

Nosné konstrukce pasivních domů

Josef CHYBÍK

Fakulta architektury VUT v Brně

Nosné konstrukce vytvářejí podstatné části stavby. Patří k nim základy, vertikální a horizontální konstrukce a nosné prvky zastřešení, což jsou krovy nebo vazníkové soustavy. V energeticky úsporných, tedy i v pasivních domech (PD) ovlivňují způsob výstavby a mají zásadní vliv na výslednou kvalitu. Především se jedná o to, aby jejich začlenění do konstrukčních soustav:

- nevytvářelo místa s vyšším stupněm tepla, což jsou tepelné mosty a tepelné vazby (v hrubé stavbě se jedná především o interakci nosných konstrukcí s tepelně izolačními vrstvami),
- nedošlo na vnitřním povrchu konstrukcí k výskytu nižších teplot,
- nevytvářelo oblasti s vyšší vzduchovou průvzdušností; objektivním kritériem, které je schopno posoudit kvalitu výstavby, je míra vzduchotěsnosti obvodového pláště ověřená blower door testem, který se zkouší při přetlaku a podtlaku 50 Pa (50 N/m²),
- ani lokálně nezpůsobovalo kondenzace vodních par.

1. Základy

Základy se v pasivních domech aplikují s potřebou zajistit tepelně izolační schopnost konstrukcí umístěných na terénu, popř. vystupujících nad terén a oddělujících podlahová souvrství od zeminy pomocí vzduchové dutiny. Hledají a nacházejí se cesty jak vytvořit



Obr. 2 Židlochovice – detail založení rodinného domu
1 – násyp, 2 – tepelná izolace z XPS tl. 200 mm, 3 – železobetonová základová deska tl. 300 mm, 4 – zdívko z párobetonových tvárníc. Autor: Ing. Petr Mareček
Foto: Josef Chybík



Obr. 1 Brno-Bystrc – úprava základové spáry tepelně izolační vrstvou z drčeného pěnového skla
1 – granulace pěnového skla, 2 – geotextilie, 3 – výztuž železobetonové desky.

Autoři: arch. Martin Krč & arch. David Křeček. Foto: Josef Chybík

spojitou tepelnou izolaci již v úrovni základové spáry.

V PD se uplatňují konstrukční principy, které jsou odlišné od tradiční výstavby. Zvláště v posledním období se rozšiřuje zakládání na násypu z drčeného pěnového skla s granulami velikosti 30 až 100 mm, rozprostřenými na geotextilní vrstvě, která leží na základové spáře, obr. 1. Na ztuhnutou vrstvu pěnového skla se aplikuje další geotextilní vrstva, hydroizolační fólie, a posléze se betonuje základová deska [3].

Jinou možností je použití tepelně izolačních desek z XPS pod základovou konstrukcí. Je to systém používaný v zahraničí. V ČR se zatím objevuje jen zcela výjimečně, obr. 2. Přitom se jedná o způsob jak zajistit spojitou tepelně izolační vrstvu po celém obvodu budovy. Například při výstavbě vídeňské mateřské školy na Schukowitzgasse se použilo 200 mm XPS a 300 mm silná železobetonová deska a u další vídeňské mateřské školy Deutsch Wagram 140 mm tepelné izolace z XPS a 300 mm silná základová deska. V Židlochovicích u Brna bylo jako u jedné z prvních českých staveb použito při výstavbě rodinného domu dvou vrstev tepelné izolace z XPS o celkové tloušťce 200 mm s přesahem 300 mm za líc obvodové stěny a na ní železobetonová deska tl. 300 mm, obr. 2.

Tato technologie byla použita i při výstavbě studentských kolejí ve Vídni [5]. Osmipodlažní budova je založena na základové desce tl. 700 mm, která spočívá na vrstvě XPS tl.

150 mm. Pod tepelnou izolací je 100 mm silná vrstva podkladního betonu. Součinitel průstupu tepla této konstrukce $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Pro vytvoření spojitě izolace pod základy bylo vyvinuto několik konstrukčních systémů. Systém ISOQUICK používá polystyrén Peripor 300 BASF se součinitelem tepelné vodivosti $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ a faktorem difuzního odporu $\mu = 40/100$. Díly velikost 1200/600 mm jsou ve vertikálních i horizontálních spárách spojeny na péro a drážku. Zabraňuje se tím vzniku tepelných mostů. Tepelně izolační vrstva má charakter ztraceného bednění. Celková tloušťka tepelné izolace se v horizontální rovině pohybuje od 100 do 350 mm a v rovině vertikální od 100 do 200 mm. Tloušťka železobetonové desky je zpravidla 200, 250 a 300 mm. Podle DIN 1055-100 odolává tato izolace napětí v tlaku $f = 140 \text{ kPa}$. Tři pracovníci zvládnou položit 100 m² izolace za 2,5 až 3 h. Materiál vykazuje reakci na oheň B1 (dle DIN 4102), [6].

Vhodnějším materiálem je Jackson Insulation vyrobený z extrudovaného polystyrénu XPS, obr. 3. Izolační desky se v odstupňování po 20 mm dodávají v tloušťkách 200 až 320 mm. Jejich tepelná vodivost má hodnotu $\lambda = 0,037 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ a faktor difuzního odporu $\mu = 140$. Při 10% stlačení odolává napětí v tlaku $f = 300 \text{ kPa}$. Příznivou a známou vlastností materiálu je velmi nízká nasákavost, nejvýše 0,3% z objemu hmoty. Materiál odolává bez poškození teplotám -50 až $+75 \text{ }^\circ\text{C}$. Povrch izolace je hladký. Jednotlivé části tepelně

izolačního pláště se vzájemně spojují na péro a drážku. Výrobek se ukládá na zhuťnou vrstvu šterkopisku a písku. Před rozprostřením betonu se aplikuje PE fólie. Na zabetonovanou desku se ukládá hydroizolační vrstva. Na této konstrukci již probíhá výstavba obvodového pláště. Jeho tepelně izolačně vrstva navazuje na soklovou část prvků Jackon Insulation.



Obr. 3 Augsburg (D) – izolování základů pomocí izolace z XPS
Autor a foto: arch. Werner Friedel

2. Materiály svislých a vodorovných konstrukcí PD

Materiály používané pro výstavbu PD se příliš neliší od tradičních forem výstavby. Konstrukce je možno vytvářet jako:

- masivní stěnové a stropní prvky,
- lehké stěnové a stropní prvky,
- kombinace lehkých a masivních prvků.

■ Masivní konstrukce

Masivní konstrukce mohou být vytvořeny z různých přírodních i umělé vyrobených materiálů. Z nich se například nejčastěji používají zdicí prvky z kamene, keramiky, vápenopískového materiálu, z lehkých betonů, dřevoštěpkové bloky, tvarovky vylehčené otvory, prvky s dutinami zalitými betonem, monolitické konstrukce z betonu a železobetonu. U pasivních domů se od nosných prvků neočekává splnění energetických požadavků, nýbrž bezpečné přenesení účinků působícího zatížení. Nezbytné je statické posouzení.

Cihelné zdivo má pro příznivé ceny, jednoduchý způsob výstavby a dlouhou životnost stále velké množství příznivců a nachází uplatnění ve výstavbě nízkoenergetických



Obr. 4 Hostětín – hrubá stavba pasivního domu s cihelným zdivem tl. 175 mm
Autor: arch. Georg W. Reinberg
Foto: Ekologické centrum Veronica Brno

domů. Energetické požadavky PD však ani optimalizované zdicí prvky s porézním střepelem a perlitovou výplní s celkovou tloušťkou $\lambda = 0,08 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ dosahují jen velmi obtížně. Nežli stále zvětšování tloušťky zdiva a vylehčování cihelného střepele je vhodnější použití materiálů s rozměry, které pro nosné stěny dosahují nejvýše 250 mm. Stěny vyzděné z keramických bloků tl. 175 mm jsou přijatelné pro dvoupodlažní budovy s rozpětím stropů do 4800 mm a s výškou stěn do 3000 mm. Výrobky jsou podle reakce na oheň zařazeny do třídy A1, mají rozměry 372/175/249 mm, při zdění se spojují speciální lepicí hmotou. Pevnost v tlaku dosahují 10 MPa. V nosném zdivu je nelze oslabovat drážkami a prostupy. Jejich součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,27 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. Tyto keramické bloky byly například použity při výstavbě obytné části Ekologického

centra v Hostětíně, obr. 4. Z vnější strany se izolovaly slaměnými balíky.

Ještě lepší statické výsledky poskytují vápenopískové cihly. Český trh již zasobují tuzemské zdicí prvky tl. 175 mm zděné na tmel. Bloky KM SENDWIX mají rozměry 498/175/248 mm, objemovou hmotnost $\rho = 1220 \text{ kg}/\text{m}^3$, průměrnou pevnost v tlaku $f = 20 \text{ MPa}$, nasákavost $w = 10$ až 12 %, součinitel tepelné vodivosti $\lambda = 0,37 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ a faktor difuzního odporu $\mu = 5/10$. Materiál je nehořlavý s třídou reakce na oheň A1. Vápenopískové cihly je u nízkopodlažních budov s rozpětími stropních konstrukcí do 4500 mm možno použít i v tl. 150 mm. Samozřejmou součástí vertikálních konstrukcí jsou pozdní věnce, které přispějí k prostorové tuhosti stavby. Velmi dobré zkušenosti s použitím vápenopískového zdiva na výstavbu pasivních domů mají v sousedním Německu, obr. 5 až 7.



Obr. 5 Behringersdorf (D) – autoklávy v podniku Zapf Daigfuss sloužící výrobě vápenopískového materiálu
Foto: Josef Chybík



Obr. 6 Neukirchen (D) – dvoupodlažní pasivní solární dům budovaný s nosnými stěnami z vápenopískových bloků tloušťky 175 mm

Autor: Architekturbüro Plan & Vision
Foto: Josef Chybík



Obr. 7 Neukirchen (D) – stěnové topení s rozvodou ve vertikálních dutinách vápenopískových bloků KS-QUADROTHERM

Autor: Architekturbüro Plan & Vision
Foto: Josef Chybík

Dlouholetá tradice je dána širokou škálou více než stovky výrobních závodů. V České republice je známa firma Kalksandstein.

Pro výstavbu PD jsou mnohdy odmítaným stavebním materiálem tvárnice z pórobetonu. V Židlochovicích u Brna se z nich podařilo vytvořit 14 rodinných domů vybudovaných v řadové zástavbě a další domy individuální, obr. 8. Jak po stránce energetické, tak i konstrukční vyhovují všem požadavkům PD, [1]. Tloušťka nosných stěn je 200 až 240 mm. Tvárnice však mají nižší pevnost v tlaku, která se podle objemové hmotnosti $\rho = 300$ až 500 kg/m^3 pohybuje v rozmezí $f = 2$ až 4 MPa . Tepelná vodivost materiálu je v rozsahu $\lambda = 0,085$ do $0,12 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.

Pro výstavbu PD se používají také masivní skeletové i stěnové konstrukce ze železobetonu. Stěnové konstrukce poskytují obvodový plášť s vysokou těsností n_{50} a dobrými tepelně akumulacími vlastnostmi, což se příznivě projevuje především v období s vyššími venkovními teplotami. Příkladem jsou vysokoškolské koleje ve Vídni, kde obvodový plášť ze železobetonových panelů tl. 180 mm s 260 mm tepelné izolace z EPS nebo z požárních důvodů kolem oken s izolací z minerálních vláken má součinitel prostupu tepla $U = 0,146 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$, [2]. Také šikmé i vodorovné části střešní konstrukce jsou ze železového betonu tl. 200 mm s tepelnými izolace tl. 320 a 380 mm s $U = 0,11$ až $0,12 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$.

Ve Vídni byla postavena celá řada velkých pasivních obytných domů, ve kterých se pro nosné konstrukce použil železobeton. Konstrukce se z vnější strany obložily 300 mm silnou vrstvou tepelného izolantu, obr. 9 a 10.

V posledních letech se vlastnosti železobetonu aktivně využívají pro úpravu vnitřního prostředí. Příkladem je budova Energonu v Ulmu, Energy BASE ve Vídni, obr. 11, nebo v Národní technické knihovně v Praze. Kromě nosné výztuže jsou do betonu integrovány kabely, které slouží k rozvodu kapaliny. Jedná se o aktivovaný beton, ve kterém v zimě protéká voda teplá a v létě chladná.

■ Lehké konstrukce

K lehkým konstrukcím je možno zařadit všechny systémy používající dřevo. Dělí se na: hrázděné, dělené podpory, tuhé stropní platformy, kleštinové systémy, fošinkové konstrukce, těžký skeletový systém, rámové konstrukce, moderní roubené konstrukce, panelové a deskové soustavy.

Fošinkové systémy s tvarovou a dispoziční volností byly v minulosti známé i v ČR [4]. Po desetiletích stagnace, kdy se dřevo používalo snad jen u domu OKAL, byla zavedena soustava nazývaná „two by four“, obr. 12. K výstavbě vertikálních i horizontálních nosných konstrukcí se používají fošny velikosti 2x4 palce, popřípadě 2x6 palců, tj. 50/100 mm až 50/150 mm, kladených po 400 až 600 mm. Stropnice jsou zpravidla z fošen 50/200 mm s volným rozponem až do 6 m. Spoje jsou



Obr. 8 Židlochovice – pasivní domy z pórobetonových tvárníc

Autor: Ing. Petr Mareček
Foto: Josef Chybík



Obr. 9 Vídeň (A) – průčelí pasivního obytného domu ze železobetonu

Autor: arch. Martin Treberspurg
Foto: Josef Chybík



Obr. 10 Vídeň (A) – atrium pasivního obytného domu ze železobetonu

Autor: arch. Martin Treberspurg
Foto: Josef Chybík



Obr. 11 Vídeň (A) – pasivní dům Energy BASE z nosného železobetonového skeletu a lehkého obvodového pláště

Autor: arch. Ursula Schneider
Foto: Josef Chybík



Obr. 12 Brno – fošinkový systém 2x4

Autor: arch. Hana Urbášková
Foto: Josef Chybík

hřebíkované. Střešní konstrukci nad nejvyšším podlažím zpravidla tvoří dřevěné vazníky, které vytvářejí dvouplášťovou plochu střechu. Zavětrování (ztužení) zajišťují desky OSB, které po utěsnění a přelepení spár mají současně funkci vrstvy, která významně snižuje tok vodní páry do obvodového pláště.

Dřevostavby se vytvářejí také z kompletizovaných panelů. Pro panely na výšku jednoho podlaží je charakteristická rychlost výstavby. V dílně, kde se vyrábějí, dosahují velké přesnosti a vysoké kvality. V sousedním Rakousku jsou pro hrubé stavby pasivních domů velmi rozšířené velkoformátové strukturální panely z vrstveného masivního dřeva označované KLH (Kreuzlagenholz) a BBS (Binder Brettsperrholz). V posledním období se ve stále větší míře začínají používat i v ČR. Masivní KLH panely se vyrábějí ze dřeva jehličnanů. Výrobky mají objemovou hmotnost kolem 500 kg/m³. Podle způsobu použití a statických požadavků se jedná o technicky vysušená, příčně, ve třech, pěti a více vrstvách polyuretanovými lepidly plošně sklížená smrková prkna tloušťek 13, 19, 30 a 40 mm. Při výrobě jsou zcela eliminovány emise toxických látek včetně formaldehydu. Vyrábějí se v délkách do 16 500 mm, v šířce nejvýše 2 950 mm a v tloušťkách od 60 do 500 mm. Dodávají se jako nepohledové, průmyslové a pohledové díly. Panely se v kombinaci s ocelí, sklem a dalšími materiály používají jak na vytvoření hrubé stavby menších budov, jako jsou rodinné a vícepodlažní obytné domy, tak i při výstavbě veřejných a průmyslových staveb. Uplatnění nacházejí i pro geometricky členité stropy a mostní konstrukce. Stejnou technologií se pro konstrukce stěn a stropů vyrábějí



Obr. 13 Böhheimkirchen (A) – vertikální nosná konstrukce z desek KLH s tepelně izolační vrstvou ze slaměných balíků
Autor: arch. Hans W. Scheicher
Foto: GrATTU Wien

spojovací panely BBS. Jejich délka dosahuje 24 000 mm, šířka 250 až 1 250 mm a tloušťka 75 až 334 mm. Panely KLH se použily také při výstavbě pasivního domu v Böhheimkirchenu izolovaného slámou, obr. 13.

Absence mokrých stavebních procesů umožňují velkou rychlost výstavby. Například hrubá stavba domu o ploše 100 m² zastavěné

plochy trvá včetně krovu přibližně pět pracovních dnů. Největší objem prací se uskutečňuje ve výrobních. Na stavbu se již dopravují hotové výrobky, které se jako nosné i nenosné montují na základovou desku. Spojovacími prvky jsou vruty. Izolování pláště se provádí z vnější strany rohožemi z minerálních vláken nebo lépe dřevovláknitými deskami.

I přírodní materiály poskytují v nejrůznějších formách použití při výstavbě PD. Pro hrubou stavbu je například možno použít slámu slisovanou do balíků. Dobrých výsledků s tímto materiálem dosahuje švýcarský architekt Werner Schmidt, obr. 14.



Obr. 14 Lana (I) – výstavba hrubé stavby pasivního domu z nosné slámy

Autor: Werner Schmidt
Foto: Werner Schmidt

Literatura

- [1] CHYBÍK, J.: Průzkum subjektivního hodnocení pasivního domu. In: sborník Pasivní domy 2008. Brno, 2008, Centrum pasivního domu, s. 44–50.
- [2] CHYBÍK, J. & VELKOVÁ, S. & VELEK, J.: Studentská kolej jako pasivní dům. Materiály pro stavbu, 2007, 13, č. 9, s. 35–37.
- [3] JORDAN, E.: B2 – das Null.Energie.Büro: Kancelář s nulovou spotřebou energie. In: sborník Pasivní domy 2008. Brno, 2008, Centrum pasivního domu, s. 234–239.
- [4] ONDŘEJ, S.: Dřevěné konstrukce. Praha, 1953, Státní nakladatelství technické literatury, 2. vydání, 172 s.
- [5] TREBERSPURG, M. & SMUTNY, R. & Oberhuber, A.: Nachhaltigkeits-monitoring des Passivhausstudentenheims Molkereistrasse. Wien, 2007, Projekt NaMoMo, 117 s.
- [6] Technický list ISOQUICK z 1. 4. 2007 www.isoquick.de