



00

vsebina

Knjigi na pot	004	4 Konstruiranje brez toplotnih mostov	062
Predgovor	006	4.1 Vrste toplotnih mostov.....	063
Recenzija	012	4.2 Posledice toplotnih mostov.....	065
1 Uvod	016	4.3 Načrtovanje detajlov	066
2 Zmanjševanje porabe energije v zgradbah	020	5 Zrakotesnost	074
2.1 Definicija pasivne hiše	023	5.1 Načrtovanje zrakotesnega ovoja	077
2.2 Toplotna bilanca pasivne hiše.....	025	5.2 Preverjanje zrakotesnosti ovoja.....	078
2.2.1 Vrste toplotnih izgub.....	025	5.3 Zrakotesnost in tehnologija gradnje	079
2.2.2 Vrste toplotnih dobitkov.....	026	5.3.1 Masivna gradnja	080
2.3 Izračun letne potrebne toplote za ogrevanje	027	5.3.2 Lahka gradnja	080
2.4 Standard pasivne hiše	028	5.4 Zrakotesnost stikov.....	081
2.5 Ugodje v pasivni hiši	029	5.5 Preboji zaradi instalacij	087
2.6 Ekološko osveščeno bivanje.....	032	5.6 Zrakotesna vgradnja oken in vrat.....	088
2.7 Ekološka izbira gradiv	033	5.7 Vetrna tesnost	088
3 Osnovna načela pri načrtovanju pasivne hiše	034	6 Prezračevanje	090
3.1 Orientacija	036	6.1 Delovanje kontroliranega prezračevanja	092
3.2 Izraba dobitkov sončnega obsevanja skozi zasteklitve	036	6.2 Učinkovitost prezračevalnih naprav	094
3.3 Shranjevanje sončne energije.....	038	6.3 Zemeljski prenosnik toplote	096
3.4 Oblika zgradbe	040	6.4 Električni predgrelni register.....	096
3.5 Toplotna hierarhija prostorov – temperaturno coniranje.....	041	6.5 Grelni register	097
3.6 Tehnologija gradnje	042	6.6 Zvočna zaščita.....	097
3.6.1 Masivne stene	043	7 Ogrevanje	098
3.6.2 Lahke stene.....	043	7.1 Toplotna črpalka	100
3.7 Toplotna izolacija.....	045	7.2 Delovanje toplotne črpalke	101
3.7.1 Prosojna toplotna izolacija.....	046	7.3 Vrste toplotnih črpalk	102
3.8 Okna in vrata	049	7.3.1 Toplota zraka.....	102
3.8.1 Steklo.....	050	7.3.2 Toplota površinske zemlje.....	103
3.8.2 Okvir	052	7.3.3 Toplota kamnin.....	103
3.8.3 Okno	053	7.3.4 Toplota podtalnice.....	104
3.8.4 Rolete in žaluzije	054	7.3.5 Toplota površinskih voda	104
3.8.5 Vhodna vrata.....	055	7.4 Pretvarjanje sončne energije	105
3.8.6 Vetrolov	056	7.4.1 Sprejemniki sončne energije	105
3.9 Zaščita pred poletnim pregrevanjem	056	7.4.2 Sončne celice	107
3.9.1 Načini preprečevanja poletnega pregrevanja ...	057	8 Ekonomska zasnova pasivne hiše	112
		Glosar	116
		Stvarno kazalo	122
		Literatura in viri	124



01

uvod

Človeštvo se spopada s posledicami svojega ravnanja v zadnjem stoletju. Napovedim o pomanjkanju fosilnih energetskega virov v bližnji prihodnosti so se pridružila še spoznanja o vplivih škodljivih emisij v ozračju. Ozonski luknji, ki je še pred kratkim povzročala največjo skrb, se je pridružilo globalno segrevanje ozračja. Strokovnjaki so vedno bolj enotnega mnenja, da to niso naravne spremembe, temveč posledica človekovih dejavnosti, zaradi katerih se sprošča čedalje več toplogrednih plinov. Ogljikov dioksid (CO₂), ki nastaja pri zgorevanju fosilnih goriv, povzroča 81 % toplogrednega učinka.

V zadnjih desetletjih se je povprečna temperatura na planetu zvišala skoraj za 1 °C. Ob tako hitrem obremenjevanju okolja se bo do leta 2100 dvignila še za najmanj 4 °C, kar bo najprej povzročilo taljenje ledu na obeh polih ter posledično dvig morske gladine, s tem pa močno prizadelo človeštvo. Napovedujejo se vremenske spremembe. Navaditi se bomo morali na vroča poletja, mrzle zime, sušna obdobja, vremenska neurja s poplavami, vetrovi... Čista pitna voda bo postala strateško naravno bogastvo.

Odzivi na napovedi okoljskih strokovnjakov in aktivistov po vsem svetu so različne pobude, ki bolj ali manj obvezujejo države k takojšnjemu ukrepanju, ko je še možno preprečiti katastrofo. Številni mednarodni sporazumi pa nimajo zelenega učinka, ker za rešitev primanjkuje politične volje. Iluzorno je pričakovati, da bo za vse poskrbela država. Ne nazadnje smo država posamezniki, skupaj s svojim razmišljanjem, prepričanjem, delovanjem... Zavedati se moramo odgovornosti in kot posamezniki nekaj narediti za svoje vnuke, ne glede na to, kaj trenutno delajo na Kitajskem in v Indiji in tudi ne glede na to, ali bodo ZDA podpisale Kjotski sporazum ali ne. To bi morala biti prostovoljna želja vsakega izmed nas, ko bo ukrepala država, bo to postala prisila.

Še pred nekaj leti je bila okoljska politika usmerjena k pozivu za zmanjševanje porabe fosilnih energetskega virov in zamenjavo z obnovljivimi viri energije. Les in lesna goriva pa so se zdela veliko bolj ekološka, kot je videti danes. Kurjenje lesa sicer ne povzroča emisij žveplovega dioksida kot premog, nafta in zemeljski plin, kar je seveda pozitivno. Vendar pa se ob gorenju sprošča ogljikov dioksid, ki je najpogostejši toplogredni plin. Zamenjava fosilnih energetskega virov z lesom je le delna rešitev.

V Evropi je več kot 40 % proizvedene energije povezane s potrebami zgradb. Del te količine je potreben za proizvodnjo gradiv, njihov transport, vgradnjo..., tudi odstranitev, ostalo pa leto za letom za ogrevanje, hlajenje, pogon naprav in razsvetljavo v zgradbah. Razvoj nizkoenergijskih tehnologij za proizvodnjo gradiv bo le delno pripomogel k manjši odvisnosti zgradb od energije fosilnih goriv.

Trenutno je na svetu na voljo dovolj različnih tehnologij, ki dolgoročno zmanjšujejo odvisnost človeštva od neprijaznih energentov do okolja, tako da prihodnost ni nujno tako zaskrbljujoča. Toploto in električno energijo je mogoče pridobiti iz sončne energije, ki jo sonce pošilja na zemljo v ogromnih količinah. Ta energija je sicer zaenkrat še nekoliko dražja, vendar veliko manj vpliva na znižanje standarda kot bo to v prihodnosti, ko bo stanje v naravi še slabše in bo hkrati treba sanirati še posledice.

V Sloveniji se zaradi potreb v industriji poraba energije vsako leto poveča za 4 %. Proizvodnja električne energije se ne veča tako hitro, zato jo je treba uvažati. Po drugi strani mora Slovenija po Kjotskem sporazumu že zdaj kupovati kvote zaradi preseganja dogovorjenih izpustov CO₂ v ozračje. Slovenija je tako kot druge evropske države in ves svet pred energetske dilemo: kako z energijo zadovoljiti čedalje večje potrebe, hkrati pa zmanjšati izpuste toplogrednih plinov in škodljive vplive na okolje. Zamenjava premoga, nafte in zemeljskega plina pri trenutni porabi energije ni možna, ker jih je premalo. Prava rešitev pri zmanjšanju emisij CO₂ je energijsko varčna gradnja. V prihodnosti se najbrž lahko pričakuje razvoj plusenergijskih hiš, ki že delujejo kot pilotni projekti, so pa še zelo drage. Trenutna stopnja tehnologije pa

omogoča cenovno rentabilno gradnjo pasivnih hiš, kar se izkazuje z izvedbami in obratovanjem več kot 8.000 pasivnih hiš, večinoma v Evropi, pa tudi drugje po svetu.

Če smo svojo ekološko osveščenost še pred nekaj leti merili s pripravljenostjo sortiranja in ločenega zbiranja odpadkov, je zdaj čas za naslednji, učinkovitejši korak – zmanjšati porabo energije v zgradbah. Preprečiti moramo nadaljnje onesnaženje okolja; ne le kot investitorji, temveč tudi kot projektanti.



02

zmanjševanje porabe energije v zgradbah

Naraščanje porabe energije in večanje toplogrednega učinka spadata med najbolj pereče probleme današnjega časa. Šestina svetovnega prebivalstva, bogata manjšina, zahteva zase skoraj vso energijo in surovine. Energijskih virov je čedalje manj, poleg tega njihovo izgorevanje prispeva k segrevanju ozračja. Učinki globalnega segrevanja zemlje bodo imeli katastrofalne posledice, če v kratkem ne bo prišlo do izboljšanja in varčnejšega ravnanja z energijo. Nekatere industrijske panoge so že sprejele izziv in razvoj usmerile v tehnologije s čim manjšim vplivom na okolje. Ena od njih je avtomobilska industrija – obstajajo že avtomobili, ki rabijo le še tri litre goriva na 100 kilometrov ali pa jih poganjajo obnovljivi viri energije (vodik, biodizel, bioetanol).¹⁴ Sledi ji tudi gradbena industrija; gradijo se hiše, ki imajo enako ali še manjšo letno porabo energije kurilnega olja na kvadratni meter ogrevane površine kot najvarčnejši avtomobili, kar predstavlja velik potencial k razbremenjevanju okolja v prihodnosti.

Danes poznamo več konceptov energijsko varčne gradnje:

➤ Nizkoenergijska hiša

Nizkoenergijska hiša je zgradba z letno potrebno toploto za ogrevanje (energijsko število) med 40–60 kWh/(m²a) (zahteve so v vsaki državi nekoliko drugačne) in najmanj 15 kWh/(m²a). Čim nižje je energijsko število, tem boljša je toplotna zaščita zgradbe. Za doseganje nizkih energijskih števil sta potrebna dobro toplotno izoliran in zrakotesen ovoj zgradbe ter zasteklitev s toplotnoizolacijskim steklom. V nizkoenergijski zgradbi so potrebni konvencionalni ogrevalni sistem in grelna telesa. Svež zrak (vtočni zrak oz. dovodni zrak) se v zgradbo dovaja prisilno – po notranjem razdelilnem sistemu. Izrabljen zrak (odtočni zrak oz. odvodni zrak) se iz zgradbe odsesava brez izrabljanja njegove toplote. Zrakotesnost nizkoenergijske hiše je $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$.

➤ Trilitrska hiša

Trilitrska hiša je nizkoenergijska hiša z letno potrebno toploto za ogrevanje okoli 30 kWh/(m²a). Predpisana zrakotesnost je $n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$. Konstrukcija mora biti brez toplotnih mostov. Potreben je konvencionalni ogrevalni sistem. V trilitrsko hišo je vgrajena vsaj ena od naslednjih komponent: sončna naprava za ogrevanje sanitarne vode in/ali prezračevalna naprava z vračanjem toplote izrabljenega zraka.

➤ Pasivna hiša

Pasivna hiša je energijsko varčna zgradba, pri kateri je potrebno bivalno ugodje zagotovljeno brez običajnih ogrevalnih sistemov ali klimatskih naprav. Letna potrebna toplota za ogrevanje zgradbe je lahko največ 15 kWh/(m²a) (mednarodni dogovor, ki velja v vseh državah). Potrebna toplota za ogrevanje se dovaja v prostore prek prezračevalne naprave (toplozračno ogrevanje), ki sočasno zagotavlja tudi vračanje toplote izrabljenega zraka. Zrakotesnost mora biti $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. Konstrukcija mora biti izvedena brez toplotnih mostov ($\psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$). Skupna poraba primarne energije je lahko največ 120 kWh/(m²a).

➤ Ničenergijska hiša

Ničenergijska hiša je zgradba, ki v letnem povprečju celotno porabljeno energijo (toplota in električna energija) sama pridobi iz sončne energije, vendar ni neodvisna od javnega energetskega omrežja. Poleti presežek električne energije odda v javno omrežje. Pozimi ničenergijska hiša porablja električno energijo iz javnega omrežja. Letna bilanca je izravnana. Ničenergijska hiša ima 40–60 cm debelo plast toplotne izolacije, izvedena je brez toplotnih mostov. Zgradba nima konvencionalnega ogrevalnega sistema. Aktivno in pasivno izrablja sončno energijo. Velik hranilnik toplote premošča potrebe po toploti tudi v oblačnih dnevih.

➤ Energijsko samozadostna hiša

Energijsko samozadostna (neodvisna) hiša je zgradba, ki vso potrebno energijo (ogrevanje, sanitarna voda, elektrika za gospodinjstvo in razsvetljavo) pridobi iz sončne energije. V primerjavi z ničenergijsko hišo so tu potrebne še večje površine sončnih celic in akumulatorji za

shranjevanje elektrike. Zgradba ni priključena na javno energetska omrežje. Poletni presežek električne energije se shrani za zimsko obdobje. Z elektrolizo vode se pridobita vodik in kisik, ki se ločeno uskladiščita. Pozimi se uporabita kot gorivo v gorivnih celicah.

➤ Plusenergijska hiša

Plusenergijska hiša je zgradba, ki ustreza energijsko samozadostni hiši, pridobivanje električne energije v sončnih celicah pa je tako obširno, da je dosežen presežek. To se doseže z aktivno izrabo sončne energije in izkoriščanjem vseh možnih energijskih prihrankov. Višek energije se odda v javno električno omrežje.

Med posameznimi koncepti niso razlike le v porabi energije, temveč tudi v sistemu obratovanja zgradbe. Vsak prispevek k zmanjševanju porabe energije pomeni korak naprej. Seveda pa se vedno pojavlja vprašanje rentabilnosti. Pri trenutnem stanju tehnologije je glede na ceno najoptimalnejša pasivna hiša. Korak naprej k ničenergijskim, energijsko neodvisnim in plusenergijskim zgradbam zahteva veliko večji vložek sredstev, ki ni racionalen. Take zgradbe so zaenkrat demonstracijski objekti, na katerih se preverjajo energetske scenarije prihodnosti. Pocenitev tehnologije sončnih celic v prihodnosti pa bo morda pomenila tudi to, da bo vsaka zgradba proizvedla več energije, kot jo bo porabila.

2.1 Definicija pasivne hiše

Ime pasivna hiša ne izhaja iz pasivne izrabe sončne energije, temveč iz dejstva, da zgradba ne potrebuje aktivnega ogrevalnega sistema.⁵ 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 obliki zgradbe. V pasivni hiši se živi tako kot v vsaki običajni hiši. Višji bivalni standardi so zagotovljeni izključno s tehničnimi izboljšavami na ovojju 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 ovojju zgradbe za zagotavljanje potreb po toploti veliko usodnejše kot pri običajnih zgradbah.

Koncept pasivnih hiš je bil kot pilotni projekt prvič izdelan leta 1991 v Darmstadt (Kranichstein). Razvil ga je dr. Wolfgang Feist (Passivhaus Institut). Ta prototip se je v praksi tako izkazal, da je nastal standard pasivnih hiš, ki se na trgu pojavljajo od leta 1998. V okviru projekta CEPHEUS (Cost Efficient Passiv Houses As European Standard) je s sodelavci ob spremljanju nekaj sto stanovanjskih objektov z meritvami



Slika 1: Večstanovanjski objekt v naselju Vauban, Freiburg, Nemčija



Slika 2: Osnovna šola v Frankfurtu v pasivnem standardu. Od leta 2006 velja na območju Frankfurta zakon, po katerem morajo biti vse šole, financirane iz javnih sredstev, zgrajene po standardih za pasivne zgradbe.



Slika 3: Športna dvorana Turnhalle v Heilbergu, Kirchheim v standardu pasivne gradnje, namenjena šolarjem in krajanom. Obodni masivni zidovi so izolirani s 30 cm ekspandiranega polistirena, streha je prekrita s 40 cm mineralne volne, blaga enokapnica je ozelenjena.



Slika 4: Pasivna cerkev v Welsu, Avstrija, južna fasada in notranjost



Slika 5: Poslovna stavba Inovacijskega centra, Weiz, Avstrija. Zgradba je zgrajena iz masivnega lesa in stekla. Skupna površina 2000 m². Če je v zgradbi več kot 17 ljudi, je tudi pozimi ni treba ogrevati.²⁵



Slika 6: Energon v Ulmu je največja pasivna poslovna stavba na svetu (7000 m² notranjih površin). Zgradba je dobro toplotno izolirana (stene 35 cm, tla pod temeljno ploščo 20 cm, streha 50 cm toplotne izolacije). 40 % delež steklenih površin na fasadi omogoča optimalne dobitke sončnega obsevanja, kot sončna zaščita služijo lamele na mehanski pogon. 328 m² sončnih celic na strehi letno proizvede 12.000 kWh električne energije.⁵²

in znanstvenimi analizami dokazal, da je možno pasivno hišo narediti z dosegljivimi sredstvi. Stanovalci v vrstnih hišah in večstanovanjskih zgradbah so bili vključeni v ankete, v katerih so pojasnjevali svoje izkušnje o bivanju v pasivnih hišah. Rezultati vseh teh študij so bili vedno pozitivni. Zaradi tega se je število sprva le v Nemčiji izdelanih pasivnih hiš hitro povečalo in razširilo tudi v druge države. Trenutno je po zagotovitvi dr. Feista (intervju z avtorico oktobra 2006) samo v Nemčiji okrog 6000 pasivnih hiš in v Avstriji okrog 1700, razširjene pa so tudi v Švici, na Nizozemskem, v Italiji in tudi na drugih celinah.

Kljub temu da pasivna hiša ne vključuje novih komponent, pa je pristop h gradnji nekoliko drugačen, kot smo ga vajeni. Potrebno je sodelovanje različnih strok že v začetni fazi načrtovanja. V delovni skupini so poleg arhitekta še strokovnjaki gradbene fizike, strojnih in elektro instalacij. Za vse udeležence pri gradnji je treba poskrbeti za dodatno izobraževanje. Brez novega znanja ni mogoče strokovno načrtovati pasivnih hiš, prav tako pa ni možna pravilna izvedba. To velja tako za enodružinske hiše kot za večstanovanjske zgradbe, poslovne objekte, šole itd.²³

Pasivne hiše porabijo več kot štirikrat manj energije v primerjavi z novogradnjami, izvedenimi po trenutno veljavnih predpisih. To omogoča oskrbi zgradb z energijo iz obnovljivih virov popolnoma nove možnosti. Do nedavnega je veljalo, da ekonomija, ekologija, nizka poraba energije in oskrba zgradb z obnovljivimi viri energije niso združljivi. Do združevanja je prišlo šele pri zgradbi, ki potrebuje minimalne količine energije za obratovanje, te pa je mogoče zagotavljati z minimalnimi količinami fosilnih energetskega virov.

Sožitje ekologije in ekonomije v zgradbah je posledica naslednjih dejstev:²³

- **Izboljšana toplotna izolativnost** ne pomeni le zmanjšanja toplotnih izgub, temveč tudi pozimi višje in poleti nižje površinske temperature zunanjih sten na notranji strani. S tem se izboljša ugodje, hkrati pa se zmanjša možnost za nastanek rose na notranjih površinah. Boljša toplotna izolativnost temelji na debelejši toplotni izolaciji.
- **Zmanjšanje toplotnih mostov** je po izkušnjah pasivne gradnje eden najekonomičnejših ukrepov. Zaradi tega se ugodje v prostoru zelo izboljša. Pri običajnih temperaturah in vlagi prostora na konstrukciji, ki nima toplotnih mostov, ne pride do pojava rose na notranjih površinah.
- Tudi **zrakotesnost** povečuje odpornost proti gradbenim poškodbam. Na pasivnih hišah, zgrajenih že pred enim desetletjem, je bilo dokazano, da skrbno načrtovan in izveden ovoj zgradbe lahko trajno ostane zrakotesen. Pri današnji tehnologiji gradnje pasivnih hiš je mogoče doseči zrakotesnost n_{50} okrog 0,3 h⁻¹. Trenutno zahtevana zrakotesnost pasivnih hiš je $n_{50} \leq 0,6$ h⁻¹.
- Pri **vgradnji oken** so bila v zadnjih letih dosežena izboljšanja. Osnovni pogoj za pasivne hiše so izredno kakovostna okna in način vgradnje, ki zahteva skrbno načrtovanje in še skrbnejšo izvedbo. Ravno visokoizolativna okna pripomorejo k ugodju v prostoru, saj



03

osnovna načela pri načrtovanju pasivne hiše

Za doseganje standarda pasivne gradnje sta pomembna celoten ovoj zgradbe in tudi ustroj njenega delovanja. Vsaka komponenta ima svoj pomen, šele upoštevanje vseh da zadovoljiv rezultat. Velik pomen imajo toplotni ovoj zgradbe, njegova oblika, sestava in kakovost izvedbe. Prvi ukrep za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje je optimalna zasnova zgradbe, vključno z njeno sestavo. Pred gradnjo morajo biti izdelane rešitve za vse toplotne mostove, do katerih prihaja na objektu. Med gradnjo je treba stalno preverjati kakovost izvedbe. Po koncu gradnje se pravilnost načrtovanja in izvedbe dokaže s certifikatom ustrezne institucije. V Sloveniji še ni ustanove, ki bi certificirala pasivne objekte, zato jih certificirajo tuje ustanove (npr. Passivhaus Institut Darmstadt).

V nadaljevanju so predstavljena osnovna načela, ki jih je treba upoštevati pri načrtovanju pasivne hiše.



Slika 23: Orientacija zgradbe proti jugu daje konceptu zgradbe precej ugodnosti z velikimi zastekljenimi površinami in vključevanjem sprejemnikov sončne energije. Južna fasada je zalomljena proti vzhodu in zahodu, kar omogoča še večji izkoristek, enodružinska pasivna hiša, Škofiče pri Vrbskem jezeru, Avstrija.

3.1 Orientacija

Pri pasivnih hišah ima orientacija velik pomen, saj omogoča izrabo dobitkov sončnega sevanja. Količina dobitkov sončnega obsevanja je odvisna od letnega časa in dnevnega gibanja sonca ter orientacije fasade. Vzhodna fasada je najintenzivneje obsevana zjutraj, zahodna pa popoldne. Južna fasada je poleti obsijana manj kot vzhodna in zahodna, nasprotno pa je pozimi obsevanje na južni fasadi intenzivnejše kot na vzhodni in zahodni. Ta sevalna razmerja razložijo prednosti južnih fasad za izrabo sončne energije.¹² Pri izbiri zemljišča za gradnjo je treba upoštevati, da je za pasivno hišo najugodnejše, če je umeščena na južno orientirano zemljišče. Južna orientacija v hladnih delih leta omogoča maksimalno izrabo sončne energije in s tem kar do 40-odstotni doprinos k ogrevanju zgradbe. Pasivna izraba sončne energije ima torej ugoden vpliv na skupno toplotno bilanco zgradbe. Odklon zgradbe za 10° od južne orientacije energijsko število poslabša za $0,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$. Zaradi tega se priporoča odklon od juga največ za $\pm 20^\circ$.²⁷ Na južni fasadi se zaradi sončnih dobitkov priporočajo večje zastekljene površine.



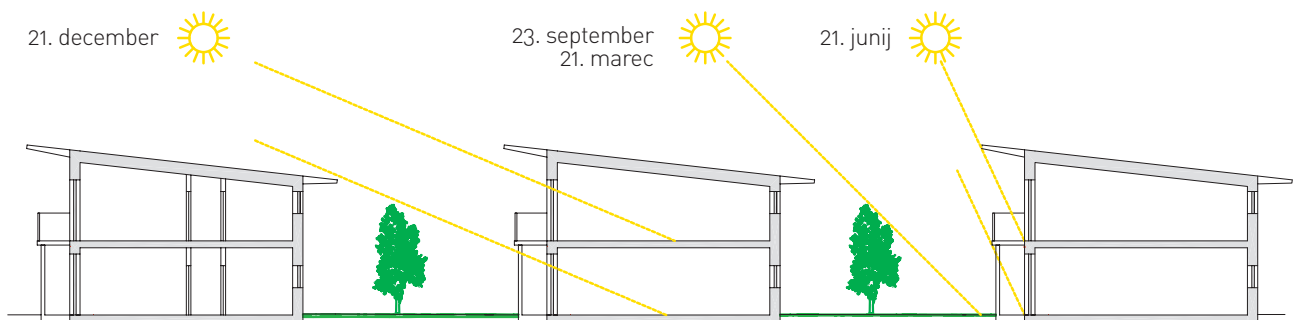
Slika 24: Orientacija proti jugu in krožna zasnova zgradbe omogočata izrabo sončne energije z uporabo zastekljenih površin, prosojne toplotne izolacije, sprejemnikov sončne energije in sončnih celic, energijsko samozadostna hiša, Freiburg, Nemčija.

3.2 Izraba dobitkov sončnega obsevanja skozi zasteklitve

Sončna energija, ki pride v zgradbo skozi okna, pripomore k udobju v prostoru – ne le zaradi svetlobe, temveč tudi zaradi toplote.⁶ Skozi zasteklitve v hišo prodirajo sončni žarki, ustvarjajo dobitke toplote, po drugi strani pa zaradi njih prihaja tudi do toplotnih izgub. Pri pasivnih zgradbah so zasteklitve pomembne, kljub temu da imajo dve pomanjkljivosti: zaradi razmeroma slabe toplotne izolativnosti (v primerjavi z neprosojnim ovojem) uhaja skozi njih veliko toplote, poleg tega so drage.¹⁴

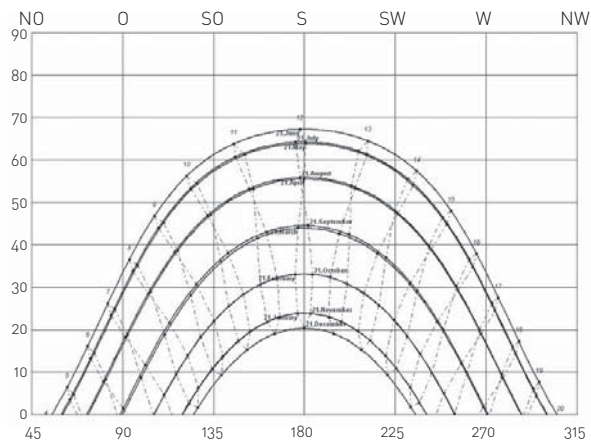
Poleg orientacije zgradbe je za izrabo dobitkov sončnega obsevanja pomembno, da sončni žarki dosežejo hišo. Zasenčenje zgradbe z visokimi drevesi ali sosednjimi zgradbami znižuje učinkovitost dobitkov sončnega obsevanja. Razmaki med zgradbami morajo biti

dimenzionirani glede na nizki vpadni kot zimskega sončnega sevanja. V bližini južne, vzhodne in zahodne fasade so lahko zasajena listopadna drevesa. Poleti so njihovi listi sončna zaščita, pozimi, ko odpadejo, pa sonce lahko sije na zgradbo.



Slika 25: Razmak med objekti je določen z zimskim vpadnim kotom sonca – zgradbe ne smejo zasenčiti sosednji objekti ali goste rastlinje.

Priporočena velikost zastekljenih površin je odvisna od orientacije zgradbe. Na južni strani, kjer se pričakujejo dobitki sončnega obsevanja, naj bodo površine čim večje. Severna stran ni obsijana s soncem, zato naj bodo steklene površine čim manjše.



Slika 26: Diagram sončne poti za Slovenijo

Največ sončne energije pride skozi steklo, če sončni žarki padajo nanj pravokotno. Pri odklonu od pravega kota le del sončne energije preide skozi steklo, ostali del pa se odbije. Torej je najbolje, če steklena površina sledi gibanju sonca.

Slika 27: Zgradbi se vrtita okrog svoje osi in dnevno sledita gibanju sonca, Heliotrop, Freiburg, Nemčija (desno) in hiša Gemini, Weiz, Avstrija.





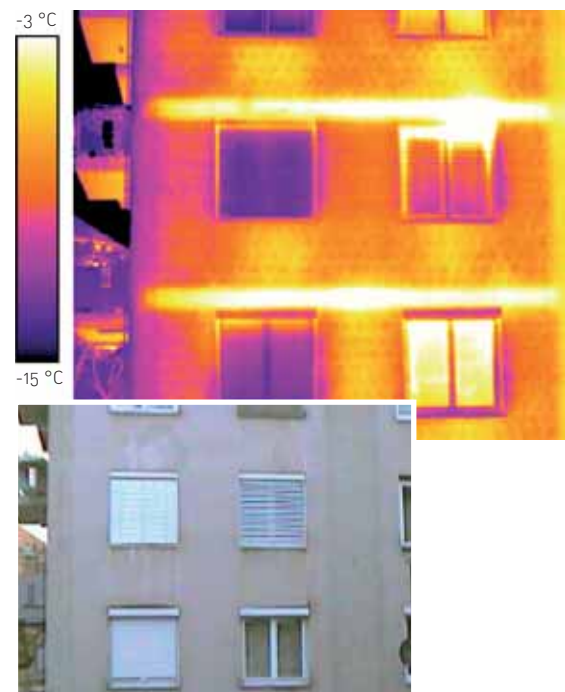
04

konstruiranje brez toplotnih mostov

Toplotni mostovi so lokalno omejene površine na gradbenem elementu, kjer je povečan prehod toplote. Pojavljajo se na zunanjem ovoju zgradbe, in sicer zaradi napak in pomanjkljivosti pri načrtovanju in izvedbi. Skozi toplotno neustrezno zaščitene dele fasadnega ovoja lahko zgradba izgublja zelo veliko toplote. Pri zgradbah, ki so dobro izolirane, je delež toplotnih izgub skozi toplotne mostove še precej večji kot pri običajnih hišah.

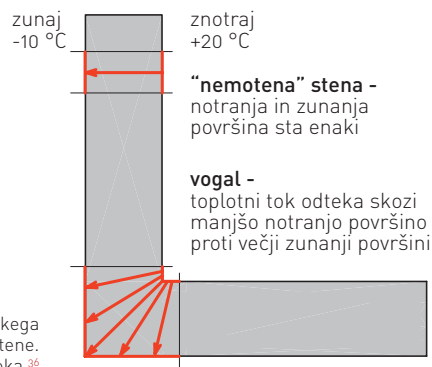
4.1 Vrste toplotnih mostov

Glede na vzrok nastanka delimo toplotne mostove na konvekcijske, geometrijske in konstrukcijske. **Konvekcijski toplotni mostovi** nastanejo na mestih, kjer skozi špranje ali odprtine nekontrolirano odteka topli zrak. Pri pasivnih hišah so konvekcijski toplotni mostovi praviloma kontrolirani oz. minimizirani, ker je ovoj zrakotesen, in se lahko zanemarijo (edine konvekcijske izgube nastanejo pri odpiranju vrat in oken).



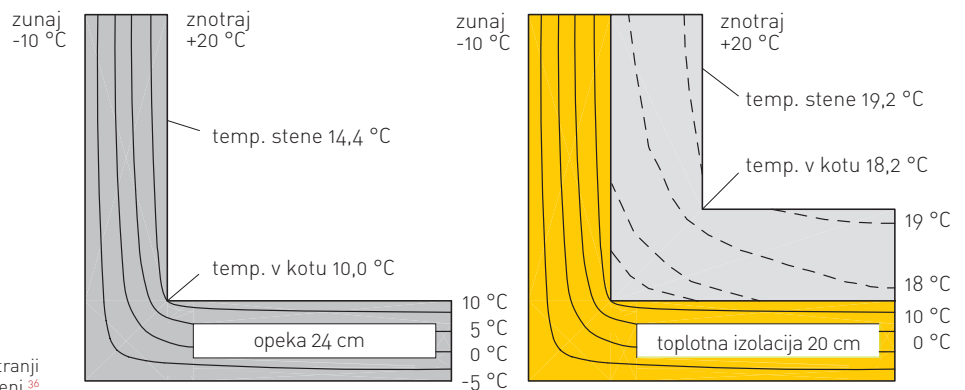
Slika 82: Termografska slika fasade – zgoraj v infrardečem spektru (7–15 μm) in spodaj v vidnem spektru. Hladna mesta so vijolične barve, topla rdeče, oranžne in rumene. Topli deli so toplotni mostovi, skoznje uhaja toplota. Srednje desno okno ima desno krilo odprto, kar se na posnetku pokaže kot najtoplejši del fasade, kjer uhaja največ toplote.

Geometrijski toplotni mostovi nastanejo na mestih, kjer je notranja površina, skozi katero uhaja toplota, manjša od zunanje. Zaradi povečevanja preseka, po katerem se toplota prevaja, se v tem lokalnem delu toplotni upor konstrukcije manjša, oz. se prevodnost povečuje. Geometrijski toplotni mostovi so v zgradbi pogosti, saj se jim je težko izogniti. Nastanejo na vsakem stiku stene pod določenim kotom. Takrat je notranja površina (tople) stene manjša od (hladne) zunanje. Toplota prehaja iz notranjosti skozi konstrukcijo v zunanost. V vplivnem področju toplotnega mostu je površinska temperatura na notranji strani konstrukcije nižja od površinske temperature na »nemoteni« steni. Geometrijski toplotni mostovi so vogali zgradbe, priključek stene na kap, čelni napušč in sleme ipd.²³ Čim ostrejši je kot na stiku med dvema elementoma, tem večji je učinek toplotnega mostu.



Slika 83: Princip delovanja geometrijskega toplotnega mostu na vogalu zunanje stene. Puščice prikazujejo smer toplotnega toka.³⁶

Pri dobro toplotno izoliranih pasivnih hišah je učinek geometrijskih toplotnih mostov zanemarljiv, kar je prikazano na sliki 84. Temperature na notranji površini stene se zelo približajo temperaturam zraka v notranjosti.



Slika 84: Primerjava temperatur na notranji površini stene pri neizolirani in izolirani steni.³⁶

Veliko bolj problematični so **konstrukcijski toplotni mostovi**. Nastanejo tam, kjer je prekinjen toplotni ovoj zgradbe. Največkrat so posledica slabo načrtovanih detajlov pri prebojih, previsih (kozolah), priključkih, rebrih, prekinitvah toplotne izolacije. Do takih konstrukcijskih napak pri pasivni hiši ne sme priti. Zgradbe morajo biti brez toplotnih mostov: linijska toplotna prehodnost mora biti $\psi \leq 0,01 \text{ W/(mK)}$. Pri skrbnem načrtovanju in izvedbi je učinek linijskih toplotnih mostov (npr. na vogalih) lahko tudi manjši od 0 oz. negativen, kar pomeni, da so približne izračunane specifične toplotne izgube (v projektu) večje od

dejanskih (na objektu). S tem je mogoče kompenzirati celo del pozitivnih učinkov izgub skozi toplotni most.⁹

Vse morebitne toplotne mostove v zgradbi je treba preračunati s posebnimi dvodimenzionalnimi in/ali tridimenzionalnimi izračuni. Rečeno na splošno – pri pasivni hiši se je treba izogibati toplotnim mostovom oz. jih čim bolj omejiti. Že manjši toplotni mostovi namreč povzročajo toplotne izgube, ki zelo ogrozijo celoten koncept pasivne hiše.²⁷ Osnovni princip gradnje pasivne hiše je »**konstruiranje brez toplotnih mostov**«.

4.2 Posledice toplotnih mostov

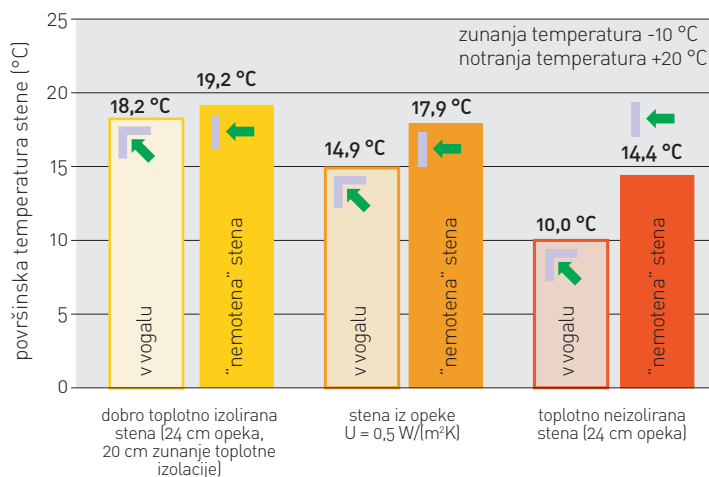
Zaradi toplotnih mostov se v zgradbi pojavljajo razne težave:³⁸

▾ Povečana poraba energije

Toplotni mostovi precej povečajo porabo energije za ogrevanje. Absorpcija toplote na notranjih hladnih gradbenih elementih zahteva za doseganje temperaturnega ugodja višje temperature zraka v prostoru. S tem so povezani višji stroški za ogrevanje in povečana obremenitev okolja s škodljivimi snovmi, ki nastanejo pri izgorevanju energetskih virov.

▾ Slabšanje (oviranje) toplotnega ugodja

Pri nizkih zunanjih temperaturah (pozimi) so površinske temperature zaradi toplotnega mostu na notranji strani elementa nižje kot na področju »nemotene« stene. Posledica hladnih površin je »vlek«, ki ga občutijo stanovalci. Pri obširnih toplotnih mostovih (lokalna U-vrednost $> 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$) lahko hladne površine dejansko povzročijo slap ohlajenega zraka, ki pri zunanji temperaturi $-10 \text{ }^\circ\text{C}$ daje občutek prepaha (hitrost zraka $> 3 \text{ m/s}$). Da se izognejo temu neprijetnemu počutju, uporabniki povečajo ogrevanje, da bi ogreli prostor. S tem se zvečajo stroški za ogrevanje (+6 % pri povišanju temperature za $1 \text{ }^\circ\text{C}$). Poleg tega se zaradi zoglenevanja prahu in hitrejšega kroženja zraka večja količina bakterij in virusov in s tem prehladnih obolenj.



Slika 85: Temperature na zunanjem vogalu glede na različne debeline toplotne izolacije na zunanji steni.³⁶

↘ Pomanjkljiva stanovanjska higiena

Nižje temperature notranjih površin na področju toplotnega mostu lahko povzročijo rosenje. Rosa (kondenzat) nastane, kadar vlažen topel zrak naleti na hladno površino in se ohladi pod temperaturo nasičenja – rosišča. Na površine, ki so se s kondenzacijo vodne pare navlažile, se useda prah. Ta tvori v povezavi z lesom, lepilom tapet ali poslikavami idealno gojišče za spore in pogosto škodljive plesni za zdravje. Še posebej v prostorih z višjo relativno vlago (kuhinje in kopalnice) je ta nevarnost velika. Že pred doseganjem točke rosišča (100-odstotna relativna zračna vlaga), pri okrog 80-odstotni relativni zračni vlagi, se vodna para z absorpcijo uskladišči v porozna gradiva.

S higienskega vidika mora biti relativna zračna vlaga v bivalnih prostorih med 35 in 65 %.

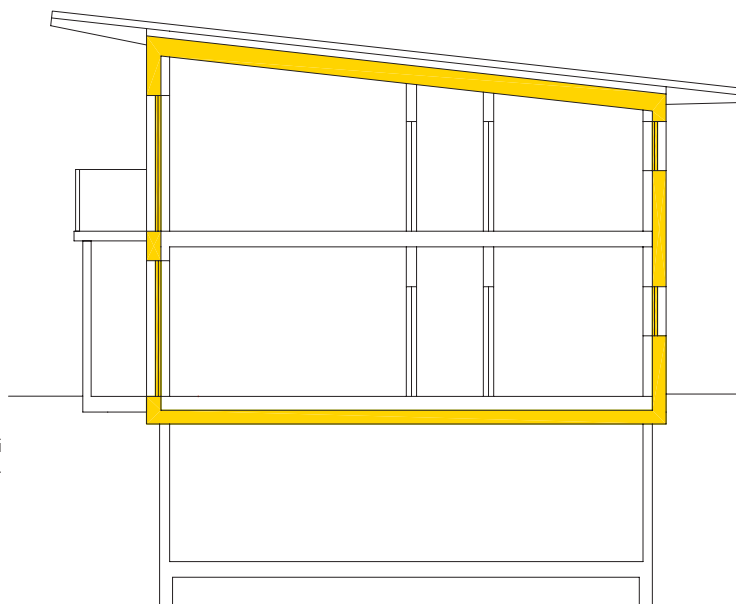
↘ Ogrožanje gradbenega elementa

Kondenzat lahko na toplotnih mostovih pri dolgotrajnem učinkovanju povzroči poškodbe na gradbenem elementu. Te se kažejo kot ostanek vlage na njem neposredno po končani gradnji, ki lahko ni tako nevarna, ker se običajno posuši, lahko pa povzroča težave tudi več let po njej. Čim večji so učinki toplotnih mostov, tem bolj se gradbeni element zaradi večje toplotne prevodnosti (ker se navlaži) še dodatno ohlaja in delovanje toplotnega mostu se še poveča.

Pri izrazitih toplotnih mostovih se lahko gradbeni elementi poškodujejo, npr. z rastjo plesni, hišne gobe, zaradi korozije, odpadanja ometa in malte, cvetenja oz. pri lesu z izgubo nosilnosti.

4.3 Načrtovanje detajlov

Pri načrtovanju objektov brez toplotnih mostov, ki ga zahteva standard pasivne hiše, je treba upoštevati osnovno načelo: **toplotnoizolativna plast (pri masivnih stenah v debelini najmanj 25 cm, pri lahkih konstrukcijah 35–40 cm) mora biti načrtovana tako, da brez prekinitve ovije hišo!**



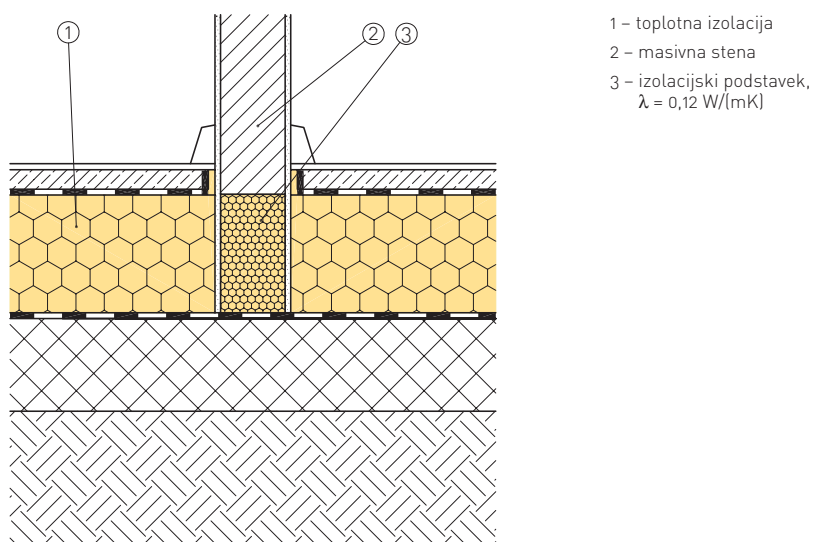
Slika 86: Toplotni ovoj zgradbe mora biti neprekinjen.

Pri zgradbi se pojavljajo toplotni mostovi na različnih mestih. Najtipičnejši toplotni mostovi, ki jih je treba pri pasivni hiši odpraviti že v fazi načrtovanja, so:

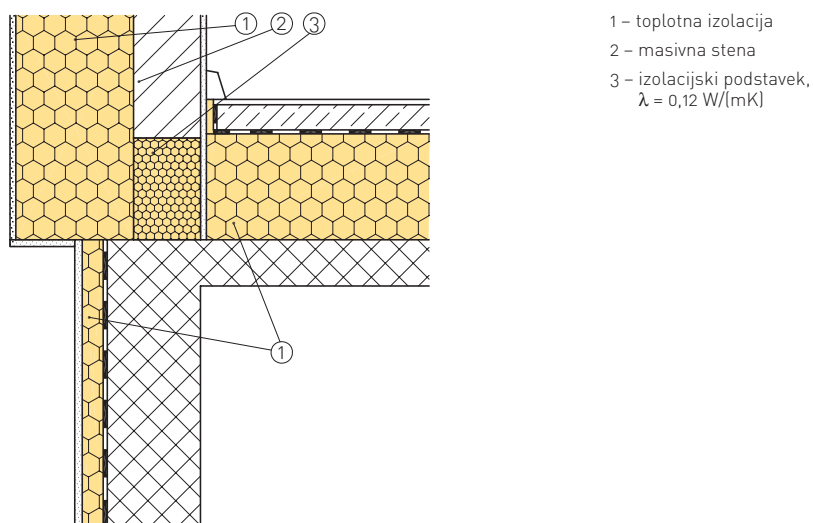
↳ Podstavek proti temelju in neogrevani kleti

Vse stene, ki nalegajo na hladne elemente, tvorijo na svojem podstavku toplotni most. Ta mesta nastanejo zlasti pri masivni gradnji pri stiku temelja z zunanjo ali notranjo steno, pa tudi pri stiku notranjih sten in plošče proti neogrevani kleti. Najučinkovitejše preprečevanje toplotnega mostu je termično ločevanje oz. vgradnja t. i. izolacijskega podstavka oz. zaključka, odvisno, na katerem mestu opravlja svojo ločevalno funkcijo.

Izolacijski podstavek oz. zaključek sta iz gradiva z nizko toplotno prevodnostjo (npr. porobeton 500: $\lambda = 0,12 \text{ W/(mK)}$, penjeno steklo $\lambda = 0,045 \text{ do } 0,052 \text{ W/(mK)}$, ekstrudirani polistiren $\lambda = 0,035 \text{ W/(mK)}$)²⁷. Izolacijski podstavek (zaključek) zniža linearne toplotne izgube tudi do 95 % (odvisno tudi od debeline toplotne izolacije). Najnižja temperatura v vogalu stene na tleh se glede na gradivo dvigne od okoli 14 °C, kjer je še možen pojav kondenzacije, na 16–19 °C, ko pojav rosenja ni več verjeten.³⁸



Slika 87: Stik notranje stene in talne plošče.¹⁵



Slika 88: Priključek stene toplotnega ovoja zgradbe proti neogrevani kleti.¹⁵



05

zrakotesnost

Z zrakotesnostjo označujemo intenzivnost nekontroliranega pretoka zraka skozi konstrukcijo v zgradbo ali iz nje zaradi tlačne razlike. Nekontrolirani pretok zraka se pojavlja v fugah, špranjah in drugih netesnih mestih na ovoju zgradbe. Trditev, da se skozi netesna mesta v zgradbi zagotavlja zadostno prezračevanje v prostorih, ni pravilna. Taka izmenjava zraka je namreč odvisna od tlaka vetra in temperaturnih razlik ter največkrat ne zagotavlja kakovostne bivalne klime. Le pri izredno netesnih zgradbah, kjer ob močnem vetru znotraj hiše že precej vleče, je v brezvetrnem času prezračevanje zadostno. Prehajanje zraka skozi zunanji ovoj zgradbe ima kar nekaj pomanjkljivosti:

- ↳ nezanesljivost,
- ↳ gradbene poškodbe,
- ↳ prevajanje zvoka,
- ↳ nekontrolirane toplotne izgube.

Zrak lahko nekontrolirano teče v dveh smereh, pri tem pa prihaja do različnih pojavov:³³

↘ Tok zraka od zunaj navznoter

Če teče tok zraka od zunaj navznoter, lahko tlak vetra potiska padavinsko vodo v konstrukcijo stene. Voda se zbira v luknjicah in porah stene in se od tu zelo počasi izsuši. Ta proces je najpogostejši vzrok poškodb pri lahkih lesenih konstrukcijah. Les je namreč slabo odporen proti izmeničnem navlaženju.

Na splošno je tok zraka od zunaj navznoter manj problematičen (če obstaja zadostna zaščita pred padavinami), ker se zrak na poti navznoter ogreje in ni nevarnosti za rosenje.

↘ Tok zraka od noter navzven

Kadar teče tok zraka od noter navzven, je situacija neugodnejša. Zaradi dejavnosti v hiši (npr. kuhanje in tuširanje) je vlažnost zraka v notranjosti vedno višja kot zunaj. Ob prehodu zraka skozi špranje navzven se le-ta ohladi, pri tem pa se zlasti v hladnem času skoraj vedno ohladi pod temperaturo rosišča. V fugah nastane kondenzat, ki navlaži gradbeni element, kar povzroči pojav plesni na notranji strani konstrukcije.

Vlek

Drugi pojav, ki ga povzroča prehod zraka od zunaj navznoter, je **vlek**, ki nastane pri večjih fugah in špranjah v ovoju zgradbe, in sicer pri močnem vetru in nizkih zunanjih temperaturah. Vlek, ki se pojavi zaradi vdora vetra skozi gradbene fuge, je zelo neprijeten, ker hitrost in smer toplotnega toka zelo nihata, poleg tega je ta zrak hladen. Hladen zrak, ki priteka skozi netesna mesta v konstrukciji, se ogreje na notranjo temperaturo, kar povečuje porabo energije. Izrabljen zrak, ki zapušča zgradbo, je topel. Vsak nekontrolirani masni tok zraka v hladnem delu leta je zato povezan s toplotnimi izgubami.

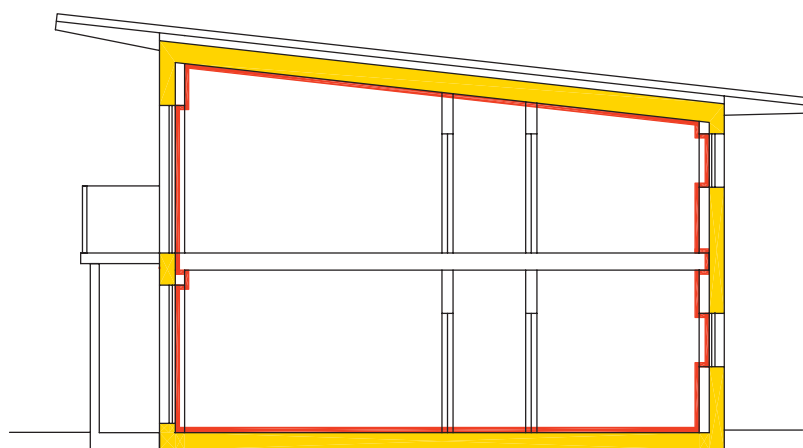
Ker imajo pasivne hiše prezračevalno napravo z vračanjem toplote odpadnega zraka, je treba paziti na toplotne izgube zaradi slabe zrakotesnosti objekta iz dveh razlogov:

- ↘ Prezračevanje deluje tako, da se svež zrak dovaja v bivalne in spalne prostore in odvaja v kuhinji, kopalnicah in WC, torej iz glavnih bivalnih prostorov v vlažne. Zaradi odsesavanja izrabljenega zraka nastane podtlak, zato v prostore skozi netesna mesta vdira hladen zunanji zrak. Ker se ta zrak ni ogrel v rekuperatorju (prenosniku toplote), se pojavijo neželene toplotne izgube.
- ↘ Zaradi vdora zunanjega zraka v prostor se zmanjša tudi tlačna razlika med dovodnimi in odvodnimi prostori, kar povzroči manjšo učinkovitost odvajanja izrabljenega zraka iz bivalnih prostorov prek kopalnice oz. vlažnih prostorov.

5.1 Načrtovanje zrakotesnega ovoja

Za doseganje zadostne zrakotesnosti ovoja zgradbe je treba natančno načrtovati vse stike gradbenih elementov. Tako kot toplotnoizolacijski ovoj mora biti tudi zrakotesni ovoj zgradbe popoln in brez prekinitev, upoštevani pa morajo biti trije glavni principi:³³

- ↘ **Ravnina zrakotesnega ovoja mora biti v načrtu neprekinjena na vseh delih zgradbe. Če jo v tlorisih in prerezih označimo s črto, ta nikjer ne sme biti prekinjena (slika 107).**
- ↘ **Obstajati mora samo ENA zrakotesna ravnina. Netesna mesta se NE odpravljajo z drugo zrakotesno ravnino pred ali za netesnim mestom** (npr. podvajanje tesnjenja pri oknih, vratih vetrolova ali vhodnih vratih). To je jasno z naslednjo primerjavo: luknje v vedru za vodo se ne odpravijo tako, da se postavi vedro v drugo, prav tako poškodovano vedro.
- ↘ **Zrakotesni ovoj je vedno pritrjen na notranjo stran toplotnoizolacijskega ovoja. Zrakotesna ravnina deluje tudi kot parna ovira, zato ne sme biti popolnoma difuzijsko zaprta.**



Slika 107: Zrakotesna ravnina v pasivni hiši mora popolnoma omejiti ogrevan volumen zgradbe, kot bi ga zarisali z neprekinjeno črto.

Principi načrtovanja zrakotesnega ovoja zgradbe:³³

- ↘ **enostavnost:** vsi konstrukcijski detajli morajo biti čim enostavnejši in lahko izvedljivi, da je napak pri obrtniškem delu čim manj;
- ↘ površine, ki jih tesnimo, naj bodo **izvedene na enak način**, da se izognemo menjavi gradiv in težavam pri oblikovanju stikov;
- ↘ izbira **zanesljivih osnovnih konstrukcij:** pri pasivni hiši ni priporočljiva uporaba popolnoma novih ali eksotičnih principov tesnjenja; že uporabljeni sistemi se lahko vgradijo povsod;
- ↘ **načelnost** pri načrtovanju stikov: za določen stik med dvema osnovnima konstrukcijama, ki se na objektu ponavlja, se povsod uporablja enak detajl;
- ↘ praviloma se **prebojem** zrakotesnega ovoja izogibamo oz. jih skušamo zmanjšati na najnižjo raven.

Ob upoštevanju vseh naštetih principov je ovoj zgradbe zrakotesen in visoko kakovosten.



06

prezračevanje

Prezračevanje je v zgradbi potrebno zaradi zagotavljanja ustrezne kakovosti zraka. Da se obdrži raven CO₂ in drugih škodljivih snovi v zraku na znosni ravni, je treba v prostoru vsako uro zagotoviti 25–35 m³ svežega zraka na osebo. To pomeni, da bi morali vsake 3 ure odpreti okna za 15 minut, kar je praktično težko izvedljivo pa tudi izredno neracionalno. Z odvajanjem izrabljenega zraka iz prostora izgubljammo tudi toploto, kar zmanjšuje toplotno ugodje v prostoru in večja zahteve po ogrevanju. Tako je zrak zaradi nezadostnega prezračevanja slabe kakovosti, na notranji strani zunanjih sten zgradbe prihaja do kondenzacije vlage in pogosto do pojava plesni.

Standard pasivne hiše zahteva izredno zrakotesen ovoj zgradbe, saj se s tem drastično zmanjšajo ventilacijske toplotne izgube. Na ta način pa se skoraj popolnoma prepreči tudi dovod svežega zraka v zgradbo, kar je nedopustno.

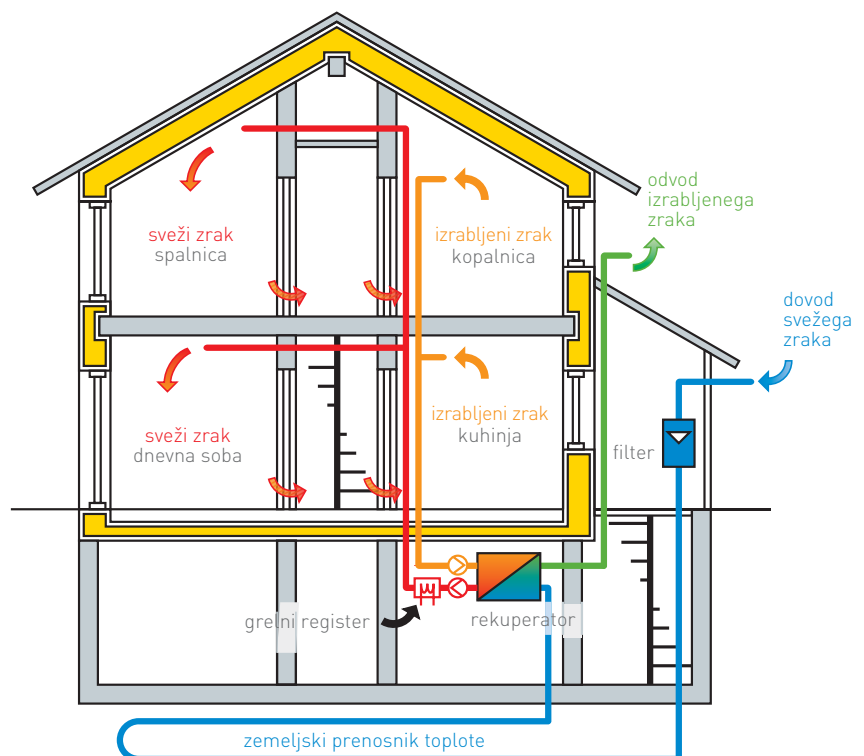
V pasivnih hišah je obvezna vgradnja prezračevalne naprave, ki stalno dovaja v prostore svež zrak. Odpiranje oken tako ni več potrebno,

čepprav ni prepovedano. Uporabniki lahko odprejo okno vedno, kadar si želijo. Velikokrat je to potrebno ob številčnejših obiskih ali ko na štedilniku prekipi mleko. Obstajajo tudi pasivne hiše, v katerih kadijo, zato morajo občasno odpreti okna.¹⁴ S tem se izgubi toplota, vendar pa sistem pasivne hiše kljub temu ni porušen. Prezračevalna naprava največkrat obratuje le pozimi, od novembra do februarja ali marca, preostali čas je lahko izklopljena in se hiša prezračuje skozi okna. Nenazadnje potrebuje prezračevalna naprava električno energijo, ki pa je pri pasivnih hišah omejena z dovoljeno porabo primarne energije (120 kWh/(m²a)).

Za doseganje čim manjših toplotnih izgub je v pasivni hiši obvezen sistem kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka (t. i. rekuperacija) in izkoristkom, večjim od 75 %. To pomeni, da topel odpadni zrak odda toploto hladnemu vstopajočemu zraku, kar dodatno zmanjšuje toplotne izgube zaradi prezračevanja. Poleg tega ima sistem tudi filtre, ki dovedenemu zraku odvzamejo pelod in prah, kar je velika prednost za alergike.

6.1 Delovanje kontroliranega prezračevanja

Prezračevalna naprava dovaja sveži zrak (vtočni zrak) v prostore in odvaja izrabljeni zrak (odtočni zrak) iz zgradbe. Sveži zrak se dovaja v bivalne prostore in spalnice, odvaja pa od tam, kjer je najslabši – v kuhinji, kopalnici, stranišču in shrambi.



Slika 126: Shema delovanja kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka

Pri pasivnih hišah se sveži zunanji zrak zajema zunaj objekta skozi zaščitno rešetko na fasadi ali na strehi in dovaja po dobro izoliranih ceveh do prezračevalne naprave. Pred vstopom se v filtru izločijo prašni delci. V prenosniku toplote (imenovanem tudi toplotni izmenjevalnik ali rekuperator) se sveži zrak predgreje s toploto odpadnega zraka, ki se izsesava iz zgradbe. Od tu gre ogreti sveži zrak prek razvodnega sistema v t. i. dovodne prostore (dnevno sobo, jedilnico, spalnico, delovno sobo). Izrabljeni odvodni zrak se zajema v prostorih, obremenjenih z vlago in vonjavami (kuhinji, stranišču, kopalnici, lahko tudi pomožnih prostorih) in po kanalih odvede do prezračevane naprave. V prenosniku toplote odda toploto svežemu in hladnemu dovodnemu zraku, nakar se po dobro izoliranih ceveh odvede na prosto.

Kanali za dovod in odvod zraka so izvedeni kot ploščate fleksibilne cevi širine 10–20 cm in se vgradijo v toplotno izolacijo pod talnim estrihom ali pod stropom. Kanali se združujejo v razdelilniku oz. zbiralniku.

Zrak se dovaja v prostor s posebnimi šobami na stropu ali steni, vedno v višini nad 200 cm. Pri vpihovanju dovodnega zraka je treba paziti, da vpihovani zrak ni usmerjen proti mestu, kjer se stalno zadržujemo. Možna je tudi vgradnja šob z usmerjenim vpihovanjem zraka. Temperatura svežega dovodnega zraka je pri učinkovitem prenosniku toplote v prezračevalni napravi vedno nad 16 °C.²³



Slika 127: Razdelilnik kanalov



Slika 128: Razvod dovodnega zraka na stropu (levo), vpihovalna šoba za usmerjanje dovoda zraka na stropu



Slika 129: Vpihovalna šoba za dovodni zrak na steni (levo); vpihovalna šoba na steni nad vrati usmerja dovodni zrak globoko v prostor in preprečuje, da bi se spustil ob vratih in odtekel skozi režo pod njimi.

Za doseganje enakomerne razporeditve zraka po prostoru dovod in odvod zraka ne smeta biti preblizu skupaj. Najbolje ju je postaviti v



07

ogrevanje

Z doslednim načrtovanjem in izvedbo pasivne hiše so potrebe po dodatni toploti za ogrevanje zelo nizke. Pasivna hiša ni energijsko samozadostna ali nična hiša, v kateri dodatno ogrevanje ni potrebno. Številne meritve so pokazale, da je ogrevanje v pasivnih hišah največkrat potrebno le pri zunanjih temperaturah med 0 °C in -5 °C. V hladnejših dneh je nebo običajno jasno in zadoščajo sončni dobitki.

Pri pasivnih hišah je možno dodatno ogrevanje s konvencionalnimi napravami na različne energetske vire: kurilno olje, utekočinjeni naftni plin, zemeljski plin, lesni sekanci, lesna biomasa ipd. Takoj na začetku je treba opozoriti na ogrevanje z elektriko, ki je pri pasivnih hišah popolnoma nesprejemljivo, čeprav bi bilo to zaradi majhne porabe energije najenostavnejše. Pasivna zgradba v energijsko bilanco vključuje vse vrste energij, ki jih pridobimo iz neobnovljivih energetskih virov. Tudi običajni gospodinjski tok se proizvaja z izgorevanjem fosilnih goriv (nafta, plin, premog). Za proizvodnjo 1 kWh električne energije se v termoelektrarni porabi 3 kWh primarne energije. Realna poraba primarne energije za električno energijo, ki se zagotavlja iz termoelektrarne in se

v zgradbi izmeri na gospodinjskem števcu, se tako potroji. Zaradi tega poraba električne energije pri pasivni hiši ni neomejena. Celotna poraba električne energije (brez ogrevanja zgradbe in sanitarne vode) ne sme presegati 18 kWh/(m²a), poraba skupne primarne energije pa ne 120 kWh/(m²a). Zaradi omejene porabe električne energije je v pasivni hiši obvezna tudi vgradnja energijsko varčnih električnih naprav in žarnic.

Pri pasivnih hišah so specifične toplotne izgube (transmisijske in prezračevalne) manjše od 10 W/m². Tako je npr. za ogrevanje dnevne sobe, ki je velika 30 m², potreben toplotni tok 300 W (kar ustreza npr. učinku treh klasičnih 100 W žarnic na žarilno nitko).²³

Pri pasivni hiši letna raba energije za ogrevanje ne sme presegati 15 kWh/(m²a), kar ustreza letni porabi ≈ 1,5 l kurilnega olja, ≈ 1,6 m³ zemeljskega plina ali ≈ 2,4 l utekočinjenega naftnega plina na kvadratni meter ogrevane površine. V hiši s površino 120 m² je letna poraba kurilnega olja 180 litrov ali še manj. Klasične kurilne naprave so predvidene za večje potrebe po toploti in niso primerne za tako nizke toplotne moči, ki jih rabi pasivna hiša. Zaradi zelo nizke potrebe po toploti se lahko v pasivni hiši odpovemo klasičnemu ogrevalnemu sistemu, stavba pa se ogreva le z vpihovanjem toplega zraka. Na ta način se odpovemo tudi stroškom za kurilnico (prihranek prostora!) ter klasičnega ogrevalnega sistema s pečjo, cevmi in radiatorji. S tem se precej znižajo tudi investicijski stroški v pasivno hišo.

Pri pasivni hiši se namesto klasičnih ogrevalnih sistemov uporablja t. i. **toplozračno ogrevanje**. Zrak, ki se s prezračevalno napravo dovaja v bivalne prostore, se v hladnih dneh nekoliko dogreje. Temperatura dovedenega zraka ne sme presegati 49 °C, ker sicer začne zoglenevati prah. To poslabša kakovost zraka, poleg tega se ob odprtinah za vpihovanje pojavijo črni madeži.¹³

Pri izbiri sistema za dogrevanje zraka je treba razmisliti tudi, kako ogrevati sanitarno vodo. V običajnih zgradbah znaša delež za ogrevanje sanitarne vode 12 %. Pri pasivnih hišah se razmerje spremeni. Za ogrevanje sanitarne vode je potrebno dvakrat toliko energije kot za ogrevanje prostorov. Zgradba se ogreva samo pozimi, toplo sanitarno vodo pa je treba zagotavljati vse leto.

Pri pasivnih hišah se za ogrevanje prostorov priporoča uporaba toplotne črpalke, za ogrevanje sanitarne vode pa kombinacija toplotne črpalke in sprejemnikov sončne energije (SSE), s katerimi lahko pokrijemo 40–60 % potrebne energije za segrevanje sanitarne vode.

7.1 Toplotna črpalka

Toplotna črpalka je naprava, ki zajema toploto okolice in jo dvigne na višji temperaturni nivo. Primerna je za ogrevanje zgradb in pripravo

sanitarne vode. Toplota, ki jo črpa iz okolice, je akumulirana sončna energija v različnih medijih (snoveh), zato predstavlja obnovljivi vir energije. Toplotne črpalke izrabljajo toploto zemlje, vode in zraka.

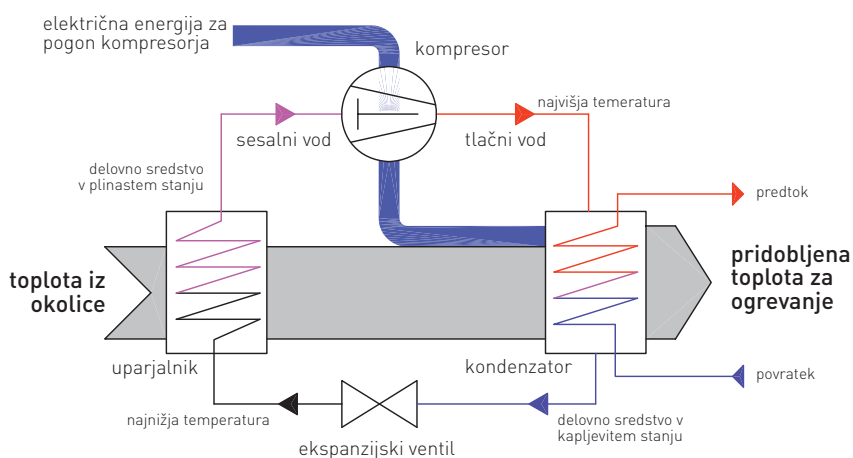
Toplotna črpalka ni bila razvita posebej za pasivno hišo. Uporablja se že nekaj časa, vendar pri običajnih hišah zaradi slabe izolativnosti objektov ni zadoščala kot edini vir toplote. Še vedno je bil potreben klasičen ogrevalni sistem, toplotne črpalke so bile vgrajene le kot dodatek, kar je povečalo stroške in zmanjšalo smiselnost vgradnje.

Šele z razvojem nizkoenergijskih in zlasti pasivnih hiš ter zemeljskih prenosnikov toplote in z izboljšanjem izkoristka delovanja se toplotne črpalke uporabljajo kot samostojni ogrevalni sistem. Toplotne črpalke nove generacije lahko delujejo celo pri zelo nizkih zunanjih temperaturah, do $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Najnovejše meritve in izračuni so pokazali, da toplotne črpalke porabijo 34–49 % manj primarne energije kot plinski ali oljni kondenzacijski kotli, za 31–60 % pa se zmanjša tudi emisija CO_2 in drugih škodljivih plinov.

Predvideva se, da bodo toplotne črpalke v prihodnosti osnovni vir toplote za nizkotemperaturne ogrevalne sisteme.

7.2 Delovanje toplotne črpalke

Princip delovanja toplotne črpalke je enak delovanju hladilnika. Hladilnik ohlaja svojo notranjost, živlom odvzeta toplota pa se odvaja v okolico kot odpadna toplota. Toplotna črpalka odvzema nizkotemperaturno toploto iz okolice in ogreva kak drug medij, največkrat vodo, ki jo nato uporabimo za ogrevanje prostorov ali sanitarne vode. Pridobljena toplota je rezultat termodinamičnega procesa in ne izgorevanja goriva kot pri klasičnih ogrevalnih sistemih.



Slika 136: Delovanje toplotne črpalke

Toplotno črpalko sestavlja **uparjalnik**, ki odvzema toploto iz okolice (zrak, zemlja, voda) in v katerem se delovna snov (hladivo) pri nizki temperaturi

00

stvarno kazalo

A	amorfnе sončne celice.....	108
B	balkon.....	060, 072
D	diagram sončne poti za Slovenijo.....	037
	dobitki notranjih virov.....	026, 056
	dobitki sončnega obsevanja.....	026, 036, 056
	dovodni zrak.....	093
E	ekološka izbira gradiv.....	033
	ekološko osveščeno bivanje.....	032
	električni predgrelni register.....	096
	energijska bilanca.....	099
	energijsko samozadostna hiša.....	022
F	faktor oblike.....	040
	faktor prehoda celotnega sončnega sevanja.....	051
G	geometrijski toplotni most.....	064
	gibanje zraka v prostoru.....	031
	grelni register.....	097
	grelnо število.....	102
H	hranilnik.....	106
I	izolacijski podstavek.....	067
	Izolacijski zaključek.....	067
K	kartonsko satovje.....	048
	kompaktna enota.....	102
	konstruiranje brez toplotnih mostov.....	065
	konstrukcijski toplotni most.....	064
	kontrolirano prezračevanje.....	092
	konvekcijski toplotni most.....	063
L	lahka gradnja.....	080, 087
	lahke stene.....	043
	lamele.....	061
	latentni hranilnik toplote.....	058
	letna poraba električne energije.....	029
	letna potrebna toplota za ogrevanje.....	027, 028
M	masivna gradnja.....	080, 087
	masivne stene.....	039, 043
	monokristalne sončne celice.....	108
N	načrtovanje pasivne hiše.....	035
	ničenergijska hiša.....	022
	nizkoemisijski nanos.....	054
	nizkoenergijska hiša.....	022
	nočno zračenje.....	057
O	odvodni zrak.....	093
	ogrevanje.....	099
	okno.....	049, 053, 070, 088
	okvir.....	052
	operativna temperatura.....	031
	orientacija.....	036
	ozelenitev.....	059
P	pasivna hiša.....	022, 023
	ploščati sprejemnik sončne energije.....	105
	plusenergijska hiša.....	023
	področje ugodja.....	030
	poletno pregrevanje.....	056
	polikristalne sončne celice.....	108
	prenosnik toplote.....	057, 093, 094
	prezračevalna naprava.....	091
	prezračevalne toplotne izgube.....	026, 100
	prezračevanje.....	091
	primarna energija.....	029
	prosojna toplotna izolacija.....	046
R	razsmernik.....	108
	rekuperator.....	094
	rolete.....	054
	rosenje.....	031
S	senčila.....	059
	shranjevanje sončne energije.....	038
	sončna energija.....	105
	sončna zaščita.....	059
	sončne celice.....	107
	sončni modul.....	107
	split ali ločena enota.....	102
	sprejemnik sončne energije.....	105
	standard pasivne hiše.....	028
T	tehnologija gradnje.....	042, 056, 079
	temperaturno ugodje.....	030
	test Blower Door.....	078
	toplota kamnin.....	103
	toplota podtalnice.....	104
	toplota površinske zemlje.....	103
	toplota površinskih voda.....	104
	toplota zraka.....	102
	toplotna bilanca pasivne hiše.....	025
	toplotna črpalka.....	100
	toplotna hierarhija prostorov.....	041
	toplotna izolacija.....	045
	toplotna prehodnost.....	028, 051
	toplotne izgube.....	025, 029
	toplotni dobitki.....	026
	toplotni most.....	063
	toplotnoizolacijsko steklo.....	050
	toplozračno ogrevanje.....	100
	transmisijske toplotne izgube.....	025, 100
	trilitrska hiša.....	022
	trisoljna toplotnoizolacijska zasteklitev.....	050
U	ugodje.....	029, 065
V	vakuumski sprejemnik sončne energije.....	106
	vetrna tesnost.....	088
	vetrolov.....	056
	vhodna vrata.....	055
	vlek.....	076
	vrata.....	088
Z	zemeljski prenosnik toplote.....	057, 096
	zrakotesni stiki.....	081
	zrakotesnost.....	075, 079
	zvočna zaščita.....	097
Ž	žaluzije.....	054, 061

00

literatura in viri

1. AKTIV FÜR MEHR BEHAGLICHKEIT: DAS PASSIVHAUS. 2006, IG Passivhaus Darmstadt.
2. Feist, W. et al, 2006: PHPP 2004 – PASSIVHAUS PROJEKTIERUNGS - PAKET 2004. Passivhaus Institut, Darmstadt.
3. Feist, W., 1997: ARBEITSKREIS KOSTENGÜNSTIGE PASSIVHÄUSER. Protokollband Nr. 5, Passivhaus Institut, Darmstadt.
4. Feist, W., 1997: KOSTENGÜNSTIGE PASSIVHÄUSER. Protokollband Nr. 11, Passivhaus Institut, Darmstadt.
5. Feist, W., 1998: DAS PASSIVHAUS – BAUSTANDARD DER ZUKUNFT?. Protokollband Nr. 12, Passivhaus Institut, Darmstadt.
6. Feist, W., 1998: DAS PASSIVHAUS–FENSTER. Protokollband Nr. 14, Passivhaus Institut, Darmstadt.
7. Feist, W., 2002: ARCHITEKTURBEISPIELE: WOHNGEBÄUDE. Protokollband Nr. 21, Passivhaus Institut, Darmstadt.
8. Feist, W., 2005: QUALITÄTSSICHERUNG BEIM BAU VON PASSIVHÄUSERN. Protokollband Nr. 18, Passivhaus Institut, Darmstadt.
9. Feist, W., 2005: WÄRMEBRÜCKENFREIES KONSTRUIEREN. Protokollband Nr. 16, Passivhaus Institut, Darmstadt.
10. Feist, W., 2006: PASSIVHAUS–SOMMERFALL. Protokollband Nr. 15, Passivhaus Institut, Darmstadt.

11. Feist., W. et al., 2004: WÄRMEVERLUSTE DURCH DAS ERDREICH, Protokollband Nr. 27, Passivhaus Institut, Darmstadt.
12. Glücklich, D., 2005: ÖKOLOGISCHES BAUEN. DVA, München.
13. Graf, A., 2000: DAS PASSIVHAUS – WOHNEN OHNE HEIZUNG. Callwey, München.
14. Graf, A., 2003: NEUE PASSIVHÄUSER. Callwey, München.
15. Grobe, C., 2002: PASSIVHÄUSER. Callwey, München.
16. Grobovšek, B., 2006: ZASTEKLITVE PRI PASIVNIH HIŠAH. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 93–98.
17. Grobovšek, B.: PASIVNA HIŠA: IZRAČUN TOPLOTNIH MOSTOV PRI MASIVNI GRADNJI. <http://www.gi-zrmk.si/ensvet.htm> (dostopno novembra 2006).
18. Grobovšek, B.: TOPLOTNE ČRPALKE. <http://www.gi-zrmk.si/ensvet.htm> (dostopno november 2006).
19. Gunßer, Ch., 2000: ENERGIESPARSIEDLUNGEN. Calweyy, München.
20. Humm, O., 2000: NIEDRIGENERGIE- UND PASSIVHÄUSER. Ökobuch, Staufen bei Freiburg.
21. INOVATIVE PASSIVHAUSPROJEKTE. 2006, IG Passivhaus Darmstadt.
22. Jerman, B., 2006: DOMAČE IZKUŠNJE NA PODROČJU PASIVNE GRADNJE. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 43–48.
23. Kaufmann, B., et al., 2004: PASSIVHÄUSER ERFOLGREICH PLANEN UND BAUEN. Institut für Landes- und Stadtentwicklungsforschung und Bauwesen des Lander NRW, Aachen.
24. Kerschberger, A., Binder, M., 2006: TRANSPARENTE WÄRMEDÄMMUNG IM VERGLEICH. RK-Stuttgart, <http://www.umwelt-wand.dr/service/papers/RK-kurz.pdf>, (dostopno decembra 2006).
25. Kovič, S., Praznik, M., 2005: PRIMERI DOBRE GRADBENE PRAKSE. Gradbenik 7/8, str. 33–37.
26. Lang, G., 1000 PASSIVHÄUSER IN ÖSTERREICH. <http://www.hausderzukunft.at> (dostopno januarja 2007)
27. Lang, G., Lang, M., 2002: DAS PASSIVHAUS. Lang Consulting, Wien.
28. Medved, S., 2006: NAČRTOVANJE IN PREVERJANJE RABE ENERGIJE V NIZKOENERGIJSKIH IN PASIVNIH HIŠAH. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 17–26.
29. Medved, S., Novak, P., 2000: VARSTVO OKOLJA IN OBNOVLJIVI VIRI ENERGIJE. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana.
30. MICRONAL® PCM –INTELLIGENTES TEMPERATURMANAGEMENT FÜR GEBÄUDE. 2006, BASF, Ludwigshafen.
31. Može, S., 2006: SISTEMI OGREVANJA IN PREZRAČEVANJA NIZKOENERGIJSKIH IN PASIVNIH HIŠ. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 49–54.
32. Palfi, M.: DAS KLIMA IN DER FASSADE. IBOmagazin 3/04, <http://www.ibo.at> (dostopno decembra 2006).
33. Peper, S., et al., 2005: LUFTDICHTHE PROJEKTIERUNG VON PASSIVHÄUSERN. Passivhaus Institut, Darmstadt.
34. PRAVILNIK O TOPLOTNI ZAŠČITI IN UČINKOVITI RABI ENERGIJE V STAVBAH (Ur. l. RS 42/2002).
35. Reiter, M., 2006: IZOLACIJSKO STEKLO V OKNU – IZGUBE IN DOBITKI. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 99–103.

36. Schild, R., 2006: CONSTRUCTIONS WITHOUT WEAK POINTS – HOW TO AVOID THERMAL BRIDGES. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 27–40.
37. Schittich, Ch. (ur.), 2006: BUILDING SKINS. Birkhäuser Edition Detail, Basel–Boston–Berlin.
38. Schwarzmüller, E., Fuhrmann, W., et al., 1999: WÄRMEBRÜCKEN LUFT- UND WINDDICHTHE. Energie Tirol, Innsbruck.
39. SKLEP O CENAH IN PREMIJAH ZA ODKUP ELEKTRIČNE ENERGIJE od kvalificiranih proizvajalcev električne energije. Ur. l. RS št. 75/2006.
40. SOLAR ENERGY GUIDE. 2006, Freiburg am Breisigau.
41. Škvorc, M., 2006: ENERGIJSKO VARČNA EKOLOŠKA GRADNJA. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 86–92.
42. Waltjen, T.: DAS PASSIVHAUS ALS ERWEITERTE KLEIDUNG. IBOmagazina 1/04, <http://www.ibo.at> (dostopno decembra 2006).
43. Witzel, W., Seifried, D., 2004: DAS SOLARBUCH. Ökobuch, Staufen bei Freiburg.
44. Zbašnik - Senegačnik, M., 2006: PRINCIPI ARHITEKTURNEGA NAČRTOVANJA NIZKOENERGIJSKIH IN PASIVNIH HIŠ. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 7–16.
45. Zupan, M., 2006: PROSOJNE TOPLOTNE IZOLACIJE. v Od nizkoenergijske do pasivne hiše, publikacija ob strokovnem izpopolnjevanju (ur. Zbašnik - Senegačnik, M.), UL Fakulteta za arhitekturo, Ljubljana, str. 104–107.
46. 8. EUROPÄISCHE PASSIVHAUSTAGUNG 2004, 16.–17. 4. 2004, Krems – Austria. Feist, W. (ur.), Passivhaus Institut, Darmstadt.
47. 9. INTERNATIONALE PASSIVHAUSTAGUNG 2005, 29.– 30. 4. 2005, Ludwigshafen. Feist, W. (ur.), Passivhaus Institut, Darmstadt.
48. 10th INTERNATIONAL PASSIVE HOUSE CONFERENCE 2006, 19–20 May 2006, Hannover. Feist, W. (ur.), Passivhaus Institut, Darmstadt.
49. http://www.basf.de/wissenschaft_populaer (dostopno januarja 2007)
50. <http://www.bemo.com> (dostopno februarja 2007)
51. <http://www.btc-de.com> (dostopno januarja 2007)
52. <http://www.energon-ulm.de> (dostopno decembra 2006)
53. <http://www.esa.solarfassade.at> (dostopno decembra 2006)
54. <http://www.gap-solar.at> (dostopno decembra 2006)
55. <http://www.green-academy.at> (dostopno marca 2006).
56. <http://www.human-healthy.de> (dostopno januarja 2007)
57. <http://www.icopal.at> (dostopno novembra 2006)
58. <http://www.isover.at> (dostopno novembra 2006)
59. <http://www.knut.si>, (dostopno decembra 2006)
60. <http://www.maxit.de> (dostopno januarja 2007)
61. <http://www.passiv.de> (dostopno novembra 2006)
62. <http://www.sharp.de/solar> (dostopno januarja 2007)
63. <http://www.solvis.de> (dostopno januarja 2007)
64. <http://www.termotehnika.com> (dostopno novembra 2006)
65. <http://www.umwelt-wand.de> (dostopno novembra 2006)
66. <http://www.vhi.de> (dostopno januarja 2007)
67. <http://www.ibo.at> (dostopno januarja 2007)
68. Miščević, Lj., 2005: PASSIVE ENERGY STANDARD IN BUILDING AS A PERSPECTIVE OF SUSTAINABLE DEVELOPMENT - FIRST PASSIVE HOUSES IN CROATIA, 14th Forum Croatian Energy Day, HED, Zagreb, str. 117-126