

## PASIVNA HIŠA

Koncept pasivne hiše je razvil dr. Wolfgang Feist, ki je v Darmstadtu v bližini Frankfurta leta 1991 postavil pilotni objekt. Ta prototip se je tako izkazal, da je nastal standard pasivnih hiš, ki se na trgu pojavljajo od leta 1998. V tem času je v Nemčiji, Avstriji in Švici nastalo že več kot 10.000 pasivnih hiš, ki svojo kvaliteto izkazujejo s certifikatom. Pasivne hiše so stanovanjske enodružinske in večstanovanjske zgradbe, poslovne zgradbe, šole, športne hale, otroški vrtci, cerkve in proizvodne zgradbe. Standard pasivne hiš ne omejuje vsebine objektov pa tudi ne velikosti. Obstajajo majhne počitniške hiše, največji poslovni objekt na svetu ima več kot 7.000 m<sup>2</sup> ogrevanih površin. Pasivne hiše lahko stojijo ob morju ali pa visoko v planinah. Omejitev s strani uporabe ni.

### 2.4. Standard pasivne hiše

V primerjavi z običajnimi zgradbami, ki so zgrajene po trenutno veljavnem Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabe energije v stavbah, pri pasivnih hišah ni nobenih dodatnih temeljnih gradbeno-fizikalnih zahtev. Izvedba pasivnih hiš pa postavlja visoke zahteve za uporabljene komponente:

- toplotna zaščita: toplotna prehodnost  $U$  vseh gradbenih elementov je pod 0,15 W/(m<sup>2</sup>K), pri prostostoječi enodružinski hiši se priporoča celo pod 0,10 W/(m<sup>2</sup>K);
- izvedba brez toplotnih mostov ( $\psi \leq 0,01$  W/(mK));
- izredna zrakotesnost, kontrolirana s tlačnim preizkusom po DIN EN 13829 – vrednost  $n_{50}$  pri 50 Pa tlačne razlike ne sme presegati 0,6 h<sup>-1</sup>;
- zasteklitve z  $U_w$  pod 0,8 W/(m<sup>2</sup>K), pri visokem faktorju prehoda celotnega sončnega sevanja ( $g \geq 50$  % po DIN 67507), tako da so tudi pozimi možni neto dobitki toplote;
- okenski okvirji z  $U_F$ -vrednostjo pod 0,8 W/(m<sup>2</sup>K) po DIN EN 10077;
- poraba električne energije za pogon prezračevalne naprave  $\leq 0,4$  Wh/(m<sup>3</sup>) prečrpanega zraka;
- najnižje toplotne izgube pri pripravi in distribuciji sanitarne vode;
- učinkovita izraba elektrike v gospodinjstvu (stroji in naprave iz energijskega razreda A in A+).

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

Značilne specifične vrednosti za pasivne hiše so:

- letna potrebna toplota za ogrevanje  $\leq 15$  kWh/(m<sup>2</sup>a),**
- skupna letna poraba primarne energije  $\leq 120$  kWh/(m<sup>2</sup>a),**
- letna poraba električne energije  $\leq 18$  kWh/(m<sup>2</sup>a),**
- toplotne izgube  $\leq 10$  W/m<sup>2</sup>,**
- zrakotesnost  $n_{50} < 0,6$  h<sup>-1</sup>.**

## OSNOVNA NAČELA NAČRTOVANJA

Za doseganje standarda pasivne gradnje je pomemben celoten ovoj zgradbe in tudi ustroj njenega delovanja. Vsaka komponenta ima svoj pomen, šele upoštevanje vseh da zadovoljiv rezultat. Prvi ukrep za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje je optimalna zasnova zgradbe, vključno z njeno sestavo. Pri načrtovanju je potrebno upoštevati naslednja načela:

## **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.

## **Shranjevanje sončne energije**

Glavni namen shranjevanja toplote v zgradbi je predvsem možnost njenega izrabljanja kasneje, ko sončnega sevanja ni več na voljo. S tem se sončna energija bolje izkoristi, hkrati pa se zmanjšajo potrebe po energiji za ogrevanje.

Masivna gradiva zaradi velike specifične toplote zelo dobro shranjujejo toploto, kar je velika prednost. Shranjeno toploto s časovnim zamikom oddajajo v notranjost, kar doprinese k izravnavanju temperature v prostoru. Shranjevanje sončne energije v masivne stene sledi 24-urnemu ritmu, vendar le, če je stena debela 10–12 cm. Debelejše stene so kratkoročno manj ugodne, saj učinkujejo le na daljše časovno obdobje. Primerna gradiva za shranjevanje toplote so ilovica, opeka, beton in silikatna opeka (nobeno gradivo pa po kakovosti shranjevanja toplote ne dosega vode).

## **Oblika zgradbe**

Glavna postavka pri pasivni hiši je omejevanje transmisijskih toplotnih izgub na čim manjšo mero. Za zmanjšanje transmisijskih toplotnih izgub je zelo pomembno, da je zunanjih površin glede na volumen objekta čim manj. Razmerje med površino in volumenom se izraža s t. i. faktorjem oblike. Ta je najugodnejši takrat, ko je objekt kompakten in enostaven. Posebej ugoden faktor oblike je pri kvadratnih, okroglih, osemkotnih in elipsastih oblikah.

Pasivne standarde je sicer mogoče doseči tudi pri razčlenjenem ovoju zgradbe, vendar je cena za to precej višja. Pogosto obstaja prepričanje, da mora imeti pasivna hiša enokapnico. Na splošno oblika strehe za delovanje pasivne hiše nima bistvenega pomena. Res pa je, da je enokapna streha dober kompromis med uporabno površino in površino objekta. Pri enokapnici, orientirani na jug, je zaradi večjih površin fasade tudi večje sprejemanje sončnega sevanja pozimi.

## **OVOJ ZGRADBE**

### **Tehnologija gradnje**

Izbira tehnologija gradnje je odvisna od osebne naklonjenosti investitorja in večinoma od cene. Enake rezultate je mogoče doseči z masivnimi in lahкими konstrukcijami, prav tako tudi z različnimi gradivi. Velikokrat je odločilno znanje projektantov in izvajalcev – delo je možno učinkoviteje opraviti z materiali in postopki, ki so jih že vajeni.

Pri izboru gradiv in tehnologije gradnje je smiselno upoštevati naslednja izhodišča:

- izbrana tehnologija gradnje naj bo standardizirana oz. preizkušena,
- sistem gradnje naj vključuje naravna in ekološka gradiva,
- toplotni ovoj zgradbe mora ustrezati standardom pasivne hiše,
- konstrukcija mora biti vetrnotesna, zrakotesna in difuzijsko odprta,

- prefabrikacija zagotavlja kvaliteto in skrajšuje čas gradnje.

Za pasivne hiše se uporabljajo masivne in lahke konstrukcije:

#### **a) Masivne stene**

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.

Stene pasivnih hiš so lahko tudi iz betona, na gradbišču vlite v prefabricirane opažne elemente. Na zunanji strani ima stena ustrezno plast toplotne izolacije.

Za izdelavo nosilnih sten so na trgu na voljo tudi posebni opažni elementi iz polistirena. Elementi imajo na zunanji strani debelejšo plast polistirena, na notranji pa tanjšo. Na mestu se sestavijo, v odprtine se namesti potrebna armatura, nato se odprtine zalije z betonom. Gradnja je enostavna, tudi s toplotnimi mostovi so manjše težave.

#### **b) Lahke stene**

Pri lahkih konstrukcijah je najpogostejša uporaba lesa in sicer v obliki prefabriciranih elementov. Največ se uporabljajo: sistem stebrov in prečk, leseni okvirji, sistem baloon frame, konstrukcije iz masivnega in žebljanega lesa, votli elementi iz trislojnih plošč, nosilni elementi iz lesenega ogrodja itd. Med nosilno leseno konstrukcijo je toplotna izolacija iz različnih gradiv. Lahke konstrukcije so lahko izvedene v delavnici v obliki stenskih elementov ali pa so v celoti sestavljene na gradbišču. Delež masivnega lesa v steni je sorazmerno velik. Ker ima les večjo toplotno prevodnost kot toplotna izolacija med nosilno konstrukcijo, predstavlja v steni toplotne mostove, ki znatno poslabšajo njeno toplotno izolativnost. Za zmanjšanje toplotnih mostov je na notranji steni dodatna plast toplotne izolacije, ki služi tudi kot instalacijska ravnina, v kateri potekajo razvodi vseh instalacij. Taka stena še vedno nima potrebne toplotne izolativnosti. Boljšo toplotno izolativnost dosegajo stene z dvojnimi stebri, vendar to precej poveča delež lesa v konstrukciji in s tem tudi ceno. S stališča dobre toplotne izolativnosti, ki jo zahteva standard pasivne hiše, so najbolj primerni I nosilci. Patentirani nosilci so sestavljeni iz zgornje in spodnje letve iz masivnega lesa, vmes pa je stojina iz lesnih gradiv (vezana, OSB plošča). Zaradi manjšega prereza imajo manjši vpliv na toplotno prehodnost stene. Stena iz I nosilcev ima v primerjavi s pravokotnimi masivnimi profili do 20% boljšo toplotno izolativnost – ob visoki statični nosilnosti [14].

### **Toplotna izolacija**

Toplotni ovoj zgradbe predstavljajo vsi gradbeni elementi, ki tvorijo mejo med dvema temperaturnima območjema. To so zunanje stene, notranje stene proti neogrevanim delom zgradbe, streha, tla, okna in zunanja vrata. Znotraj toplotnega ovoja morajo biti tisti prostori, ki so stalno ogrevani, zunaj toplotnega ovoja pa so neogrevane kleti, shrambe, garaže in ostali pomožni prostori. Zaradi čim boljšega faktorja oblike mora biti toplotni ovoj čim bolj kompakten.

Ovoj pasivne hiše ima dobre toplotnoizolacijske lastnosti: vsi gradbeni elementi morajo imeti toplotno prehodnost  $U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ , pogosto so te vrednosti še nižje ( $U \leq 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ ). Debelina toplotne izolacije je odvisna od sestave stene ter znaša 25–40 cm. Kot toplotnoizolativna gradiva so pri pasivni hiši primerna vsa obstoječa tovrstna gradiva –

umetna anorganska in organska ter naravna. Od umetnih anorganskih gradiv so primerne mineralne volne, penjeno steklo. Od umetnih organskih toplotnoizolativnih gradiv se največ uporabljajo ekspanzirani in ekstrudirani polistiren, penjeni polietilen in penjeni poliuretan. V zadnjih letih se namesto umetnih gradiv uporabljajo naravna toplotnoizolacijska gradiva kot so celulozna vlakna, lesna vlakna, kokosova vlakna, lan, konoplja, ovčja volna, pluta ... in tudi slama.

Za vgrajevanje toplotne izolacije se pri pasivnih hišah uporabljajo podobni načini kot pri običajnih zgradbah, vendar so zaradi debelejšje plasti toplotne izolacije nekoliko prirejeni. Pritrjevanje se izvaja z lepljenjem, sidranjem, žebljanjem, vijachenjem, vgrajevanjem s pomožnimi letvicami ali vpihovanjem.

### **Okna in vrata**

Posebej za pasivno hišo so bila razvita specialna okna s trislojno toplotnoizolacijsko zasteklitvijo z  $U_g$  okrog 0,6 do največ 0,7 W/(m<sup>2</sup>K) (tudi manj). Okvir oken je na zunanji strani dodatno toplotno zaščiten ( $U \approx 0,7-0,8$  W/(m<sup>2</sup>K)). Te zasteklitve imajo dve prednosti:

- v srednji Evropi prepustijo okna pozimi več sončne energije v prostor kot toplote iz prostora;
- površinske temperature na notranji strani so tudi v zimskem času trajno tako visoke, da ne nastanejo niti občutna zmanjšanja sevalne toplote niti moteči slap padajočega hladnega zraka ob oknu.

Za pasivne hiše so kakovostne toplotnoizolacijske zasteklitve odločilnega pomena. Z njimi je prvič možno projektirati hišo brez grelnih teles v neposredni bližini stekel, ne da bi bilo s tem zmanjšano toplotno ugodje. Pri južno orientirani fasadi, ki ni preveč zasenčena, so tako tudi sredi januarja možni neto dobitki sončnega obsevanja.

Notranji površinski temperaturi na steklu in na stiku stekla z lesenim okvirjem sta precej višji kot pri običajnem oknu z dvoslojno zasteklitvijo (okoli 17 °C). Visoka površinska temperatura praktično ne povzroča občutka sevalne asimetrije, kot je sicer pogost pojav pri ostalih zasteklitvah, prav tako se prepreči pojav kondenzacije vodne pare, ki nastopi šele pri 85-odstotni relativni zračni vlažnosti, kar pa je v običajnih zgradbah praktično nemogoče (kratkotrajno lahko takšno relativno vlažnost dosežemo v majhni kopalnici, npr. po dolgotrajnem tuširanju z zelo vročo vodo).

Pri pasivni hiši so za letno toplotno bilanco dobitki sončnega obsevanja zelo pomembni. Največji dobitki se pričakuje skozi stekla, še posebej, če so ta večjih površin na južni fasadi. Nizkoemisijski nanosi, ki preprečujejo prehod toplote iz notranjosti zgradbe, pa znižujejo tudi prehod celotnega sončnega sevanja v prostor. Čim več je nizkoemisijskih nanosov na steklu, tem manjši je faktor prehoda celotnega sončnega sevanja  $g$ . Standard pasivne hiše zahteva visoko prepustnost celotnega sončnega sevanja v prostor, in sicer  $g \geq 50$  % (DIN 67507).

Za preprečevanje poletnega pregrevanja morajo imeti zastekljene površine ustrezno sončno zaščito. Ta je lahko v obliki rolet, žaluzij, rolojev, lamel ali markiz itd. Nepremična sončna zaščita so nadstreški in previsi fasad, balkoni pa tudi gosta ozelenitev iz listavcev.

### **Konstruiranje brez toplotnih mostov**

Ovoj zgradbe ni sestavljen samo iz pravilnih elementov, kot so ravne stene in streha. Mnogo več je na ovoju robov, vogalov, stikov in prebojev. Na teh mestih so toplotne izgube večje kot na idealnih mestih. Mesto, kjer toplota »hitreje« oteka kot na drugih mestih zgradbe, se imenuje toplotni most.

Pri korektni izvedbi detajlov lahko skoraj vse toplotne mostove na zgradbi odpravimo ali vsaj omilimo njihov učinek. Za zgradbe, ki imajo toplotno izolacijo v standardu pasivne hiše (25–40 cm toplotne izolacije na stenah, 30–40 cm toplotne izolacije na strehi, troslojna toplotnoizolacijska zasteklitev), pomeni tudi samo eden nezmanjšan toplotni most bistveno motnjo skupnega koncepta. Brez zmanjševanja toplotnih mostov bi bila toplotna izolacija v takem obsegu dejansko nesmiselna. Da se odpravi toplotne mostove, je potrebno že v fazi načrtovanji z detajli preveriti vsa kritična mesta. Najpogosteje so to: priključek podstavka zgradbe proti neogrevani kleti oz. temelju, balkonske plošče, statično pogojeni preboji toplotne izolacije v steni, priključek stene na streho, atika, vgradnja oken in vrat v stensko konstrukcijo itd. Problematike reševanja toplotnih mostov se je treba lotiti kompleksno. Obstajajo učinkoviti računalniški programi, s pomočjo katerih strokovnjak gradbene fizike ugotovi šibka mesta v konstrukciji oz. prisotnost večjih ali manjših toplotnih mostov in pomaga pri načrtovanju njihove optimizacije. Tako kot načrtovanje je pomembna tudi skrbna izvedba.

### **ZRAKOTESNOST**

Zmanjšanje potrebne energije za ogrevanje pri novogradnjah za 40 do 60 % in več v primerjavi s trenutno veljavnim pravilnikom je mogoče doseči le z optimalno toplotno izolacijo in zrakotesnim ovojem. Toplota skozi fasadni ovoj namreč ne prehaja le zaradi transmisije, temveč tudi zaradi nekontroliranega prezračevanja. Toplotne izgube, do katerih prihaja zaradi izmenjave toplega zraka iz zgradbe s hladnim zrakom od zunaj, pri pasivni hiši niso več dopustne.

Zmanjšanje energije

Zmanjšanje potrebne energije za ogrevanje, pri

Pasivna hiša mora biti izvedena zrakotesno. Določena mejna vrednost  $n_{50} \leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ , kar pomeni, da se pri tlačni razliki 50 Pa skozi vsa netesna mesta v hiši odvede ali dovede 0,6 celotnega notranjega volumna zraka v hiši v eni uri. Običajne hiše imajo to vrednost  $3 \text{ h}^{-1}$ , nizkoenergijske  $1,5 \text{ h}^{-1}$ .

Za zagotavljanje zrakotesnosti je potrebno paziti na natančno načrtovanje in skrbno izvedbo. Njeno učinkovitost je potrebno kontrolirati. Vsak gradbeni element, ki sestavlja zunanji ovoj, mora biti zrakotesen. Pri tem pa ni pomembno, katera ravnina oz. plast zunanjega ovoja je zrakotesna – vetrozaporna plast, nosilna konstrukcija ali notranja obloga. Odločilno je izključno to, da je izbrana ravnina zadosti zrakotesna in da se tesno poveže s sosednjimi zrakotesnimi ravninami. Pri masivnih objektih (opeka, beton) se tesnost doseže npr. z neprekinjenim notranjim ometom. Pri lahki gradnji notranja obloga ne more služiti kot zrakotesna plast, saj ni zadosti zrakotesna. V steno se na notranji strani načeloma vgradi parna ovira, ki hkrati predstavlja tudi zrakotesno ravnino. Uporabijo se lahko folije ali armirana gradbena lepenka. Za učinkovito zrakotesnost so poleg izbire primerne sistema tesnjenja pomembni tudi stiki med posameznimi elementi. Za stikovanje se uporabljajo tesnilni trakovi in profili, lepilni trakovi, mehanske pritrditve ipd. Posebno pozornost je potrebno nameniti tudi zrakotesni vgradnji oken in vrat v ovoj zgradbe. Prav tako morajo biti zatesnjeni vsi preboji zaradi instalacij (cevi za vodo, zrak, kabli ...).

### **PREZRAČEVANJE**

Za doseganje čim manjših toplotnih izgub je v pasivni hiši obvezen sistem kontroliranega prezračevanja z vračanjem toplote odpadnega zraka. Sveži zunanji zrak se 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 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 (dnevna soba, jedilnica, spalnice, delovna soba). Izrabljeni odvodni zrak se zajema v prostorih, obremenjenih z vlago in vonjavami (kuhinja, stranišče, kopalnica, lahko tudi pomožni prostori) 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. Po standardu pasivne hiše morajo imeti prenosniki toplote izkoristek, večji od 75%. Sodobni prenosniki toplote že skoraj v celoti izrabijo toploto izstopajočega zraka (okrog 90%). Poleg tega ima sistem tudi filtre, ki dovedenemu zraku odvzamejo pelod in prah, kar je velika prednost za alergike.

V pasivnih hišah je zrak vedno svež. Odpiranje oken tako ni več potrebno, čeprav ni prepovedano. Uporabniki lahko odprejo okno vedno, kadar si želijo. 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 ( $120 \text{ kWh}/(\text{m}^2\text{a})$ ).

## **OGREVANJE**

Z doslednim načrtovanjem in izvedbo pasivne hiše so potrebe po dodatni toploti za ogrevanje zelo nizke. Številne meritve so pokazale, da je ogrevanje v pasivnih hišah največkrat potrebno le pri zunanjih temperaturah med  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  in  $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ . V hladnejših dneh je nebo običajno jasno in zadoščajo sončni dobitki.

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 presežati  $49 \text{ }^\circ\text{C}$ , ker sicer začne zoglenevati prah. To poslabša kakovost zraka, poleg tega se ob odprtinah za vpihovanje pojavijo črni madeži.

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. Zgradbo 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.

Doc.dr. Martina Zbašnik-Senegačnik, u.d.i.a.