoto so manjše od 10 W/ m², pri intenzivnejši uporabi (več oseb v prostoru) lahko celo pod 5 W/m². To pomeni manj kot 500 ur ogrevanja na leto. V primerjavi s konvencionalnimi zgradbami se potrebe po toploti zmanjšajo kar za 80 %. Z visoko termično maso, visoko notranjo uporabnostjo in dobitki sončnega sevanja nastane v prehodnem delu leta temperaturno izenačena bivalna klima. Temperatura v neogrevanih prostih bivalnih enotah pozimi ne pade pod 17 °C.

Tudi poleti so zaradi shranjevalne mase, zunanje sončne zaščite in ohlajenega dovedenega zraka bivalne razmere zelo ugodne, temperature pa nikoli ne presežejo 26 °C.

Letna potrebna toplota za ogrevanje je 10,9 kWh/(m²a), skupna letna poraba primarne energije 91,2 kWh/(m²a).

Poslovna zgradba, Energon, Ulm

Poslovna zgradba Energon je z več kot 7000 m² notranjih uporabnih površin trenutno največji poslovni pasivni objekt na svetu [26]. Zgradba je koncipirana za 420 delovnih mest, predvidena pa je predvsem za podjetja iz računalniške stroke.

Skeletna armiranobetonska konstrukcija je zapolnjena s prefabriciranimi, toplotnoizoliranimi elementi iz lesa. Na fasadi je 35 cm toplotne izolacije, pod temeljno ploščo 20 cm in na strehi do 50 cm. Na sredini tlorisa je s steklom pokrit atrij s cca. 420 m² površine.



Slika 7: Študentski dom, Dunaj, Avstrija.
Figure 7: Student hostel, Vienna, Austria.

Poskrbljeno je za čim bolj učinkovito hlajenje in ogrevanje objekta. Zaradi tega je delež zastekljenih površin na fasadi optimalen – 44 %. Nevarnost poletnega pregrevanja preprečujejo zunaj ležeče žaluzije na mehanski pogon. Zgradba ima kontrolirano prezračevanje z vračanjem toplote odpadnega zraka. Pod zgradbo je 44 vertikalnih geosond, ki segajo 100 m globoko v zemljo. Z njimi se zgradba poleti ohlaja, pozimi pa ogreva. Ostala toplota se pridobi iz odpadne toplote iz kuhinje ter iz toplovodnega omrežja. Na strehi so sončne celice.

Najmodernejše avtomatske naprave nadzorujejo in upravljajo oskrbo zgradbe. V atriju se kontinuirano merita temperatura in kakovost zraka, ves čas se optimira delovanje ventilatorja za dovodni zrak in prezračevalne lopute. Vračanje toplote odpadnega zraka se uravnava po trenutnih potrebah in v odvisnosti od temperatur dovodnega in odvodnega zraka.

Naselje večstanovanjskih zgradb Utendorfgasse, Dunaj

Prvo naselje večstanovanjskih zgradb s socialnimi stanovanji v pasivnem standardu na Dunaju na Utendorfgasse [27] je bilo zgrajeno kot demonstracijski projekt in je hkrati tudi prva certificirana večstanovanjska pasivna zgradba v Avstriji (certifikat Passivhaus Instituta iz Darmstadta).

Glavna novost projekta je upoštevanje standardov pasivne gradnje ob istočasno izjemno nizkih stroških gradnje – samo 43 € na kvadratni meter uporabne stanovanjske površine.

Stanovanjsko naselje obsegajo trije petnadstropni objekti, vsi z orientacijo sever-jug. Skupna uporabna stanovanjska površina znaša 2985 m². Dvo-, tri- in štirisobna stanovanja imajo velike zastekljene površine z balkoni in ložami, ki so termično ločeni od zgradbe. Objekti imajo masivno, izredno dobro toplotnoizolirano konstrukcijo.

Zgradbe se ogrevajo s centralno prezračevalno napravo z vračanjem toplote odpadnega zraka z visoko učinkovitostjo. Naprava s centralno enoto je vgrajena na streho, kjer se nahajajo centralni prenosnik toplote, zračni filter, ventilatorji



Slika 8: Energon – največja poslovna pasivna zgradba na svetu, Ulm, Nemčija.
Figure 8: Energon – the biggest passive office building in the world, Ulm, Germany.

in električni predgrelni register za zaščito pred zmrzovanjem. V vsakem stanovanju je dodaten decentralni grelni register, ki ga lahko upravljajo stanovalci. Toplota za ogrevanje zraka in sanitarne vode se zajema iz hranilnika toplote, ki ga ogreva individualna plinska kurilna naprava.

Letna potrebna toplota za ogrevanje znaša 14,49 kWh/(m²a), skupna letna poraba primarne energije 107 kWh/(m²a), toplotne izgube so 9,13 W/m².

Industrijska zgradba, Drexel und Weiss, Wolfurt, Avstrija

Podjetje Drexel in Weiss se je odločilo, da proizvodnjo prezračevalnih naprav namesto v novogradnjo postavi v odslužen industrijski objekt in s tem doprinese k zmanjševanju obremenjevanja okolja [28]. Sanacija dvoetažnega objekta, grajenega v letu 1969, je morala zagotoviti standarde pasivne gradnje. Zgradba s 3300 m² površin ima v pritličju proizvodne prostore, v zgornji etaži pa poslovne in skladiščne prostore ter proizvodnjo manjših elementov. Celoten zunanji ovoj je bil obnovljen po pasivnih standardih. Velik izziv pri sanaciji je bila pritlična etaža z neizoliranimi tlemi. Kljub temu so bile tudi tu dosežene vrednosti, ki jih zahteva pasivna gradnja – predvsem zato, ker proizvodni prostori ne zahtevajo sobne temperature, temveč zadošča temperatura +18 °C. Zaradi tega je bilo možno zmanjšati toplotne izgube z dodatno izolacijo na podstavku zgradbe do višine 80 cm. Simulacije so pokazale, da dodatna toplotna izolacija na tleh ni potrebna. Stenska konstrukcija starega objekta je bila iz betonskih prefabriciranih elementov. Ob sanaciji so jih nadomestili z dobro izoliranimi lesenimi montažnimi elementi s fasadno oblogo iz vlaknocementnih plošč. 14 cm debela plast toplotne izolacije na strehi je bila povečana za 20 cm.

Posamezni deli zgradbe se prezračujejo z decentralno prezračevalno napravo. V pisarnah, učilnicah in bivalnih



Slika 9: Večstanovanjsko naselje Utendorfsgasse, Dunaj, Avstrija.
Figure 9: The Utendorfsgasse housing estate, Vienna, Austria.



Slika 10: Industrijski objekt podjetja Drexel und Weiss, Wolfurt, Avstrija.
Figure 10: Industrial facility of the Drexel & Weiss company, Wolfurt, Austria.

prostorih so vgrajene posamezne kompaktne enote. Toploto, potrebno za ogrevanje, se pridobi s toplotno črpalko iz podtalnice in s toplotno črpalko zrak-zrak v prezračevalni napravi.

Letna potrebna toplota za ogrevanje se je z 200 kWh/(m²a) po sanaciji zmanjšala na 11,50 kWh/(m²a) [7].

Sanacija po v pasivnem standardu, večstanovanjski objekt Makartstrasse, Linz

Petnadstropna stanovanjska zgradba s 50 stanovanji (3106 m² skupne stanovanjske površine), zgrajena v letih 1957/58, je bila potrebna temeljite prenove. Osnovni cilj sanacijske zasnove je bil po eni strani čim večji prihranek energije, po drugi pa povečanje funkcionalnosti in uporabnosti zgradbe [18]. Stroški za ogrevanje so se po sanaciji znižali kar za desetkrat. Demonstracijski projekt je prva sanacija večstanovanjskega objekta v Avstriji in ima veliko vrednost za posodobitev podobnih gradenj.

Konstrukcija zgradbe je bila v slabem stanju, z okni, ki niso ustrezala sodobnim standardom in so povzročala v zimskih mesecih velike toplotne izgube. Poleg tega so bili balkoni zaradi lege zgradbe ob močno prometni ulici neuporabni. Zaradi hrupa tudi ni bilo možno prezračevanje skozi odprta okna.

Poleg obnove strehe, dodatne toplotne izolacije v kleti in na strehi, povečanja in zaprtja balkonov, je bil energijsko učinkovito saniran tudi zunanji ovoj zgradbe. Uporabljeni so bili prefabricirani fasadnimi elementi z vgrajenimi okni s toplotno prehodnostjo $U = 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. Fasadni elementi so sestavljeni iz posebnega celuloznega satovja, ki ga je mogoče poljubno obarvati. Na notranji strani je plast toplotne izolacije, na zunanji pa je satovje, prekrito s steklom. Fasadni elementi so vgrajeni na zunanjo stran obstoječega zidu iz žilindrinega betona. Prezračevana zasteklitev ščiti satovje pred vremenskimi vplivi in mehanskimi poškodbami. Pozimi sončna energija zaradi nizkega vpadnega kota sevanja prodre globoko v satovje

in ga ogreje. Na zunanji strani stene se tako ustvari topla cona. Temperaturne razlike med notranjim in zunanjim prostorom tako ni, zato toplota ne prehaja skozi konstrukcijo. Če pa ni toplotnih izgub, ni niti potreb po toploti. Poletni vpadni kot sončnih žarkov je visok, zato ne prodre v satovje, torej tudi ni poletnega pregrevanja.

Poleg dobrega toplotnoizolativnega ovoja so bili za pasivni standard uvedeni še drugi ukrepi – decentralni prezračevalni istem z vračanjem toplote odpadnega zraka (73 % izkoristek). Z vsemi ukrepi se je letna potrebna toplota za ogrevanje s cca. 179 kWh/(m²a) pred sanacijo, po njej znižala na 14,4 kWh/(m²a), toplotne izgube pa s 118 W/m² na 11,3 W/m².

Projekt je leta 2006 prejel nagrado Energie-Star, ki jo dežela Gornja Avstrija vsako leto podeljuje uspešnim projektom na področju energijske učinkovitosti in obnovljivih virov energije. Poleg tega je projekt isto leto dobil avstrijsko državno nagrado za arhitekturo in trajnostni razvoj.

Hiša-S, pasivna hiša iz slame

Hiša-S je dvonadstropna pasivna hiša, zgrajena iz slamnatih bal in lesa. Služi kot informacijski center za trajnostno gradnjo in demonstrira uporabo lokalnih, obnovljivih surovinskih virov [22]. Izkazalo se je, da so tudi naravna gradiva primerna za pasivno gradnjo. Slama ima visoko toplotno izolativnost in izredno dobre gradbeno-biološke lastnosti. Je regenerativno gradivo z nizko porabo energije in dolgo življenjsko dobo. Dobro uravnava vlago v prostoru in predstavlja tudi zvočno zaščito.

Inovativna konstrukcija hiše omogoča kombinacijo uporabe regionalnega gradiva s pasivno tehnologijo. Tako je mogoče izpolniti stroge zahteve za standard pasivne hiše (gradnja brez toplotnih mostov, zrakotesnost zgradbe), brez vgradnje ekološko neprimernih in energijsko potratnih toplotnih izolacij. S tem Hiša-S ustreza tudi vsem zahtevam trajnostne in ekološke gradnje. Zgradbo sestavlja lesena lahka konstrukcija, med nosilne elemente so vstavljene bale slame. Na notranji strani



Slika 11: Sanacija večstanovanjskega objekta v pasivnega, Linz, Avstrija.
Figure 11: Remediation of a multi-occupied building and conversion into a passive one, Linz, Austria.



Slika 12: Zahodna fasada hiše S, Böhheimkirchen, Avstrija.
Figure 12: Western frontage of the S-house, Böhheimkirchen, Austria.

ima konstrukcija parno oviro, na zunanji vetrno zaporo in prezračevalno leseno fasado.

Ta objekt določata trajnost in vračanje k naravi, povezani z idejo uporabe odvečne odpadne slame kot surovine v vseh elementih, od izolacije do pisalnih miz in notranjih vrat, ki niso iz lesenih, temveč iz slamnatih plošč. Aktualnemu trendu gradnje iz kovin, ki je trenutno prisoten v arhitekturi, je hiša iz slame popolno nasprotje – lesena fasada je pritrjena na toplotno izolacijo iz slame z lesenimi, namesto kovinskimi moznički, in s posebej za ta namen razvitimi lesenimi vijaki. Po koncu življenjske dobe bo gradivo možno neškodljivo odstraniti. Za temperaturne konice, do katerih pride zaradi različne uporabe zgradbe, je bila skonstruirana posebna peč na biomaso z zmogljivostjo do 5 kW. Zanimivo je, da so zahteve pasivne hiše po toploti, potrebni za ogrevanje zgradbe v enem letu, pri tej hiši zlahka dosežene. Njen pomen pa je veliko večji. Pasivni standard je sicer nedvomno velik dosežek, približa pa se tudi nadaljnjemu koraku – trajnostni rabi energije za izgradnjo objekta. Prava trajnostna zgradba mora namreč odgovoriti na vprašanje, kako se pridobivajo gradiva in kako se odstranijo.

Plusenergijsko večstanovanjsko naselje Schlierberg, Freiburg

Schlierberg je naselje 19-tih vrst stanovanjskih plusenergijskih hiš v dvo- in trietažnih vrstnih zgradbah. Hiše so zgrajene po pasivnih standardih. Potrebno dodatno toploto dobijo iz manjše kogeneracijske toplarne (sočasna proizvodnja toplote in elektrike) v neposredni bližini, ki zagotavlja toploto tudi drugim nizkoenergijskim in pasivnim zgradbam v okrožju [12]. Vse južno orientirane strehe so v celoti prekrte s sončnimi moduli, ki hkrati služijo tudi kot kritina. Z maksimalno močjo 7,5 kW oddajo letno povprečno 7000 kWh elektrike v javno energetska omrežje: to je več energije, kot jo zgradbe letno potrebujejo za lastne potrebe po elektriki, plinu in za ogrevanje. Zaradi tega imajo te pasivne hiše oznako plusenergijske [6].

Vseh 58 stanovanjskih enot je orientiranih proti jugu. Razmaki med posameznimi vrstami so tako veliki, da je zagotovljeno sončno sevanje tudi pozimi pri nizkem vpadnem kotu sončnih žarkov. Plusenergijske hiše so izdelane iz prefabriciranih lesenih plošč iz domačega lesa. Stene so dobro toplotno izolirane (stene $U = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$; okna $U = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$), omogočajo pasivno in aktivno izrabo sončne energije. Stanovanjske enote imajo kontrolirano prezračevanje z vračanjem toplote odpadnega zraka.

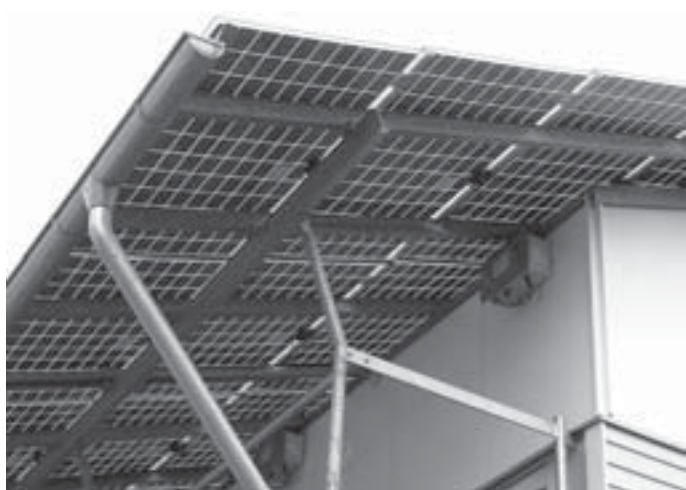
Plusenergijsko stanovanjsko naselje Schlierberg spada med najmoderneje solarne stanovanjske objekte v Evropi [21]. Ulice so namenjene pešcem in igri otrok, parkiranje je urejeno v garažni hiši Sonnenschiff in solarni garaži Vauban v neposredni bližini.

Občinski center Ludesch

Ludesch je manjše mesto v Vorarlbergu, avstrijski deželi, bogati s hojevimi gozdovi. V tej vasi je bil leta 2006 zgrajen Občinski center Ludesch [29]. Vorarlberg ima dolgo tradicijo gradnje z lesom, ki sega tudi v sodobno gradnjo. To je bil glavni razlog za izbiro tehnologije gradnje. Druga glavna zapoved na tem področju je trajnostna gradnja, zato odločitev za pasivni standard.

Občinski center Ludesch stoji v vaškem centru in vključuje različne dejavnosti: javno knjižnico, otroško igralnico, prostor za kulturne prireditve, pošto, pisarne, dve trgovinici, gostinski lokal in še kaj. Sestavljen je iz treh dvoetažnih gradbenih teles, ki so postavljena tako, da tvorijo zunanji pokrit prostor – vaški center.

Prefabricirani elementi, ki sestavljajo zgradbo, so iz lesa. Zunanje stene imajo v stensko konstrukcijo napihano toplotno izolacijo iz celuloznih kosmičev, v notranjih stenah pa je toplotna izolacija iz ovčje volne, pridelane v bližini. Ovčja volna skrbi za zdravo prostorsko klimo, poleg tega pa zaustavlja širjenje zvoka.



Slika 13: Plusenergijsko naselje Schlierberg, Freiburg, Nemčija.

Figure 13: Schlieberg, plus-energy settlement, Freiburg, Germany.

Slika 14: Plusenergijsko naselje Schlierberg, kritina iz modulov sončnih celic predstavlja sončno zaščito.

Figure 14: Schlieberg, plus-energy settlement, solar roofing provides protection from sunlight.

Slika 15: Občinski center Ludesch

Figure 15: Municipal centre Ludesch

Potrebe po toploti so v posameznih prostorih različne zaradi različnih vsebin. Tako ne gre zanemariti toplote, ki jo oddajo računalniki in ljudje v nekaterih prostorih. Potrebe po toploti so bile zato določene za vsak prostor posebej. Takoj ko se temperatura v posameznem prostoru zniža, se začne vpihovati ogret zrak. Prezračevalna naprava je povezana s toplotno črpalko, ki izrablja toploto podtalnice (globina 35 m, konstantna temperatura 7°C). Pozimi služi za predogrevanje zraka, poleti pa za ohlajanje. Sanitarno vodo ogrevajo sprejemniki sončne energije na strehi (30 m²). Pozimi zagotavlja dodatno potrebno energijo za ogrevanje toplarna na biomaso, ki stoji v neposredni bližini Občinskega centra. Letna potrebna toplota za ogrevanje znaša 13,8 kWh/(m²a) za približno 3200 m² ogrevanih površin.

Streha vaškega zunanjega prostora vključuje 350 m² modulov sončnih celic. Letno proizvede 16.000 kWh okolju prijazne električne energije. Taka količina energije predstavlja povprečno letno porabo petih gospodinjstev. Proizveden električni tok se odvede v javno električno omrežje (prodajna cena ekološke elektrike v Avstriji je 0,71 €). Sončni moduli predstavljajo hkrati tudi zaščito pred dežjem, snegom in soncem.

Zaključek

Veliki realizirani objekti so dokaz, da namembnost in velikost objekta nista ovira za uvajanje pasivnih standardov. Pri tem je treba izpostaviti nekaj pomembnih dejstev:

Načrtovanje in izvedba kakovostnega toplotnega ovoja zgradb nista več šibka točka pasivnih zgradb. Detajli so tehnično in praktično dovršeni, ne pojavljajo se mesta, kjer bi nenadzorovano uhajala toplota. Reševanje toplotnih mostov in zrakotesnosti objektov ni več izziv, toplotni ovoj je v celoti obvladan.

Težišče odgovornosti za doseganje pasivnih standardov se pri velikih objektih prenaša na področje inštalacij. Veliki pasivni objekti delujejo le, če imajo dovršeno tehnično postrojenje, ki zagotavlja dovolj zraka in toplote. Zaradi nizkih ogrevalnih potreb zgradbe nimajo konvencionalnih sistemov ogrevanja. Potrebno toploto zagotovijo izključno obnovljivi viri energije, kar tudi ne predstavlja več težav. Večji izzivi se pojavljajo pri sistemih za prezračevanje objektov. Pri prikazanih velikih pasivnih hišah so uporabljeni trije koncepti prezračevanja: centralno, decentralno in polcentralno. Centralni sistem v velikih objektih ima skupni prenosnik toplote, kjer se sveži vstopajoči zrak ogreje s toploto izstopajočega zraka in od tu odvede v posamezne prostore po celotnem objektu. Po potrebi se zrak tudi dogreva v skupnem prenosniku toplote. Pri decentralnem sistemu ima vsaka enota svoj prezračevalni sistem – zajem zraka, prenosnik toplote in odvod zraka. Polcentralni sistem prezračevanja ima skupni prenosnik toplote, kjer se vstopajoči zrak delno ogreje, za dodatno ogrevanje pa skrbijo grelniki zraka, ki so v posameznih prostorih ali skupinah prostorov (npr. vsaka stanovanjska enota v večstanovanjskih objektih). Pravilno izbran, načrtovan in izveden sistem prezračevanja je ključni pogoj za doseganje standarda pasivne hiše in tudi kakovostnega bivalnega ugodja v zgradbi.

Tehnologija gradnje pasivne hiše je danes že tako dovršena, da izključuje drastične napake. Vendar pa je v celotnem procesu nastanka take hiše potreben strokovni team. Prav pri velikih pasivnih objektih je mogoče ugotoviti, da arhitekt ni več ključni ustvarjalec zgradbe. Še posebej pri velikih objektih se odgovornost prenaša od arhitekta na projektanta strojnih inštalacij.

Viri in literatura

- Feist, W. et al., (2008): PASSIVHAUS PROJEKTIERUNGSPAKET 2008. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Feist, W., (1998 a), DAS PASSIVHAUS – BAUSTANDARD DER ZUKUNFT?, Protokollband Nr. 12, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Feist, W., (1998 b), DAS PASSIVHAUS FENSTER. Protokollband Nr. 14, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Feist, W., (2005), WÄRMEBRÜCKENFREIES KONSTRUIREN. Protokollband Nr. 16, Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Graf, A., (2003): NEUE PASSIVHÄUSER. Callwey, München.
- Gunßer, Ch., 2000: ENERGIESPARSIEDLUNGEN. Callwey, München.
- INOVATIVE PASSIVHAUSPROJEKTE. 2006. IG Passivhaus Darmstadt.
- Kaufmann, B., et al., 2004: PASSIVHAUS ERFOLGREICH PLANEN UND BAUEN. Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Lander NRW, Aachen.
- Oehler, S., (2004): GROSSE PASSIVHÄUSER. Kohlhammer, Stuttgart.
- Peper, S., et al., 2005: LUFTDICHTHE PROJEKTIERUNG VON PASSIVHÄUSERN. Passivhaus Institut, Darmstadt.
- Schwarz Müller, E., Fuhrmann, E., et al., 1999: WÄRMEBRÜCKEN, LUFT- UND WINDDICHTHE. Energie Tirol, Innsbruck.
- SOLAR ENERGIE GUIDE. 2006, Freiburg am Breisgau.
- Zbašnik-Senegačnik, M., 2007: PASIVNA HIŠA. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo. Ljubljana.
- Združenje pasivna hiša, <http://www.ig-passivhaus.de>, <januar 2008>.
- Večstanovanjski objekti, Socialna stanovanja na Dunaju, Utendorfgasse, http://energytech.at/pdf/gebäude_schoeberl.pdf, <januar 2008>.
- Študentski dom, Dunaj, <http://www.baumschlager-eberle.com/default.asp?lang=1&page=1&view=3&data=50>, <avgust 2007>.
- Poslovna zgradb, Energon, Ulm, <http://www.energon-ulm.de/>, <julij 2007>.
- Sanacija večstanovanjskega objekta Makartstrasse, Linz, <http://www.gap-solar.at>, <januar 2008>.
- Proizvodni prostori, Drexel und Weiss, Wolfurt, Avstrija, <http://www.klimaaktiv-gebaut.at/drexelundweiss.html>, <avgust 2007>.
- Samozadostna planinska kočja Schiestl na Hochschwab-u, [http://www.nachhaltigwirtschaften.at/\(de/publikationen/forschungsforum/052/teil1.html](http://www.nachhaltigwirtschaften.at/(de/publikationen/forschungsforum/052/teil1.html), (avgust 2007>., <http://www.holzbaupreis-stmk.at/pressebilder/siegerprojekt-nachhaltigkeit.jpg>
- Pluenergijsko stanovanjsko naselje Schlierberg, (<http://www.plusenergiehaus.de>; <julij 2006>.
- Hiša-S, <http://www.hausderzukunft.at/results.html/id1752>, <julij 2007>. <http://www.klimaaktiv-gebaut.at>, <januar 2008> http://www.s-house.at/S-House_Broschuere.pdf, <avgust 2007>.
- Večnamenski objekt, SOL 4, Dunaj, <http://www.sol4.info>, <avgust 2007>.
- Osnovna šola in vrtec, Frankfurt, <http://www.stadt-frankfurt.de/energiemanagement/passiv/Fachaufsatz-Riedberg.pdf> <julij 2007>.
- Cerkev sv. Frančiška, Wels, Avstrija, http://www.baunetz.de/sixcms_4/sixcms/detail.php?id=150398&area_id=2483, <januar 2008>.
- Energon, Ulm, Nemčija <http://www.energon-ulm.de/>, <januar 2008>.
- Večstanovanjski objekti na Utendorfgase, Dunaj, <http://www.hausderzukunft.at>, <januar 2008>. http://energytech.at/pdf/gebäude_schoeberl.pdf, <januar 2008>.
- Industrijska zgradba, Drexel und Weiss, Wolfurt, Avstrija, <http://www.klimaaktiv-gebaut.at/drexelundweiss.html>, <januar 2008>.
- Družbeni center Ludesch, Ludesch, Avstrija, NEUBAU ÖKOLOGISCHES GEMEINDEZENTRUM LUDESCH, Bundesministerium für Verkehr, Innovationen und Technologie, Wien, 2006.

Viri slikovnega gradiva

- foto: Martina Zbašnik-Senegačnik (slike 1, 2, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14)
- slika 3: <http://www.holzbaupreis-stmk.at/pressebilder/siegerprojekt-nachhaltigkeit.jpg> (februar 2008)
- slika 8: <http://www.energon-ulm.de> (februar 2008)