

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
Zásady návrhu pasivních domů v souvislosti
s jejich energetickou náročností**

Jan Hájek

2017

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

V Praze

.....

Jan Hájek

Poděkování

Děkuji panu inženýru Rostislavu Šulci, Ph.D. za profesionálně vedený a odborný přístup. Dále za ochotné a iniciativní jednání doplněné širokým nadhledem.

Děkuji Centru pasivního domu, z.s. za poskytnuté podklady.

Děkuji rodině a partnerce za vytrvalou podporu.



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Hájek</u>	Jméno: <u>Jan</u>	Osobní číslo: <u>409688</u>
Zadávající katedra: <u>Katedra technologie staveb (k122)</u>		
Studijní program: <u>Stavební inženýrství</u>		
Studijní obor: <u>Příprava, realizace a provoz staveb</u>		

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: <u>Zásady návrhu pasivních domů v souvislosti s jejich energetickou náročností</u>	
Název bakalářské práce anglicky: <u>Principles in the design of passive houses in relation with their energy performance</u>	
Pokyny pro vypracování: 1) Rešerše k problematice pasivních domů, včetně popisu specifik těchto domů, předpoklad vývoje nízkoenergetických domů. 2) Klíčové architektonické a konstrukční zásady při návrhu pasivního domu ve vztahu k normovým požadavkům. 3) Analýza energetické náročnosti pasivních domů na modelových příkladech s ohledem (s ohledem na principy architektonického návrhu, technická řešení, normové požadavky atd.) 4) Multikriteriální hodnocení jednotlivých aspektů ovlivňujících fungování pasivních domů.	
Seznam doporučené literatury: TYWONIAK, Jan. Nízkoenergetické domy 3: nulové, pasivní a další. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3832-1; BROTÁNKOVÁ, Klára a Aleš BROTÁNEK. Jak se žije v nízkoenergetických a pasivních domech. Praha: Grada, 2012. Stavitel. ISBN 978-80-247-3969-4; BERE, Justin. An Introduction to Passive House. 1. United Kingdom: RIBA Publishing, 2013. ISBN 9781859464939; SMOLA, Josef. Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů. Praha: Grada, 2011. Stavitel. ISBN 978-80-247-2995-4	
Jméno vedoucího bakalářské práce: <u>Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.</u>	
Datum zadání bakalářské práce: <u>23.2.2017</u>	Termín odevzdání bakalářské práce: <u>28.5.2017</u>
_____	_____
Podpis vedoucího práce	Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

<i>Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.</i>	
_____	_____
Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)

Anotace

Předkládaná práce uvádí čtenáře do prostředí nízkoenergetické výstavby, specifikuje pasivní domy, dále definuje základní principy uplatňované při návrhu konceptu pasivních domů, a to po architektonické, konstrukční a technické stránce. Také se dotýká problematiky výpočtu energetické náročnosti a vůbec legislativnímu přístupu k věci. V závěrečné části analyzuje tři pasivní domy a představuje jejich parametry, které ovlivňují energetickou náročnost domů. Modely jsou multikriteriálně hodnoceny a výstup je doplněn o uživatelské reference. Je nastíněn vývoj nízkoenergetické výstavby, motivace a přesah práce s ohledem na energeticky nejistou budoucnost a enviromentální zodpovědnost.

Klíčová slova

pasivní dům, energetická náročnost, udržitelná výstavba, solární zisky, větrání s rekuperací tepla

Annotation

The presented work introduces the reader to the low-energy construction environment, specifies passive houses, and defines the basic principles applied in the design of the passive house concept, both architecturally, constructively and also technically. It also touches the issue of calculating energy performance and legislative approach in the matter. In the final part, the paper analyzes three passive houses and presents their parameters, which influence the energy performance. The models are assessed multi-criterially and the output is supplemented by user references. It outlines the development of low-energy construction, motivation, and overlapping of work with regard to the energy uncertain future and environmental responsibility.

Key words

passive house, energy performance, sustainable development, solar gain, ventilation with heat recovery

Bibliografická citace VŠKP

HÁJEK, Jan. *Zásady návrhu pasivních domů v souvislosti s jejich energetickou náročností*. Praha, 2017. 61 s., 0 s. příl. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta stavební, Katedra technologie staveb. Vedoucí práce Ing. Rostislav Šulc, Ph.D.

OBSAH

ÚVOD	10
Cíle práce	11
1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU	12
1.1 Vývoj nízkoenergetické výstavby	12
1.1.1 Vývoj v zahraničí	12
1.1.2 Vývoj v ČR	13
1.1.3 Momentální stav a předpoklad vývoje	14
1.2 Popis specifik pasivních domů	15
1.2.1 Vymezení pojmu a hlavních rysů	15
1.2.2 Základní určující kritéria	16
1.2.3 Uživatelský dojem	17
2 ARCHITEKTONICKÉ, KONSTRUKČNÍ A TECHNICKÉ ZÁSADY	18
2.1 Umístění stavby	19
2.1.1 Orientace vůči světovým stranám	19
2.1.2 Umístění vůči okolnímu prostoru	19
2.2 Tvar obálky a rozvržení	20
2.2.1 Poměr A/V	20
2.2.2 Volba dispozice	21
2.3 Funkce jižní fasády	21
2.3.1 Výplně stavebních otvorů	22
2.3.2 Zastínění průsvitné obálky	23
2.4 Tepelná izolace obalových konstrukcí	25
2.4.1 Stěny	25
2.4.2 Základová deska	25
2.4.3 Střecha	26
2.4.4 Tepelné mosty	27
2.5 Neprůvzdušnost obálky	27
2.5.1 Blower-door test	28
2.6 Nucené větrání	28
2.6.1 Rekuperace tepla	30
2.6.2 Problematika vlhkosti	32

2.6.3	Příčiny a důsledky	34
3	ANALÝZA ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI	36
3.1	Přístupy k energetickému výpočtu	36
3.1.1	PHPP (Passivhaus-Projektierungspaket).....	36
3.1.2	PENB (průkaz energetické náročnosti staveb)	37
3.2	Modelové příklady.....	39
3.2.1	RD Kociánka	39
3.2.2	RD Jablonná	40
3.2.3	RD Rostoklaty	42
3.2.4	Příkladové parametry	43
3.3	Multikriteriální hodnocení.....	46
3.3.1	Volba kritérií a vah.....	46
3.3.2	Reference uživatelů	48
3.4	Výsledky.....	51
3.4.1	Komentář autora	53
	ZÁVĚR	54
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
	SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK	59
	SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ	60

ÚVOD

Práce se zabývá tématem energeticky pasivní dům, častěji pouze pasivní dům (dále PD). Koncept pasivního domu přirozeně reaguje na snižování energetické náročnosti budov a prostřednictvím pasivních zisků, stavební fyziky, architektonických, konstrukčních a technických principů je schopen snížit potřebu tepla běžně o 80 % oproti stávající výstavbě. Mimo uživatelsky přívětivé provozní náklady takové drastické snížení nároků také nabízí možnost pokrytí potřebné energie z obnovitelných zdrojů energie (dále OZE). Neoddělitelně koncept PD přináší kvalitní, čisté a uživatelsky komfortní vnitřní prostředí budovy, kde nynější člověk tráví většinu dne.

Světové energetické odhady se shodují, že v horizontu desítek let se zásoby fosilních paliv při stávající spotřebě přiblíží nule. Zároveň pro země Evropské unie platí, že 40 % vygenerované energie je spotřebováno právě budovami (European Commission, 2017). Z toho je většina spotřebována na vytápění, potažmo chlazení, právě zde tkví ohromný potenciál pro úspory.

V této práci se soustředím úžeji na zásady návrhu PD, ovšem obecně téma PD má přesah a spojitost s využíváním obnovitelných energií, celoživotním cyklem stavby, preferenci lokálních zdrojů pro výstavbu, nabádá k zájmu o zabudovanou (svázanou, šedou) energii a CO₂ v použitých materiálech, emise CO₂ za života stavby, hospodaření s vodou, akumulaci dešťové vody, baubiologii¹ a další.

V této práci jsou poznatky vztažené k podmínkám mírného klimatu v České republice (potažmo centrální Evropě). Energeticky zásadní je tedy zimní období s nízkými teplotami (naopak od teplých a slunných podnebí). Také se velikostně soustředím na rodinné domy. Například u administrativních, prosklených budov je běžně zásadní naopak problematika letního přehřívání.

¹ Baubiologie = stavební biologie (interdisciplinární věda zabývající se celistvým pohledem na vztah člověka a budovy s hlediska mikroklimatu, materiálů, životního prostředí, energie, vody atp.)

Volba PD nabídne uživateli bydlení závislé v minimální míře na dodavatelích energií v průběhu životnosti stavby, jistotu velmi nízkých provozních nákladů v neisté budoucnosti (finančně, politicky, energeticky). V neposlední řadě je rozhodnutí pro pasivní dům důkazem environmentálně zodpovědného přístupu uživatele a prostředek pro budoucí rozvoj udržitelné výstavby. Tím myslím nulové a aktivní domy, které přijímají principy pasivního domu a jsou doplněny o technologie vyrábějící energii tak, aby pokryly, potažmo předčily svou spotřebu energie v celoroční bilanci. Bývá tak za využití OZE. Příbuzný případ je ostrovní dům schopný pokrýt svou spotřebu průběžně v celém roce, pak dokonce odpadá nutnost být připojen na centrální distribuci elektrické energie.

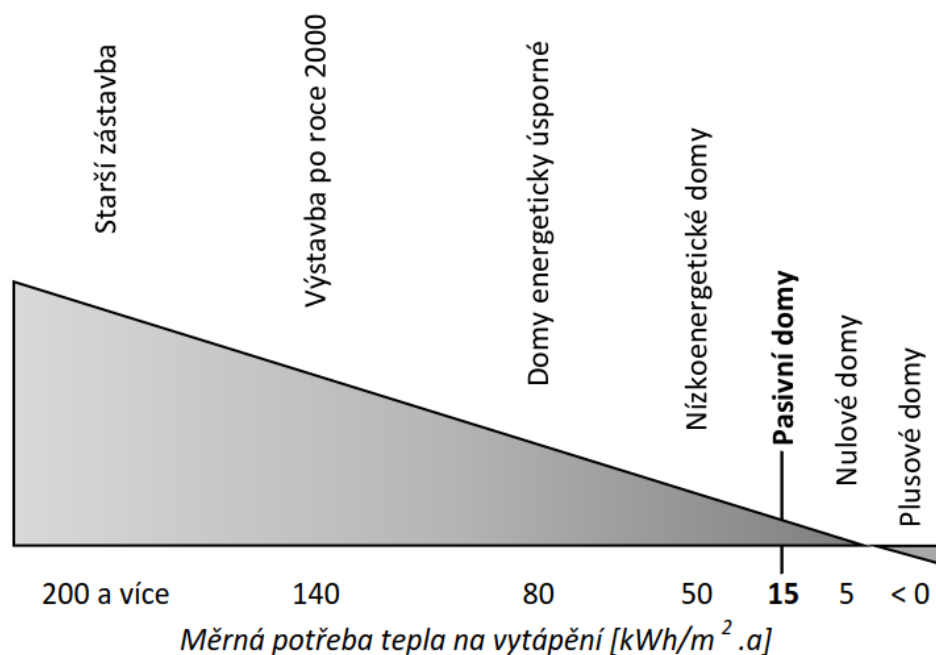
Mimo výše zmíněnou motivaci je to i z části legislativní ustanovení a tendence Evropské komise budovat domy s téměř nulovou spotřebou energie, pro což je PD ideální nástroj. Česká republika nabízí finanční dotaci při splnění podmínek, které se částečně kryjí s podmínkami PD.

Cíle práce

- Komplexní seznámení a uvedení čtenáře do problematiky nízkoenergetické výstavby, konkrétně pasivních domů, a to nezaujatým jazykem a pohledem se zapracováním aktuálních poznatků
- Určení klíčových principů konceptu pasivního domu a architektonických, konstrukčních a technických zásad návrhu PD
- Představení třech modelů PD, jejich analýza a diskuze nad aspekty ovlivňující jejich energetickou náročnost s ohledem na uživatelské, subjektivní reference a dojmy
- Zdůvodnění konceptu pasivního domu jako nástroje na cestě k udržitelné, nízkoenergetické výstavbě s přesahem sociálním, hospodářským a politickým

1 SEZNÁMENÍ S PROBLEMATIKOU

V první kapitole se seznámíme s pozadím nízkoenergetické výstavby, vývojem v zahraničí a u nás. Dále s oporou v legislativě, která problematiku řeší. Vymežíme kritéria PD dle legislativy a dle původní, německé idey. Trend snižování energetické náročnosti znázorněný níže (viz Obr. 1) sledujeme konstantně od konce minulého století. V korelaci s tím se zvyšuje cena za energie. Podpora enviromentální uvědomělosti a společenské zodpovědnosti stoupá a výrobní trh nabízí technologie, znalosti a materiály, které dovolují sledování trendu.



Obr. 1: Trend snižování měrné potřeby tepla na vytápění. Vytvořeno autorem. Data z (Tywoniak, 2005)

1.1 Vývoj nízkoenergetické výstavby

1.1.1 Vývoj v zahraničí

Již v sedmdesátých letech minulého století se objevují četné snahy o nízkoenergetickou výstavbu, které podpořil ropný šok v roce 1973 (Mao, 2009). V devadesátých letech minulého století ukotvil Dr. Wolfgang Feist koncept pasivního domu (Building Research Establishment, 2017). Postupně tento koncept vyvíjel a rozšiřoval, nyní pod záštitou Passivhaus Institutu (dále PHI). To je nezávislý výzkumný

institut, který sdružuje architekty, energetické odborníky, stavební techniky a odbornou veřejnost. Je autorem metodiky PHPP a vydavatelem certifikace pro navrhování pasivních domů, organizuje mezinárodní konference (Passivhaus Institut, 2015c). V následujících letech výstavba probíhala zejména v Německu a Rakousku, později i ve Spojeném království a USA.

V roce 2010 vydala Evropská komise nařízení 2010/31/EU - Energy Performance of Buildings Directive² (dále EPBD³), které zavazuje státy Evropské unie navrhovat a stavět do konce roku 2020 domy s téměř nulovou spotřebou energie a zavazuje částečné využívání OZE. Definice téměř nulové spotřeby není blíže určena. A stanoví státům EU si určit nákladově-optimální úroveň, která bude kritériem při posuzování výstavby (více viz kapitola 3).

1.1.2 Vývoj v ČR

Požadavky Evropské komise zpracovává na obecné a koncepční rovině zákon č. 406/2000 Sb. o hospodaření energií. Nařízení EPBD bylo podrobně transponováno do české legislativy jako vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov. Ta blíže určuje nákladově-optimální úroveň pro ČR zavedením nástroje referenční budova, který je pilířem pro výpočet průkazu energetické náročnosti budov (dále PENB).

Obdobu PHI v České republice zastává Centrum pasivního domu (dále CPD), které sdružuje odborníky, přináší osvětu mezi veřejnost, vzdělává a certifikuje techniky. Vede katalog PD a seznam ověřených projektantů v ČR. Nabízí konzultace a poradenství. Organizuje dny otevřených dveří v realizovaných PD ve spolupráci s majiteli. Zpracovává českou mutaci nástroje PHPP.

² Přeloženo jako: *nařízení o energetické náročnosti budov*

³ Znamé a značené též jako EPBD II

1.1.3 Momentální stav a předpoklad vývoje

Tak jako s každým novým trendem, i zde přicházejí také mylné informace a neochota či konzervativnost společnosti pro změnu. Pak asociace k sousloví pasivní dům často mezi laickou, ale i z části mezi nepoučenými odborníky zní ve zkratce například: „drahé, přetechnizované, zatěsněné, nedá se větrat okny...“. Už jen pro osvětu společnosti věřím, že je nutné podávat nezkreslené informace a tím narovnat povědomí o PD. V ČR nahrává výstavbě PD dotace od NZÚ v hodnotě 450 000 Kč v podoblasti podpory B.2.

Blíže neurčená definice budov s téměř nulovou spotřebou energie nechala prostor pro implementaci do české legislativy. Pro rodinné domy platí, že když sníží měrnou potřebu neobnovitelné energie o 25 % a průměrný součinitel prostupu tepla o 30 % od referenční budovy, pak jsou považované za budovu s téměř nulovou spotřebou energie. Jelikož hodnoty referenční budovy nejsou stanoveny striktně, pak splnění této podmínky je otevřené i pro domy neblížící se energetické náročnosti PD. Tedy legislativa přistupuje k zavedení efektivních požadavků velmi opatrně. Pojmenování „dům s téměř nulovou spotřebou energie“ je tedy zavádějící s ohledem na podobnost s termínem „nulové budovy“. Nicméně jak historie napovídá, tendence snižování energetické náročnosti se vyvíjí, a tedy je více než užitečné si osvojit koncept PD, který je ideálním nástrojem pro energeticky udržitelnou budoucnost.

1.2 Popis specifik pasivních domů

1.2.1 Vymezení pojmu a hlavních rysů

Tuto podkapitolu uvedu citací z české normy: „*Pasivní domy jsou budovy s roční měrnou potřebou tepla na vytápění nepřesahující 15 kWh/(m²a). Takto nízkou energetickou potřebu budovy lze krýt bez použití obvyklé otopné soustavy, pouze se systémem nuceného větrání obsahujícím účinné zpětné získávání tepla z odváděného vzduchu (rekuperací) a malé zařízení pro dohřev vzduchu v období velmi nízkých venkovních teplot. Navíc musí být dosaženo návrhových teplot vnitřního vzduchu po provozní přestávce v přiměřené (a v projektové dokumentaci uvedené) době. Současně nemá u těchto budov celkové množství primární energie spojené s provozem budovy (vytápění, ohřev TUV a el. energie pro spotřebiče) překračovat hodnotu 120 kWh/(m².a)...*” (ČSN 73 0540-2).

Pozn.: Některé zdroje také uvádějí měrnou potřebu primární energie omezenou na 60 kWh/(m².a), avšak bez započtení uživatelsky spotřebované energie (spotřebiče).

PD je dům získávající a využívající zisky pasivně. Jedná se o solární zisk, dále metabolické teplo a odpadní teplo spotřebičů. V součinnosti s funkcí velmi kvalitní tepelně izolační obálky, její těsnosti a principu zpětného využití tepla (řízené větrání s vysoce účinnou rekuperací) je koncept PD schopný vystačit s velmi nízkou potřebou aktivně dodané energie, která se v zimním klimatu ČR vyžaduje.

Při návrhu PD je klíčové více než jinde již ve fázi přípravy a konceptu investovat čas a finance do optimalizace projektu. Nelze přistupovat ve fázi realizace s nápadem operativně upravovat a doplňovat projekt bez reflexe k výpočtu. Totožně zásadní je jakost prováděných prací a kontrola kvality, která se citlivě ve funkčnosti PD odrazí.

1.2.2 Základní určující kritéria

Mimo principu a metodiky návrhu PD a dalších normových požadavků je pro mírné klima centrální Evropy vymezen pojem PD dle PHI striktněji (viz Tab. 1). V této definici je počítáno s čistou podlahovou plochou (jednotlivé vytápěné místnosti).

Tab. 1: Kritéria vymezující PD dle PHI. Vytvořeno autorem. Data z (Passivhaus Institut, 2015a)

Kritérium	Max.	Jednotky	Překlad do AJ
Měrná potřeba tepla na vytápění	15	kWh/(m ² .a)	Specific Space Heating Energy Demand
Měrná potřeba obnovitelné primární energie	60	kWh/(m ² .a)	Specific Renewable Primary Energy Demand
Neprůvzdušnost n_{50}	0,6	hod ⁻¹	Airtightness
Topná zátěž	10	W/m ²	Peak Heating Load
Časová míra překročení 25 °C	10	%	Thermal Comfort

Potřeba primární energie je vztažena i na domácí spotřebiče. Definice PHI nabádá k využívání OZE.

Dále ČSN 73 0540-2 stanoví doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla pro pasivní budovy (viz Tab. 2). Platí, že čím menší budovy, tím přísnější bychom měli navrhnout hodnoty.

Tab. 2: Součinitel prostupu tepla doporučený pro PD. Data z (ČSN 73 0540-2)

Popis konstrukce	$U_{pas,20}$ [W/(m ² .K)]
Obvodové stěny	0,18 až 0,12 ⁴
Střecha plochá a šikmá se sklonem do 45° včetně	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,22 až 0,15
Výplň otvoru ve vnější stěně a strmé střeše, z vytápěného prostoru do venkovního prostředí, kromě dveří	0,8 až 0,6
Dveřní výplň otvoru z vytápěného prostoru do venkovního prostředí	0,9

⁴ Zvláště u rodinných domů je v rámci rozsahu vhodné navrhnout ke spodní hranici, tj. ideální $U_{pas,20} < 0,15$ W/(m².K) i pro obvodové stěny.

1.2.3 Uživatelský dojem

V porovnání s běžnou výstavbou poskytují PD zejména tepelnou stabilitu. Vnitřní povrchová teplota stěn u PD se liší zhruba o 1 °C od teploty interiéru a u povrchů oken je to 2 až 3 °C. Při využití i jen akumulace vnitřních konstrukcí si PD zachovává tepelnou odolnost proti extrémním výkyvům a podobně tepelnou setrvačnost při výpadku dodávané energie (ať už elektrické nebo solární, potažmo tepelné). Neexistuje studené sálání od chladných povrchů nebo pocit studených nohou.

Neméně vřele vnímaný dojem uživatelů u PD je čerstvý, bezprašný vzduch a neexistence průvanu. Řízené větrání zajišťuje plně a nepřetržitě výměnu vzduchu, tím i odvod nadbytečné vlhkosti. V případě PD se zavřenými okny současně dýcháme stále čerstvý vzduch a vnímáme klid, zároveň se hlukově uživatelé nemusí omezovat.

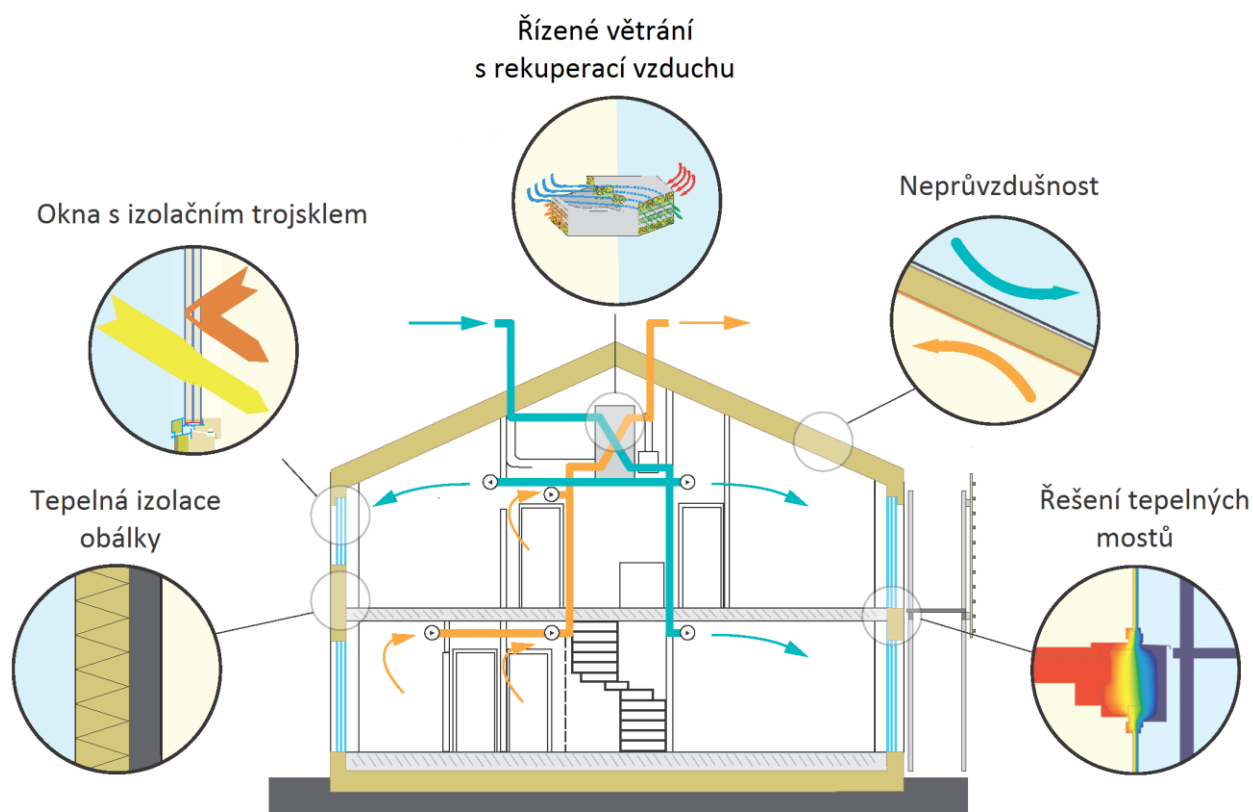
Dovolím si vyvrátit zažitý mýtus: „Nechci PD, nemohu větrat okny“. Větrat okny samo sebou stále lze. Jen uživatel tu potřebu nebude vnímat, jelikož je zajištěn přívod vzduchu strojově. S výhodou je využíváno cílené noční větrání okny v období letních hork.

Kvalitní provedení tepelně izolační obálky, které nedovoluje kondenzaci v nosné části budovy, a stabilní teploty v domě prodlužují životnost nosným konstrukcím. To přímo prodlužuje dobu života samotné budovy a také zdůvodňuje vyšší tržní hodnotu.

2 ARCHITEKTONICKÉ, KONSTRUKČNÍ A TECHNICKÉ ZÁSADY

V této kapitole zmíním klíčové principy PD a budu postupně popisovat zásady při návrhu PD. Zásady jsou založené na pochopení stavební fyziky a energie prostředí, špičkové provedení konstrukčních zásad umožňuje dospělost stavebního vývoje a argumentací použití je nepočitatelné množství výpočtů a realizací v různých zemích a v odlišných klimatech.

Pro názornost graficky (viz Obr. 2) zobrazuji pětici principů spojující návrh každého PD.



Obr. 2: Schéma znázorňující základní principy PD (Passivhaus Institut, 2015a). Upraveno autorem

2.1 Umístění stavby

Umístění stavby předchází samotná volba pozemku, která bohužel vždy není volbou bez omezení. Samozřejmě i na každý běžný pozemek lze usadit PD a je úkolem projektanta, aby návrh zohlednil místní, stávající podmínky. Pro daný pozemek mohou platit i omezení legislativní jako přeregulovaný územní plán (nutnost vestavěné garáže, sedlové střechy a určení sklonu, hřebenu střechy), prostorová regulace, uliční čára, zastavovací čára, odstupové vzdálenosti a další. (Centrum pasivního domu, 2017)

2.1.1 Orientace vůči světovým stranám

Pozemkové poměry musejí dovolit orientaci fasády, která bude navržena jako dominantně prosklená, převážně na jižní stranu, jelikož právě od slunce získává PD kolem poloviny tepelných zisků. V rámci pozemku je vhodné PD umístit tak, aby z jihu, jihozápadu byl dům otevřen a nestíněn, tzn. typické umístění v severovýchodní části.

Intenzita slunečního záření je odvislá od geografické polohy, nadmořské výšky a v neposlední řadě od čistoty vzduchu.

2.1.2 Umístění vůči okolnímu prostoru

Pasivní domy pro svojí nízkou potřebu dodaného tepla citlivěji reagují na doposud méně důležitá kritéria ovlivňující umístění stavby, a s nimi je třeba počítat již ideálně při výběru stavebního pozemku, pokud možnost volby dovolí. Jedná se zejména o lokální klimatická kritéria jako teplota a větrné poměry.

Mimo klesání návrhové venkovní teploty se zvyšující se nadmořskou výškou, počítáme s místní změnou teploty ovlivněnou okolní zástavbou, kdy hustější aglomerace obecně udržuje vyšší teploty a plynuleji reaguje na kolísání teplot bez podlehnutí ke krátkodobým, nízkým extrémům v porovnání s otevřenou krajinou. Stejně tak na jižním svahu se drží vyšší teploty než na svahu severním. Dále je nevýhodné umístění v údolí z důvodu výskytu sestoupeného chladného vzduchu. Dále se nabízí využít akumulární schopnosti a teplotní stálosti zeminy při částečném usazením domu pod terén, kdy norma ČSN 73 0540-3 umožňuje výpočet

s přívětivějšími teplotami venkovního prostředí. Současně je nutné chránit obálku proti vnikání a nasákání vlhkosti, která z důvodu obsahu vysoko tepelně kapacitní vody zvyšuje U hodnotu tepelné izolace vedoucí ke zvýšení plošných tepelných ztrát.

Vanutí větru zvyšuje součinitel přestupu tepla obálky a dále zvyšuje tepelné ztráty infiltrací. Na lokálních vrcholech terénu a v nechráněné krajině je stavba negativně ovlivněna vanutím větru ochlazujícím obálku. Vhodné umístění PD je v oblasti s normálním zatížením větrem, chráněné okolní aglomerací. Při samostatném umístěním PD v krajině lze s úspěchem využít individuální větrolam, vystavený jako pevná překážka nebo trvalá výsadba zeleně v opozici převládajícím větrům. Případně krytí PD výstavbou nevytápěných prostor (garáž, sklad, dílna, zahradní domek).

2.2 Tvar obálky a rozvržení

Ve stručnosti: kompaktní a jednoduchý tvar s obývanou dispozicí směrem k jihu.

2.2.1 Poměr A/V^5

Hodnota A/V značí poměr mezi ochlazovanou vnější plochou A a vnějším objem vytápěné zóny budovy V . Tedy toto číslo je záhodno minimalizovat a toho se nejsnáze dosáhne simplifikací tvaru obálky. Ideálním tělesem s nejnižším A/V je koule. Pro reálnou stavbu budeme bohužel nuceni snížit z ideálů, potom se nabízí (mimo polokoule) krychle, či ležatý kvádr orientovaný na jih delší fasádou. Patrová budova oproti bungalovu je v tomto aspektu velmi zvýhodněna. Významnost faktoru tvaru je nutné nepodcenit, jelikož nepříznivé tvarové řešení již těžko lze kompenzovat umocněním jiných energetických opatření (např. nutnost navýšení dimenze izolace). Dále je třeba se vyvarovat vystupujícím a zahlubujícím se prvkům za hranici fasády, ostrým rohům a případným krkolomným detailům, které by nahrávali vzniku tepelných mostů. Zároveň nejsme omezeni pravoúhlými půdorysy a z hlediska faktoru tvaru jsou v návrhu vítány inteligentně využitě zaoblené hrany, viz například PD BYSTRC "VĚJÍŘ" (Centrum pasivního domu, 2016).

⁵ Jinak též: faktor tvaru nebo objemový faktor budovy

Efektivita pasivního standardu je na rozsáhlejších objektech – kancelářských budovách, obytných domech – znatelně umocněna, a to pro hodnotu obestavěného objemu, který se pozitivně promítne v poměru A/V. Tedy ochlazovaná část budovy je k její tepelné vnitřní mase nižší. A proto bungalovy je třeba navrhovat s přijetím faktu, že budou energeticky znevýhodněny (značná ochlazovaná plocha).

2.2.2 Volba dispozice

Volba dispozice závisí na způsobu a času využívání místností. Tedy platí obecně pravidlo, že obytné místnosti směřujeme k jihu a ostatní postupně k severu. Význam takové dislokace je odůvodněn jak energeticky, tak hygienicky a psychologicky. Například pro obývací pokoj a kuchyň/jídelnu vyhradíme jih až západ. Pro ložnici volíme směr východní pro ranní solární zisky.

A méně využívané místnosti jako WC, koupelnu, komunikaci s potřebným zádveřím, sklady, technickou místnost a další bez požadavků na denní osvětlení přikláníme k severu. Zároveň lze u takových místností redukovat plochu stavebních otvorů, které by byly tepelně ztrátové a zároveň bez očekávání solárních zisků. Místnosti s rozvodem vody/odpadu je vhodné sousedit. Stejně tak obytné místnosti lze efektivně připojit na VZT, když jsou umístěné v blízkosti rekuperace, potažmo sousedí s chodbou, odkud do nich lze vyústit VZT. (Pregizer, 2009)

Tepelná stabilita PD zúročuje také tepelnou akumulaci stavebních konstrukcí, tedy lze s úspěchem využít těžké, tepelně jímavé materiály na výstavbu dělicích příček a vnitřních stěn. Tyto se také vhodně projeví jako zvukově neprůzvučné, dělicí konstrukce.

2.3 Funkce jižní fasády

Z popisu specifik PD je zřejmé, že klíčovým zdrojem tepla jsou právě solární zisky. Ty získáváme s nejvyšší účinností z jižní světové strany. Je zásadní mít možnost tyto solární zisky z co největší míry propustit do domu, zároveň je třeba brát v potaz horní limitaci zasklené plochy, která v poměru s neprůsvitnou obálkou má vyšší tepelné

ztráty. Tedy přesáhnutí optimální hodnoty zasklené plochy vyústí v rychlejší ochlazování domu, které naruší tepelnou stabilitu domu (zatažená zimní obloha, noc). Paradoxně v letním slunečném období nadoptimální plocha zasklení může způsobit přehřívání, pokud nedostatečně odstíněna. Ideální rozsah zasklení se pohybuje v mezích 1/6 – 1/4 podlahové plochy místnosti (Centrum pasivního domu, 2017).

2.3.1 Výplně stavebních otvorů

Pro PD se využívají běžně dostupná okna s trojitým zasklením s výplní vzácným plynem (argon, krypton). Povrchy skel lze upravit pokovením, což má za důsledek snížení sálavé ztráty energie mezi skly (zároveň ale snížení solárního faktoru). Doporučují se okna s dostatečnou stavební hloubkou (70 a více mm), a to vícekomorová (5 a více). Dále se středovým a dvojitým naléhávkovým těsněním⁶ z trvale pružné gumy s možností výměny.

U okenních otvorů sledujeme hodnoty U_w (celkový součinitel prostupu tepla oknem) a g (propustnost solárního záření; solární faktor). Pro PD je vhodné zasklení se solárním faktorem 0,5 a více. Nicméně se zvyšujícím g se zvyšuje (zhoršuje) U_w , tedy je nutné nalézt kompromis.

Hodnota U_w je závislá na součiniteli prostupu tepla rámem U_f a součiniteli prostupu tepla zasklením U_g . Dále na lineárním činiteli prostupu tepla okrajem zasklení ψ_g , který závisí na hloubce uložení zasklení a distančním rámečku mezi skly (vhodný je nekovový, „teplý“ materiál, plast, kompozit) (Tywoniak, 2008). Dále závisí na rozměrech okna, přesněji na poměru velikosti rámu a zasklení. Tedy je zřejmé, že u různých poměrů rám/zasklení téhož typu okna se hodnota U_w liší. A protože U_g proti U_f dosahuje nižších hodnot (běžně U_g mezi 0,5 – 0,6 W/(m².K)), tak je preferované okno s co největší plochou zasklení proti rámu (Chomát, 2014). To také mimo ceny zdůvodňuje motivaci navrhovat neotvíravá okna, kde záhodno.

Jelikož nucené větrání zajišťuje potřebnou výměnu vzduchu, pak lze přistoupit k rozhodnutí některá okna navrhnout jako fixní, neotvíravá. Tento krok odebírá

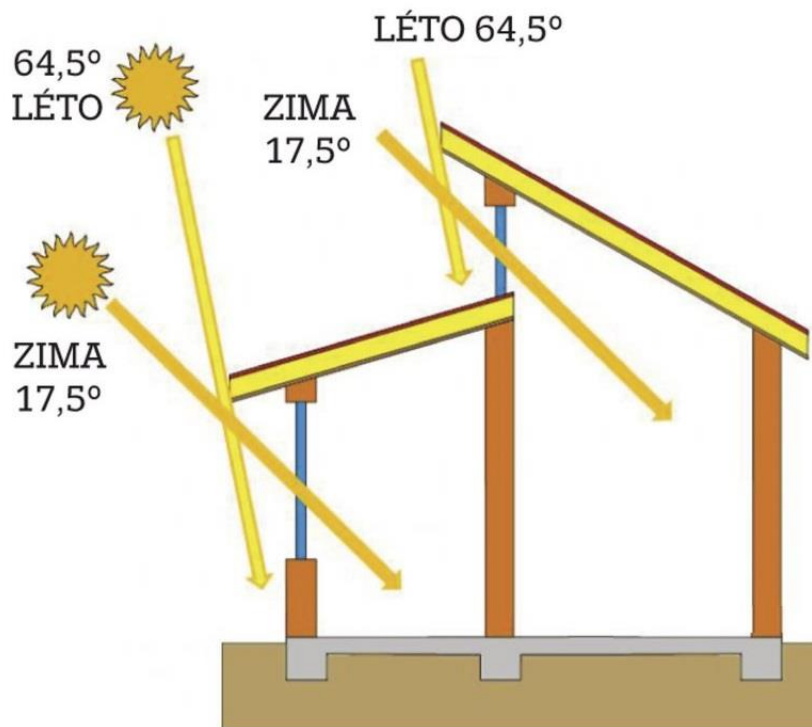
⁶ Jinak také: dvoustupňovým systémem těsnění funkční spáry

z konstrukce okna kování a rám křídla s hodnotou U horší než u samotného zasklení, který tento prostor může vyplnit a získávat další solární zisky, a to bez ubrání z plochy kontaktně zateplené obálky s lepší hodnotou U. Při navrhování fixních oken je třeba myslet na čištění, údržbu a také na možnost evakuace či výpadku elektrického proudu. Z výše uvedených důvodů je vhodné navrhnout alespoň jedno okno (jeho část) otvíravou na každou místnost.

Neméně důležitým faktorem pro funkci výplně otvoru je její napojení na obvodovou stěnu. Kdy je žádoucí umístit rovinu okna nejbližší k rovině tepelně izolační vrstvy s ohledem na technické řešení. Nabízí se předsazená montáž na vnější líc obvodové stěny pomocí kovových pásek umožňující vynucenou dilataci. Toto řešení také dovoluje překrytí vnějšího rámu tepelnou izolací. Zároveň je klíčové zajistit parotěsné napojení z interiéru a vodotěsné, difúzní napojení do exteriéru.

2.3.2 Zastínění průsvitné obálky

Pro udržení tepelné pohody v letním období je nutné řešit zastínění průsvitné fasády. Pro odstínění souhrnně platí, že solární energie musí být odražena ještě před přestupem do interiéru, tedy nedovolit dopad na vnější povrch stavební výplně. Přístup řešení se blíže liší podle orientace skel. U jižních oken v době léta slunce dopadá z vrchu, nehluboko do interiéru. Pro jižně insolované místností je efektivní využít přesah střechy (Obr. 3). Toto řešení samozřejmě lze doprovázet naklopitelnými předsazenými slunolamy nebo ovladatelnými venkovními žaluziemi/rolety. Okna na východ a západ v širokém období kolem letního slunovratu pohlcují solární zisky od poměrně nízkého slunce. Opět je vhodné navrhovat externí rolety a sofistikovaným řešením je zeleň v klíčovém období přirozeně olistněna. Pro PD je sluneční záření majoritní zdroj tepelné energie, kterou avšak v létě nežádáme, a tedy pro celoroční tepelnou pohodu, je zásadní nejen kvalitní zastínění fasády jižní, ale i západní a východní pro ranní a podvečerní slunce.



Obr. 3: Znázornění sklonu dopadu slunečních paprsků pro léto a zimu v ČR. (Stavebnictvi3000.cz, 2014)

Ve zkratce zmíním problematiku střešních oken u PD. Spatřuji dvě zásadní výzvy. První je letní omezení vstupu solárních zisků dopadající na okno v nepříznivém sklonu. Trh nabízí rolety a markýzy pro střešní okna, avšak pro sklon střechy toto řešení znamená i potemnění místnosti. Druhá výzva řeší tepelně-izolační a neprůvzdušné napojení na střešní rovinu. Ač výrobci nabízejí napojení pomocí montážního, zatepleného límce, tak vzniklý tepelný most v případě PD je stále nepřijatelný. Doplňující měření neprůvzdušnosti též nabádají ke skepsi u této implementace (Karásek, 2011). U sedlové střechy poskytuje stavitelská tradice řešení v podobě vikýřů, u kterých se využije systémové řešení připojovací spáry identické pro stavební otvory ve vertikálních stěnách.

2.4 Tepelná izolace obalových konstrukcí

Spolu s tepelnými vazbami a mosty tvoří obalové konstrukce hranici ochlazované obálky budovy, tedy přímo minimalizují plošnou tepelnou ztrátu budovy. Pro snížení měrné potřeby tepla na vytápění na standard PD je třeba předběhnout požadavky normy a navrhnout naddimenzovanou vrstvu doporučenou pro PD. Obalové konstrukce také zajišťují na vnějším líci větrotěsnou a na vnitřním parobrzdnou funkci.

2.4.1 Stěny

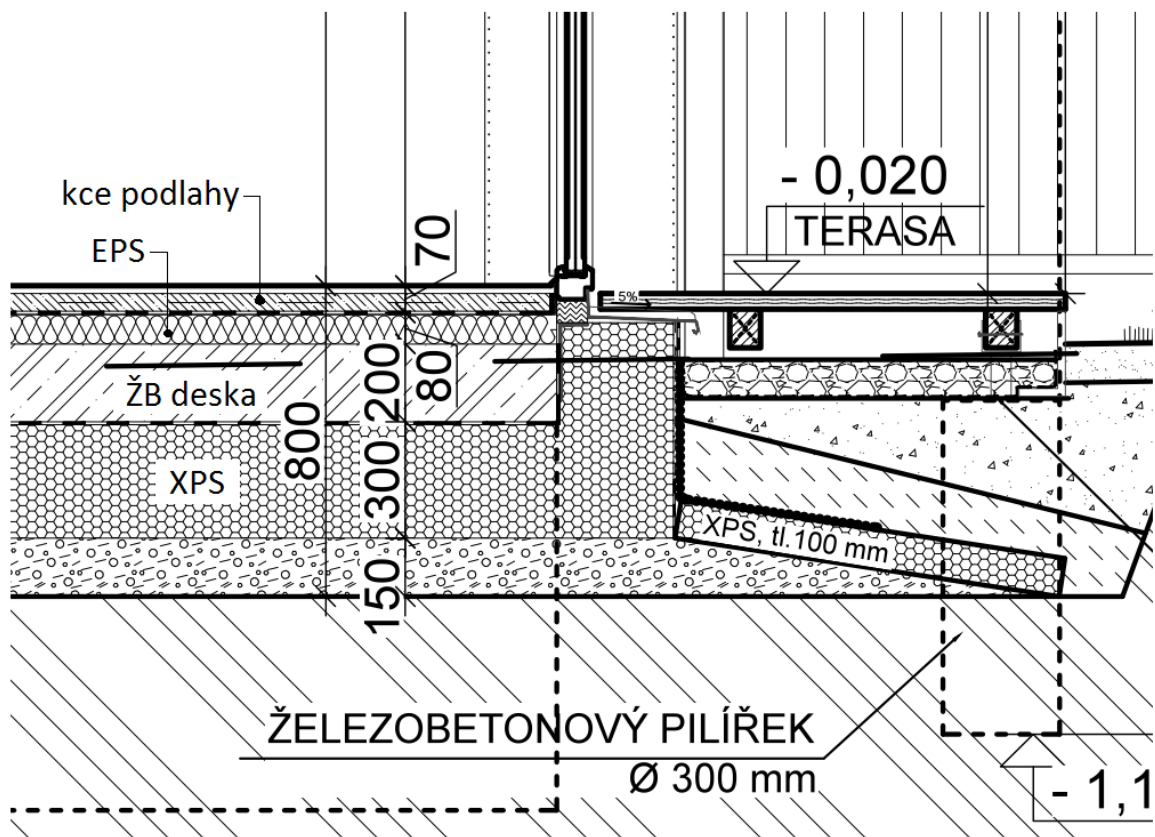
Obvodové stěny u RD tvoří povětšinou největší plochu k zateplení. Pro napojení se základy, střechou a rámy oken existují ověřené, spočítané detaily pro pasivní domy (Hazucha, 2016). Dále u izolací v mocnostech běžných u PD je nosná konstrukce velmi účinně chráněna proti atmosférickým vlivům, zejména tepelnému namáhání, což prodlužuje její životnost. U stěn dosahují hodnoty U mezi $0,10 - 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což odpovídá tloušťce $240 - 350 \text{ mm}$ tepelné izolace. Trh nabízí množství syntetických izolantů a také z obnovitelných materiálů, lišící se vlastnostmi a vhodností použití, kde volbu ovlivňuje mnoho faktorů.

2.4.2 Základová deska

Standardní přístup založení RD se zateplenou základovou deskou svrchu a zateplenými stěnami z boku nechává k řešení tepelný most v patě zdiva. Minimalizace takového tepelného mostu existuje v podobě systémových prvků, které jsou charakteristické dostatečnými tepelně-izolačními vlastnostmi v kombinaci s mechanickými vlastnostmi, které jsou staticky bezpečné pro dané použití.

Nejen u PD lze k založení přistoupit obráceně: na stranu zeminy umístit tepelně izolační vrstvu a na ni až podlahovou desku. Takové řešení požaduje nenasákavou a mechanicky únosnou tepelnou izolaci. Materiálově se nabízí pěnosklo a extrudovaný polystyren. Doplňkovým benefitem takového obráceného řešení je průběžnost tepelné izolace v místě paty zdiva, tedy eliminace tepelného mostu. A podlahová deska zastoupí funkci akumulací. Pro grafickou demonstraci popsaného řešení jsem zvolil výsek

z projektové dokumentace domu (viz Obr. 4), který je popsán v praktické části. Jedná se o založení domu na 300 mm XPS a vylití 200 mm ŽB desky.



Obr. 4: Schéma obrácené konstrukce založení s použitím XPS. (Centrum pasivního domu, 2017)

2.4.3 Střecha

Pro tvarový faktor je snahou omezit ochlazovanou plochu budovy, tedy se nabízí plochá nebo pultová střecha, kde lze využít známé konstrukční řešení vrstev. Včetně střechy vegetační. Zároveň plochá/pultová střecha lze úpravou prodloužit tak, aby přesah střechy zastíňovací funkci proti letnímu, jižnímu slunci. Tradiční sedlovou střechu lze taktéž využít s tím, že pro udržení nízké ochlazované plochy lze vrstvu tepelné izolace umístit vodorovně pod krov a tím nechat vzniknout nevytápěnému

prostoru pod střechou. Běžné skladby střech PD se výpočtově dostávají na hodnotou $U = 0,075 - 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, což odpovídá tloušťce vrstvy tepelné izolace 350 – 550(!) mm.

Typ střechy může být ovlivněn i lokálními podmínkami, poměry v okolní zástavbě nebo rozhodnutím investora pro instalaci fotovoltaických či termických systémů na střechu (viz například modelové příklady v kapitole 3).

2.4.4 Tepelné mosty

Tepelný most je část stavební konstrukce, která se vyznačuje lokálně skokově horší hodnotou U , a tedy zvýšeným tepelným tokem. To zapříčiňuje:

- a) značné tepelné ztráty daným místem;
- b) snížení vnitřní povrchové teploty pro dané místo.

Kvalitní návrh PD ani norma nedovoluje možnost, aby povrchová teplota klesla pod rosný bod, což by zapříčinilo vznik plísní. V případě PD jsou plošné obalové konstrukce natolik tepelně izolační (průměrný součinitel prostupu tepla), že tepelné mosty se stávají klíčovým přispěvatelem tepelných ztrát, proto je nutné je řešit striktně. Pro typické tepelné mosty jako je připojovací spára otvorových výplní, kotvení tepelné izolace, pata zdiva, napojení střechy nabízí trh systémové a ověřené řešení. Například na trhu jsou nabízeny i certifikované systémy od PHI pro účel vykonzolování balkonové desky (HALFEN, 2017) nebo připojení atiky (Schöck Wittek, 2017), když je taková konstrukce investorem odůvodněna, či požadována.

2.5 Neprůvzdušnost obálky

Z fyzikální podstaty vnitřní vzduch proudí netěsnostmi do vnějšího prostředí a s sebou odnáší nejen teplo, ale i vlhkost. Obálku je nutno co nejlépe průvzdušnosti uzavřít, mimo jiné také pro efektivní funkčnost řízeného větrání. Přímo ztracené tepelné ztráty infiltrací musí být v co největší možné míře omezeny už promyšleným návrhem detailů jako jsou připojovací spáry, prostupy vedené obálkou. Při provádění realizačních prací na neprůvzdušné obálce lze velmi jednoduše pochybit při nedodržování postupu dle nejvyšší jakosti, případně při absenci dozoru kvality. To může

mít za následek nesplnění požadavku neprůvzdušnosti, který po dokončení prací lze jen obtížně rekonstruovat. U stěn dřevostaveb zajišťuje neprůvzdušnost parobrzdné foliové či deskové řešení, u masivních konstrukcí je to celistvé omítnutí vnitřních povrchů.

2.5.1 Blower-door test

Označuje test průvzdušnosti budov, kterým změříme těsnost obálky, případně lokalizujeme netěsnosti. Měření nasimuluje rozdíl tlaku (interiér vs. exteriér) 50 Pa, v takovém stavu je požadavek na výměnu vzduchu stanovený na maximálně 60 % objemu vnitřního prostoru za hodinu, tedy $n_{50} \leq 0,6 \text{ hod}^{-1}$. Rozeznávají se v zásadě dvě fáze stavby, provést měření. První je provedení testu na právě dokončené hlavní neprůvzdušné obálce, která je stále otevřena přístupu a opravě, v případě, že by test odhalil netěsnosti. Ta se označuje jako metoda B. Vzniká na popud stavebníka, pokud preferuje vynaložit náklady na měření než riskovat nedostatečnou těsnost po dokončení stavby. Finální test, označovaný jako metoda A, se provádí v dokončeném domě po uvedení do provozu, stačí pouze uzavřít okna a dveře. Úspěšné splnění měření A je vyžadováno při nárokování dotace Nová zelená úsporám (dále NZÚ). Doporučení je navrhovat funkční vrstvu se znatelnou rezervou pod požadovaných $0,6 \text{ hod}^{-1}$.

Mimoto blower-door test s úspěchem dokáže v kombinaci s indikátorem radonu odhalit netěsnost v protiradonové izolaci, která se prozradí zvýšenou intenzitou radonu ve vzduchu. Tím lze i kaz lokalizovat a přistoupit k opravě. (Paleček, 2007)

2.6 Nucené větrání

Obývané prostory vyžadují výměnu vzduchu za čerstvý, venkovní. Je třeba odvětrat koncentraci CO₂ z vydechovaného vzduchu, nadbytečnou vlhkost, která vzniká zejména koupáním, vařením, sušením prádla, mokrým úklidem, a škodlivé těkavé organické látky⁷ (výpary ze stavebních konstrukcí, z domovního vybavení, z domácí drogerie). V neposlední řadě prach, pyl, pachy, volné částice. Jelikož u PD je stavěna obálka neprůvzdušně, potom je nutné zajistit výměnu vzduchu nuceně a řízeně.

⁷ V literatuře nalezneme pod anglickou zkratkou VOC (volatile organic compound)

V běžné zástavbě nejsou výjimkou nárazové hodnoty vlhkosti přes 70 % RH (sušení prádla, noční průběžná expirace obyvatel v ložnici, vaření) a naměřený výskyt CO₂ v maximech přes 2000 ppm (noční expirace, koncentrace lidí). K hygienickým požadavkům na pobytové prostory využijí citace z vyhlášky č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby (paragraf 11, odstavec 5): „*Pobytové místnosti musí mít zajištěno dostatečné přirozené nebo nucené větrání a musí být dostatečně vytápěny s možností regulace vnitřní teploty. Pro větrání pobytových místností musí být zajištěno v době pobytu osob minimální množství vyměňovaného venkovního vzduchu 25 m³/h na osobu, nebo minimální intenzita větrání 0,5 1/h. Jako ukazatel kvality vnitřního prostředí slouží oxid uhličitý CO₂, jehož koncentrace ve vnitřním vzduchu nesmí překročit hodnotu 1500 ppm.*“.

Přestože ani násobně zvýšené koncentrace CO₂ (do 5000 ppm) nepředstavují vážnější nebezpečí pro uživatele, tak již hodnoty s výskytem CO₂ přes 1000 ppm ovlivňují pozornost a koncentraci člověka. CO₂ není cítit dle pachu, ale subjektivně lze vyšší množství popsat jako vydýchaný vzduch a dusné prostředí. Obsah CO₂ ve vnějším prostředí odpovídá hodnotám 400 – 500 ppm.

Základní instalace zajišťující řízené větrání sestává z VZT rozvodů instalovaných do podhledu nebo do konstrukce podlahy, dále z jednotky s ventilátory a výměníkem tepla. Konce rozvodu jsou opatřeny pylovými filtry, zajišťující bezprašné prostředí přijatelné nejen pro alergiky. Větrání je automatizované a zároveň dovoluje manuální řízení uživatele. Do systému lze dodat čidla CO₂, čidla vlhkosti.

Kuchyňská digestoř může být zavedena přímo do domovní vzduchotechniky za použití olejového filtru s možností soustředění odtahu pouze digestoří pro čas vaření, ale ani tak domovní jednotka nedodá dostatečný sací výkon. Alternativou je cirkulační digestoř, která výkonně točí přes olejový filtr vzduch a vrací ho zpět do místnosti, toto řešení je doprovázeno v blízkosti digestoře standardním odtahem do VZT. Abychom se vyhnuli cirkulaci vzduchu kolem digestoře a tím šíření pachů často do obývaného, otevřeného prostoru, lze odtah digestoře s olejovým filtrem s úspěchem vést do

nebytových místností. Tedy např. postupně do koupelny/WC, odtud pak nasávat do domovní vzduchotechniky.

2.6.1 Rekuperace tepla

Rekuperace tepla je zpětné získávání energie z odváděného vzduchu do přiváděného vzduchu bez smíšení těchto hmot, děje se tak na výměníku tepla o veliké teplosměnné ploše. Nejsnazší řešení nabízí větrání s pasivní rekuperací vzduchu, kde je jen hnán vzduch přes výměník tepla. Pasivní rekuperace bez předeřevu vzduchu trpí v zimně zamrzáním. Pro přiblížení teploty přiváděného vzduchu pokojové teplotě lze využít geotermální energie pomocí zemního registru. To jsou plastové, vypádané trubkové vedení o průměru běžně 100 - 300 mm vedené níže pod nezámrznou hloubkou (běžně 1,5 - 2 metry) pod zemí táhnoucí se desítky metrů (ovlivňuje tepelná kapacita zeminy). Vedení nabízí dostatek teplosměnné plochy pro temperaci přiváděného vzduchu. Zemní registr je dimenzován tak, abych v topném období získal na výstupu vzduch o plusové teplotě. V letním období naopak zemní registr vzduch ochladí. Vedení je nejvhodnější přímé z důvodu umožnění čištění. Na ústí i výstupu je umístěn filtr.

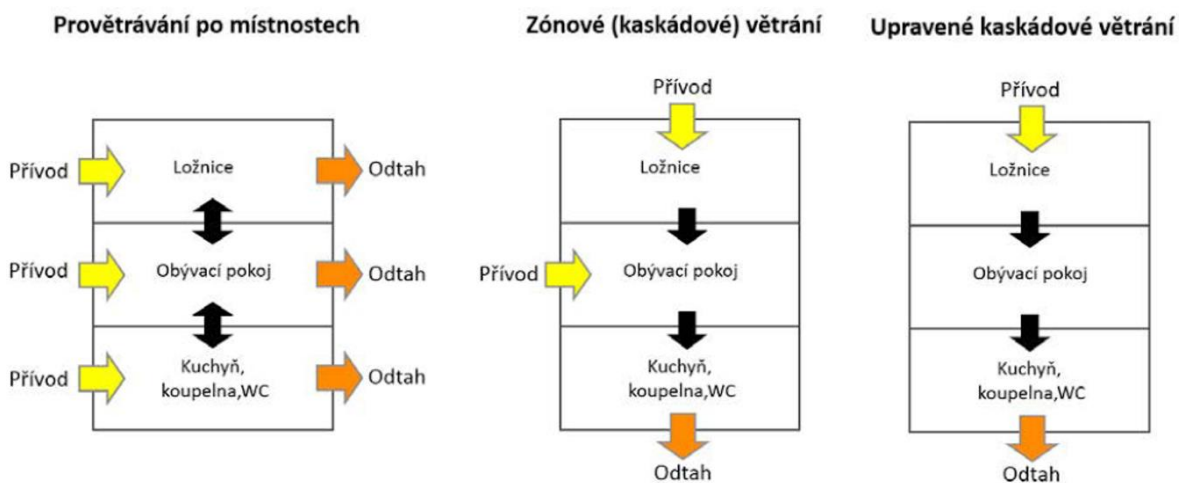
V dnešní době se již zefektivnila účinnost rekuperací a trh nabízí dostupné aktivní rekuperace s předeřevem, kdy uživatel může rekuperaci propojit s dalšími zdroji energie (tepelné čerpadlo). Tedy postupně vývoj vedl k momentu, kdy efektivita systému zemního registru v porovnání s účinnou rekuperací je nevalná (Kopecký, 2006). Mimoto je nutno brát v potaz nezanedbatelné vstupní náklady a požadavky na periodickou, precizní údržbu a čištění. Co se týká hygieny, tak výskyt bakterií na domovní části zemního registru za filtrem nebyl oproti venkovnímu vzduchu zvýšený (Flückiger, 1997), přesto mezi uživateli domů a odborníky panuje na hygieničnost potrubí neshoda, až odmítavý přístup (viz mnohá internetová fóra, fotografie plísní, porůstání kořínků, psychologie – čerstvý vzduchu ze země?). Dále existuje riziko pronikání radonu do soustavy při nedokonalém návrhu a realizaci (netěsné spoje, deformace potrubí).

Tyto rizika částečně pokrývá alternativa pro úpravu teploty vzduchu, a to výměník s teplosměnným médiem. Nejznámější je solankový výměník zahrnující prostorově méně náročný rozvod (průměr do 40 mm). Také odpadá čištění rozvodů a s tím hygienická pochybnost. Zeminou tepelně upravená solanka předává teplo přímo čerstvému vzduchu na výměníku v domě. Pro velké realizace se využívá přímo geotermální vrt.

Z ekonomického hlediska je nutné porovnávat pasivní rekuperaci + zemní registr nebo komplexní řešení, tj. aktivní rekuperace nebo pasivní rekuperace s předsazeným ohřevem (elektrický/vodní). V závěru se je třeba rozhodnout, jestli vlastnosti příznačné pro zemní registr (hygiena, radon, čištění) vůbec nepřeváží případnou úsporu.

Aktivní rekuperace pracuje na principu tepelného čerpadla, a tedy disponuje nejen přehřevem (jako zemní registr) ale i ohřevem. Také lze v letních měsících dodat chlazený vzduch. Lze ji využít i pro přípravu TUV.

Zmíním ještě progresivní přístup řízeného proudění převáděného vzduchu, který odstupuje od zbytečně složitého řešení, které aplikuje přívod jednotlivě do každé místnosti (+ odtahy v dalších místnostech). Tento způsob označovaný jako kaskádové nebo přetokové větrání předpokládá převládající pobyt osob v jedné z obývaných místností. Přiváděný vzduch je hnaný do první místnosti (typicky ložnice) a dále převáděný do další místnosti (např. obývací pokoj). Ve chvíli, kde je ložnice neobývaná, tak je vzduch vydycháván až v následující místnosti. Dále je vzduch odebírán přes kuchyň, WC nebo koupelnu. Kombinace kaskádování jsou mnohé a požadují promyšlený návrh projektanta individuálně pro stanovenou dispozici v součinnosti s prioritou uživatele. Základní možnosti jsou graficky vyznačeny níže (viz Obr. 5). Výhodou tohoto řešení je redukce rozvodů a centrální jednotky celkově a snížení objemu hnaného vzduchu, což šetří mechaniku rekuperace a částečně také adresuje problematiku suchého vzduchu v zimě. Toto je označováno jako dvojitý užitek přiváděného/odváděného vzduchu. Úskalím se může jevit akustický přechod mezi místnostmi nebo částečně vydychaný vzduch v dalších místnostech kaskády, při jejich obsazení dalšími uživateli domu.



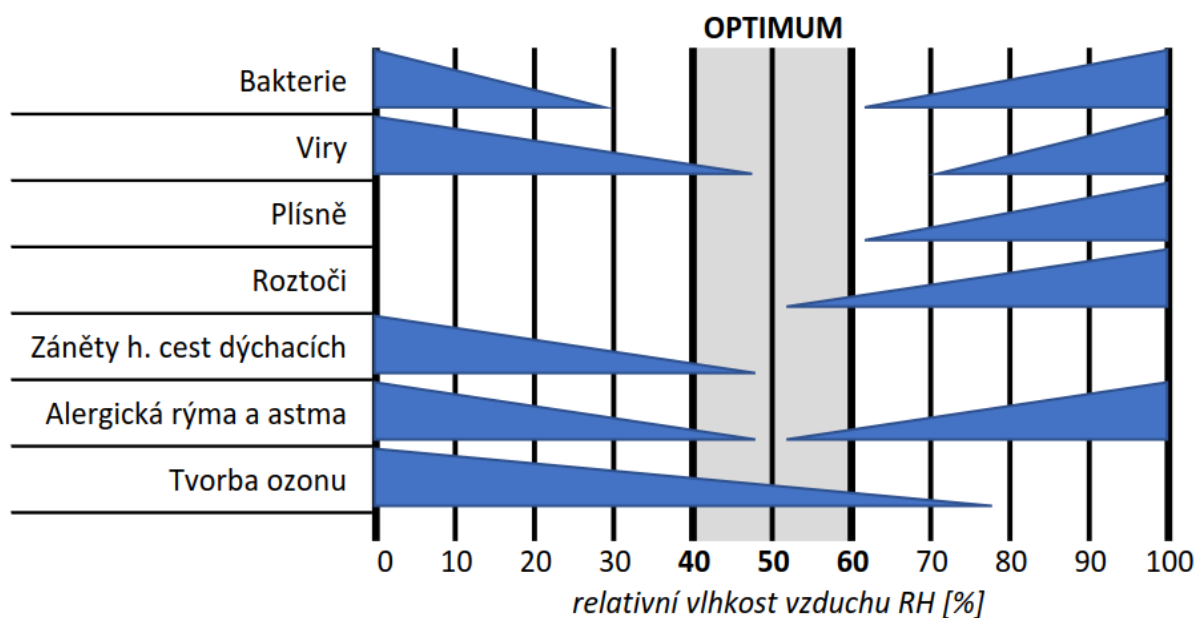
Obr. 5: Základní možnosti přetokového větrání. (Hazucha, 2016)

Variací tohoto řešení je aktivní přetokové větrání využívající společný prostor v domě jako distribuční prostor čerstvého vzduchu. Na něj napojené místnosti jsou větrané za provozu jednotlivých ventilátorů, ty jsou spínány dle aktivity v místnosti (čidlo CO₂, vlhkostní čidlo, časovač). Vhodné to řešení pro situace, která umožňuje centrální přívod vzduchu, ale už nedovoluje instalaci klasických rozvodů do jednotlivých místností (Hazucha, 2016).

2.6.2 Problematika vlhkosti

V této podkapitole bych se chtěl dotknout ožehavého tématu u PD a tou je suchý, zimní vzduch. Tento problém je běžně způsoben teplotovzdušným vytápěním, kdy se dům převětrává, aby byla získána rekuperační tepelná energie z odváděného vzduchu pro udržení navrhované vnitřní teploty, což ale má za následek přívod vzduchu stejného objemu, ale s velmi nízkou absolutní vlhkostí. To se ve vnitřním prostředí projeví jako relativní vlhkost nevyjimečně pod hodnotou 30 % RH, které je vnímána negativně a vysušuje dýchací cesty uživatele. Řešením je vyvážit tepelné ztráty při nízkých teplotách doplňkovým zdrojem tepla (který je doporučován v klimatu ČR) a řídit větrání podle obsahu CO₂, počtu osob nebo pocitu. Další možností je investice do rekuperační jednotky s entalpickým výměníkem, který zabezpečuje vlhkostní úpravu vzduchu. Možným ale méně vhodným řešením je cirkulace vzduchu.

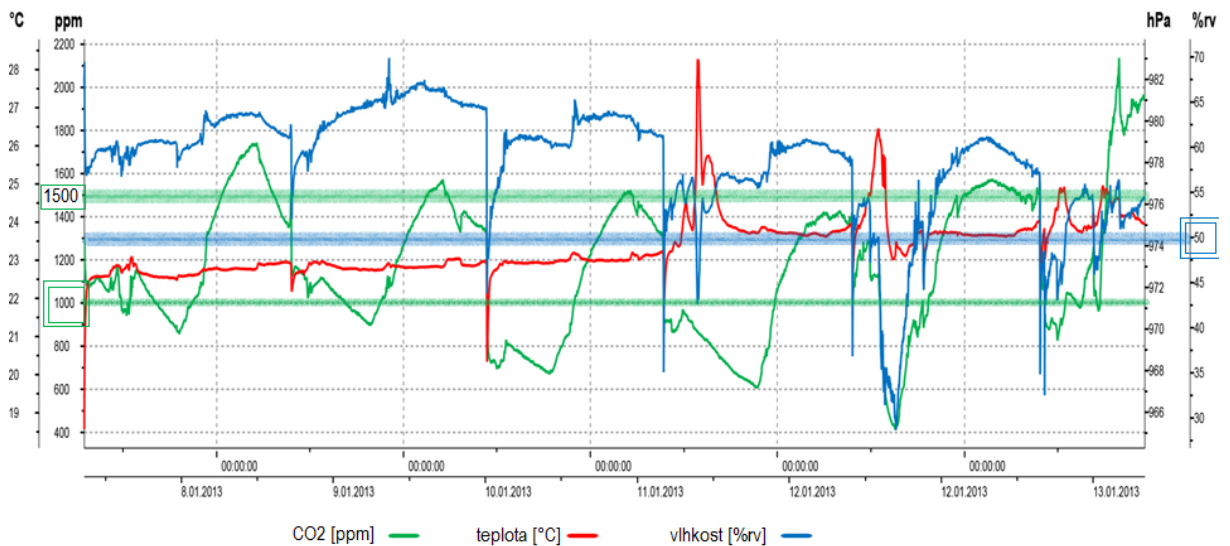
Obr. 6 názorně vypovídá o nutnosti zajištění optimální úrovně relativní vlhkosti z hygienického a zdravotního hlediska. Tedy narážím na další mýtus „utěsněného skleníku bez čerstvého vzduchu“. Správně navržené a provozované řízené větrání přivádí konstantně čerstvý vzduch a zabezpečuje optimální úroveň vlhkosti, a to bez ztráty tepla větráním. Naopak typicky rekonstrukce domů s novými okny bez návrhu řízené výměny vzduchu trpí převlhčením, které lze redukovat ztrátovým větráním. Více kapitola níže.



Obr. 6: Vliv relativní vlhkosti vzduchu na prostředí a uživatele. Vytvořeno autorem. Data z (Bere, 2013)

2.6.3 Příčiny a důsledky

Ve vývoji snižování energetického náročnosti je zneprůvzdušnění účinný, spíše nutný krok znamenající nemožnost výměny vzduchu infiltrací, jako se tomu dělo dříve. A tedy spolu s utěsněním obálky je v páru nutné zabezpečit dostatečnou výměnu vzduchu. Tím narážím na zateplovací akce panelových domů v období po miléniu, kdy byly zalepeny polystyrenem a zavřeny plastovými okny, bez ohledu na návrh výměny vzduchu. Důsledkem byly extrémní vlhkosti (70 a více % RH) a vysoké koncentrace CO₂ (zejména v nočních cyklech). Možností uživatele v takovém mikroklimatu je nechat okna průběžně ventilovat, což vede ke značným tepelným ztrátám (které investicí do zateplení měly být naopak ušetřeny). Uživatel dále situaci doplňuje nárazovým větráním okny, což úspěšně přebytečnou vlhkost a koncentraci CO₂ vyžene z místností, bohužel (mimo další tepelné ztráty) tento úkon zajistí při pobytu osob příjemné vnitřní klima jen na pár desítek minut (v ohledu na koncentraci CO₂). Nemluvě o vlhkosti a jejích zdrojích. Dokládám lednovým měřením z panelového domu v Plzni bez řízeného větrání (viz Obr. 7).



Obr. 7: Graf s hodnotami CO₂, vlhkostí a teplotou v průběhu času v panelovém domě. (ENVIC, 2013)

Na grafu si všimneme zejména kolísání a nestability. Pozorovatelné je zvýšení CO₂ v noci, větrání ráno, víkendové vaření doprovázené větráním. Je zřejmé, že vlhkost se cyklicky vzdaluje od optima v mezích 40 – 60 % RH (dle teploty, individuální). Stejně tak koncentrace CO₂ přesahuje doporučené (1000 ppm), ale i požadované hodnoty (1500 ppm). Problematika koncentrace CO₂ je umocněna v prostorech s vysokým počtem osob, typicky školní třídy, kde naměřené hodnoty se dotýkají až 4000 ppm (Bažant, 2014). Při takových hodnotách už zjevně působí na osoby únava a nesoustředěnost, zívání. Takové jsou fakta a důsledky. I mimo pasivní domy, řízené větrání s rekuperací je součástí energeticky šetrného návrhu s kvalitním a zdravým vnitřním prostředím.

3 ANALÝZA ENERGETICKÉ NÁROČNOSTI

Analýza náročnosti proběhla na třech PD, které jsou momentálně obývané na území ČR. K analýze posloužili průkazy ENB, projektová dokumentace a pro dokreslení i uživatelské výpovědi. Před uvedením analýzy modelových příkladů představím přístupy k výpočtu energetické náročnosti PD.

3.1 Přístupy k energetickému výpočtu

Dovolím si citovat úsek textu, který přibližuje důvod velkého rozptylu chyb při výpočtu energetické náročnosti u PD: *„Tepelné ztráty pasivních domů jsou velmi malé, tepelné zisky proto zpravidla kryjí značný podíl tepelných ztrát dle velikosti, orientace, stínění oken a v neposlední řadě optimismu výpočtu. Potřeba tepla na vytápění je tak výsledkem odčítání dvou podobně velkých čísel a relativní chyba stanovení výsledné potřeby tepla na vytápění proto může být nepříjemně vysoká.“* (Kopecký, 2008)

Tím bych chtěl apelovat na zodpovědný přístup uživatelů výpočetních programů a i na příjemce těchto výpočtů, aby nahlíželi na výstupy kriticky a s širokým uchopením. Bádali po oprávněnosti vstupních hodnot a posuzovali i neenergetická kritéria.

3.1.1 PHPP (Passivhaus-Projektierungspaket)

Je nástroj sloužící k navrhování a optimalizaci PD průběžně vyvíjený PHI, který ho distribuuje (Passivhaus Institut, 2015b). CPD poté nabízí českou mutaci. Jedná se o výpočtový nástroj v prostředí tabulkového editoru, který vyžaduje zadání vstupů plně popisujících PD. Výstupem pak jsou hodnoty potřeby tepla na vytápění, chlazení, primární energie, letního přehřívání, U hodnoty, návrh řízeného větrání, vliv zastínění, orientace oken a další. Metodika PHPP používá ve výpočtu čistou podlahovou plochu.

Správnost výpočtů je průběžně zpřesňována měřeními v daných provedených aplikacích, kterých již bylo tisíce. Zkoumání (Passipedia, 2014) porovnává výpočet potřeby tepla na vytápění v PHPP s naměřenými hodnotami ve skupině domů o stejné konstrukci. Průměrná naměřená hodnota ve skupině domu koresponduje s vypočtenou hodnotou v PHPP. Zároveň ale naměřená data vykazují znatelný rozptyl, který ukazuje

na fakt, že samotné chování uživatele PD má význačný vliv na energetickou náročnost budovy – ať už pozitivní, či negativní.

Proč se výstupy z PHPP zdají být striktnější než u výpočtu dle české, závazné metodiky? Protože zavádí úpravy a reálné zpřísnění vstupních hodnot, podložené právě reflexí a iterací s měřeními v dokončených domech. Příkladem uvedu opatření jako je snížení vnitřních tepelných zisků z běžně používané hodnoty 5 W/m^2 na hodnotu $2,1 \text{ W/m}^2$ pro rodinné domy. Dále je to reálné zastínění oken a jejich zašpinění. Dále se změřenou hodnotou neprůvzdušnosti je zacházeno jako s dodatečnou ztrátou vzduchu k možným následným únikům vzduchu a různě častým otevíráním stavebních výplní. (Feist, 2001 cit. podle Passipedia, 2014)

V součinnosti s PHPP je možné pro grafickou představu využít program designPH, který umožňuje tvorbu 3D modelu. Nástroj PHPP je nejen návrhová, ale zejména optimalizační pomůcka a dovoluje ve fázi návrhu nalezení optimální kombinace vzájemnými úpravami vstupních hodnot, které se okamžitě promítnou do výstupních hodnot (směrodatná je zejména měrná potřeba tepla na vytápění).

3.1.2 PENB (průkaz energetické náročnosti staveb)⁸

Komplexně posuzuje energetickou hospodárnost budovy, zařazuje ji do určité třídy a přibližuje objem nákladů vynaložených za dodanou energii. Motivací je zvýšit počet energeticky úsporných budov v souvislosti s energetickou politikou České Republiky, potažmo Evropské unie a jejich srovnání pochopitelné pro majitele, uživatele, zájemce.

K vydání průkazu jsou oprávnění energetičtí auditoři akreditované Ministerstvem průmyslu a obchodu ve veřejně přístupném seznamu online. Zpracování PENB je požadováno v souladu s legislativou (zákon 406/2000 Sb.).

⁸ Kapitola čerpá převážně z informací uvedených ve zdroji: (PKV, 2016)

PENB blíže definuje tyto body:

- celková primární energie za rok
- neobnovitelná primární energie za rok
- celková dodaná energie za rok
- dílčí dodané energie pro technické systémy vytápění, chlazení, větrání, úpravu vlhkosti vzduchu, přípravu teplé vody a osvětlení za rok
- průměrný součinitel prostupu tepla
- součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí na systémové hranici
- účinnost technických systémů

Průkaz je nutné zřídit při výstavbě novostavby nebo zásadní úpravě budovy a od roku 2013 pro budovy nabízené k prodeji či pronájmu. Výpočet uvažuje energeticky vztahnou plochu. Požadavek na energetickou náročnost je stanoven na tzv. nákladově-optimální úroveň, pro kterou uvádím definici: *„Je to energetická náročnost (měřená v kWh/m² primární energie), která vede k nejnižším nákladům v průběhu odhadovaného životního cyklu budovy (30 let pro obytné budovy a 20 let pro nebytové budovy). Výpočty nákladů (vyjádřené v čisté současné hodnotě) zahrnují investiční náklady vložené do energetické účinnosti a opatření na využití obnovitelné energie, náklady na údržbu a provoz, náklady na energii, příjmy z vyrobené energie a náklady na likvidaci (náklady na demontáž na konci životnosti budovy).“* (Evropská komise, 2016, s. 4)

Hodnocená budova je porovnávána s referenční budovou, která je stejného typu, rozměrů, umístění a využívání, avšak s vlastnostmi, konstrukcemi a technickými systémy referenční budovy. Dle hodnocení celkové dodané energie je budova zařazena do energetické třídy A – G. Výpočet PENB unifikuje od roku 2013 TNI 73 0331, která obsahuje jednotnou metodou zpracované a souměřitelné hodnoty typických parametrů používaných v kalkulaci.

3.2 Modelové příklady

Pro modelové příklady jsem si zajistil podklady od CPD pro tři rodinné PD. Jedná se o realizované domy v České republice a obývané shodně po roce 2015. Záměrně jsem vybral dřevostavbu a dvě masivní konstrukci pro rozmanitost. Dva PD dokládají energetický výpočet jak podle metodiky TNI 73 0331, tak i volitelně dle nástroje PHPP, třetí dům pouze výpočet dle TNI 73 0331.

3.2.1 RD Kociánka

Dvoupodlažní dům s plochou střechou. Zděný konstrukční systém je založený na základových pasech a patkách. Nosné zdivo z vápenopískových bloků. Stropy jsou železobetonové monolitické, a střecha je kryta jednoplášťovou skladbou. Okna disponují dřevěnými rámy s trojitým zasklením. Rodinný dům je určen pro trvalý pobyt čtyř osob.



Obr. 8 Fotografie domu Kociánka. Zdroj: (Centrum pasivního domu)

Představení typických skladeb (relevantní hodnoty):

Obvodová stěna: 175 mm vápenopísková cihla + 300 mm šedý EPS

Střecha: ŽB deska + 350 mm šedý EPS + hydroizolační folie

Základy: 150 mm pěnosklo + ŽB deska + 180 mm šedý EPS

Dům je volně stojící s orientací dominantního prosklení na jih, umístěn při okraji Brna v nově rostoucím satelitu. Není stíněn okolní zástavbou a respektuje rovnoběžnost s uliční čarou. Na pozemku zahrady je uložena zemní jímka dešťové kanalizace.

Vytápění je zajištěno kompaktní VZT jednotkou NILAN Compact. Doplnkově elektrickým podlahovým topením, topným žebříkem v koupelně a biolihovým krbem. Na střeše je instalována fotovoltaika se zapojením do veřejné sítě. Protiproudá rekuperační jednotka s entalpickým výměníkem s účinností zpětného zisku tepla 80 % zároveň připravuje TUV v akumulacím zásobníku. Jednotka je umístěna v přízemí a rozvody jsou instalované v podhledech a stěnách.

Okna jsou stíněna přesahem střechy, dále jsou všechna okna obytných místností opatřena venkovní žaluzií s automatickým ovládním přes čidlo větru a slunečního svitu.

Dům splňuje dotační požadavky NZÚ v podoblasti podpory B.2. To mimo měrné roční potřeby tepla na vytápění pod 15 kWh/(m².a) požaduje maximální hodnotu měrné potřeby neobnovitelné primární energie nižší než 60 kWh/(m².a). Dům Kociánka nese ve výpočtu hodnotu 49 kWh/(m².a). (Nová zelená úsporám, 2017)

3.2.2 RD Jablonná

Patrová dřevostavba s tepelně odděleným přízemím v části půdorysu z důvodu zasazení do svahu. Nosnou část tvoří typická rámová konstrukce se stropy z odlehčených dřevěných I-nosníků. Vnitřní stěny jsou z vápenopískových cihel. Podlaha není ve styku se zemí, je založena na pilotách. Okna dřevohliníková s trojitým zasklením.

Představení typických skladeb (relevantní hodnoty):

Obvodová stěna: dřevěné sloupky 100/50 + 480 mm foukaná celulóza

Střecha: 460 mm foukaná celulóza

Základy: 400 mm foukaná celulóza + I-nosníky + 20mm EPS



Obr. 9: Fotografie domu Jablonná. Zdroj: (Centrum pasivního domu)

Dům stojí ve vesnici Jablonná asi 10 km na východ od Příbrami. Lokálně je dům nechráněn, je samostatně stojící na návozu zeminy mimo zástavbu a lesní porost. Prosklenou fasádou je orientován k jihu, natočen dle libosti investora.

Výměnu vzduchu zajišťuje křížová protiproudá rekuperace Zehnder ComfoAir. Vytápění je řešeno přes tepelné čerpadlo Hokkaido (vzduch-voda), ohřev TUV zajištěn doplňkové elektro patronou.

Okna jsou stíněna přesahem střechy a všechna okna pobytových místností kryjí venkovní žaluzie s ovládáním.

3.2.3 RD Rostoklaty

Dvoupodlažní dům masivní konstrukce se sedlovou střechou a obytným podkrovím. Nosná konstrukce vystavěna z vápenopískových cihel. Budova je založena na extrudovaném polystyrenu. Plastliníková okna Internorm s pokoveným trojsklem instalována předsazenou montáží na purenit. Včetně venkovních žaluzií. Dům je postaven v obci Rostoklaty asi 30 km na východ od Prahy.

Představení typických skladeb (relevantní hodnoty):

Obvodová stěna: 175 mm vápenopísková cihla + 300 mm šedý EPS

Střecha: 480 mm minerální vlna + provětrávaná mezera + TiZn plech

Základy: 300 mm extrudovaný polystyren + ŽB deska



Obr. 10: Fotografie domu Rostoklaty. Zdroj: (Centrum pasivního domu)

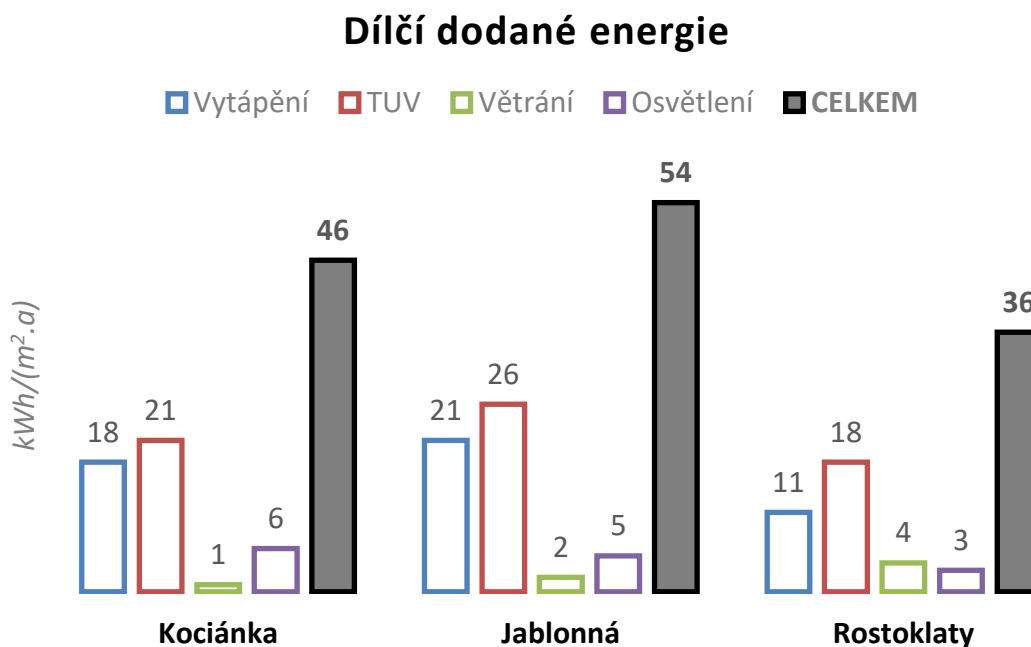
Výměna vzduchu je zajištěna větrací jednotkou Atrea DUPLEX Easy s vířivým protiproudým rekuperačním výměníkem tepla. Rozvody hvězdicovitým systémem v podhledech ve flexi trubkách Green pipe. Elektrické podlahové vytápění dodává dodatečně teplo spolu s krbovými kamny. TUV je zásobována z akumulární nádrže s elektrickým ohřevem a napojením na fotovoltaické panely umístěné na střeše garáže.

3.2.4 Příkladové parametry

V následující tabulce přehledně vypisuji parametry obou domů. Zvýrazněno tučně je pět kritérií, které hodnotím v následující kapitole.

Parametr	Jednotka	RD Kociánka	RD Jablonná	RD Rostoklaty
Měrná potřeba tepla na vytápění	kWh/(m ² .a)	14	15	15
- Dle PHPP	kWh/(m ² .a)	15	28	-
Měrná celková potřeba neobnovitelné primární energie	kWh/(m².a)	49	87	66
- Dle PHPP	kWh/(m ² .a)	118	108	-
Celková dodaná energie	kWh/(m ² .a)	45	54	37
Energeticky vztažná podlahová plocha	m ²	240,7	124,7	127,5
Celková dodaná energie	MWh/rok	10,9	6,8	4,8
Užitná plocha dle PHPP	m ²	178,3	90,3	-
Plocha ochlazovaných konstrukcí	m ²	617,1	417,7	340,2
Objem budovy	m ³	856,8	466,9	444,5
Objemový faktor budovy A/V	m²/ m³	0,72	0,89	0,77
Neprůvzdušnost n₅₀	hod⁻¹	0,25	0,48	0,47
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}	W/(m².K)	0,19	0,12	0,16
- U stěna	W/(m ² .K)	0,103	0,079	0,105
- U střecha	W/(m ² .K)	0,075	0,089	0,078
- U základy	W/(m ² .K)	0,110	0,095	0,103
- U _D dveře	W/(m ² .K)	0,58	0,60	0,82
- U _w okno celkem	W/(m ² .K)	0,64	0,79	0,90
- U _g zasklení	W/(m ² .K)	0,50	0,60	0,60
Solární faktor zasklení g	[-]	0,50	0,60	0,77

Grafickým srovnáním dílčích dodaných energií (viz Obr. 11) dle PENB zjišťujeme, že majoritní část dodané energie je využita na přípravu TUV a vytápění, a zbylých 10 – 20 % je potřeba na osvětlení a větrání. Pro chlazení a úpravu vlhkosti v řešených modelech není energie dodávána.



Obr. 11: Dílčí dodané energie hodnocených domů. Vytvořeno autorem

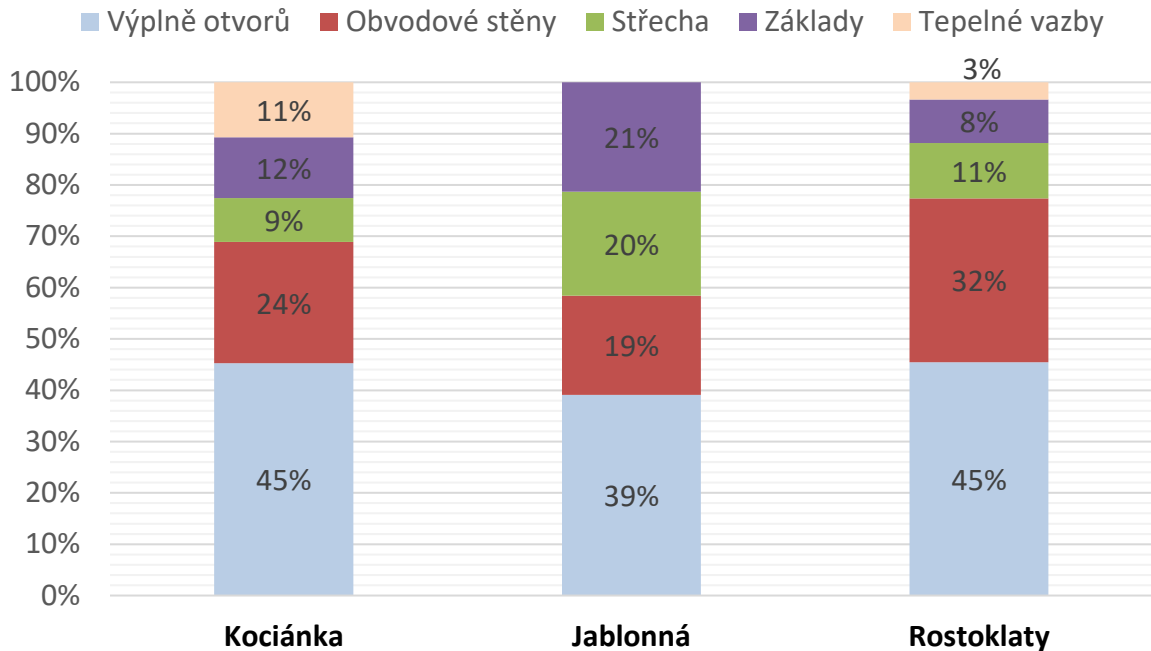
Jako další porovnání parametrů volím hodnoty měrných tepelných ztrát prostupem tepla [W/K] dílčích obálkových konstrukcí (viz Tab. 3). Tyto hodnoty jsou součástí textové části PENB.

Tab. 3: Absolutní hodnoty měrných tepelných ztrát prostupem tepla. Vytvořeno autorem

	Výplně otvorů	Obvodové stěny	Střecha	Základy	Tepelné vazby	CELKEM
Kociánka	51,9	27,1	9,8	13,6	12,3	114,7
Jablonná	21,8	10,8	11,3	11,9	-	55,8
Rostoklaty	23,1	16,2	5,5	4,3	1,7	50,8

Hodnoty měrných tepelných ztrát dílčích konstrukcí přepočtené na poměrové procentuální rozložení ztrát u domů zobrazují graficky (viz Obr. 12). (Pozn.: Ztrátu tepelnými vazbami PENB domu Jablonná neudává).

Měrná ztráta prostupem tepla



Obr. 12: Poměrové rozložení měrných tepelných ztrát na dílčí konstrukce. Vytvořeno autorem.

Všimneme si, že téměř polovina ztrát odchází otvorovými výplněmi. Neprůsvitná obálka je účinně tepelně izolována. Bohužel výplně nedosahují takových kvalit hodnoty U, zejména když na jejich prosklenou část klademe požadavky jako je solární zisk, transparentnost, barevná věrnost. Také typicky u PD průsvitná obálka tvoří až čtvrtinu plochy obvodových stěn. Tedy téměř poloviční zásluha otvorových výplní na tepelných ztrátách je zdůvodnitelná – s plochou zasklení se nelze odhodlat k redukci, pak bychom ubírali na potenciálu využití solárních zisků.

3.3 Multikriteriální hodnocení

Hodnocení je složeno z exaktně kvantifikovaných kritérií a doplněno komentářem vycházejícím ze subjektivně hodnocených kritérií uživatelů domů. Pro dokreslení hodnocení cituji výběr odpovědí uživatelů. Vyčíslená kritéria jsou vybrané jako staťová z parametrů modelových příkladů.

3.3.1 Volba kritérií a vah

Kritéria a jejich váhy jsem určil prostou bodovací metodou od 1 do 5, kdy vyšší hodnota znamená vyšší důležitost kritéria. Při distribuci hodnot vah jsem kombinoval metodiku certifikačního nástroje SBToolCZ pro residenční výstavbu, vzájemnost kritérií, cit z optimalizace nanečisto při kurzu navrhování vedeným CPD a znalosti nabyté z přečtené literatury. Kritéria seřazena sestupně dle váhy od nejvyšší:

Měrná celková potřeba neobnovitelné primární energie (váha 5): Volím jako zásadní kritérium v souladu s metodikou SBToolCZ. Veškeré parametry popisované v této práci mají na tuto hodnotu ať už jakýkoli vliv. Dále toto kritérium reflektuje měrnou potřebu tepla s ohledem na vliv na životní prostředí a dále nepřímo vypovídá o provozních nákladech, které SBToolCZ také považuje za jedno ze závažných kritérií. Bližší hodnota nule je optimální.

Objemový faktor budovy A/V (váha 4): Volím pro svou komplexnost. Nevýhodný faktor tvaru (tedy drobná budova, nebo členitá fasáda) vyrovnám už jen pomocí neúměrných vylepšení ostatních parametrů budovy. Také toto kritérium v sobě obsahuje plochu obálky a objem vytápěné zóny. Bližší hodnota nule je optimální.

Neprůvzdušnost n_{50} (váha 3): Volím pro svou nenahraditelnou důležitost u PD, kde odchýlení od potřebné neprůvzdušnosti citlivě ovlivňuje mimo další tepelné ztráty a dále poškozují účinnost rekuperace, která je ústředním zdrojem tepla. Bližší hodnota nule je optimální.

Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} (váha 2): Volím, protože souhrnně a váženě popisuje tepelně-izolační kvalitu celé obálky budovy, tedy nepřímo plošné tepelné ztráty, tepelnou stabilitu letní i zimní. Bližší hodnota nule je optimální.

Solární faktor zasklení g (váha 1): Při správném návrhu zastínění, orientace a plochy zasklení je vítaný vysoký solární faktor. Avšak je nutné toto hledisko hodnotit v souvislosti s U_g , které je typicky nepřímo úměrné. Vyšší hodnota je optimální. Zvolené kritérium si dovolím opřít o výpočet vycházející z typového poměření dvou okenních výplní u jižní fasády domu použitého k simulaci (viz Tab. 4).

Tab. 4: Porovnání dvou typů jižních oken z hlediska U_g a g . Vytvořeno autorem. Data z (Slavona, 2017)

Veličina	Jednotka	Okno A	Okno B
U_g	[W/(m ² .K)]	0,5	0,6
U_w	[W/(m ² .K)]	0,63	0,69
g	[-]	0,5	0,62
Měrná potřeba tepla na vytápění ⁹	[kWh/(m ² .a)]	14	13

Na simulaci vidíme, že ačkoliv okno B má horší hodnotu U_g (U_w), tak pro danou realizaci snižuje potřebu tepla o 8 % oproti variantě A s tepelně lepším zasklením. Tedy pro jižní okna je vhodné se přiklonit k zasklení propouštějící více slunečního záření na úkor U_g . Toto rozhodnutí je potřeba doprovázet správně navrženým exteriérovým zastíněním.

Pozn.: SBToolCZ a dále metodika LEED hodnotí návrh mnohé environmentální a sociální kritéria s neméně důležitými vahami. V této práci se však soustředím přednostně na energetickou náročnost a zásady návrhu PD, tím jsem se omezil na vybraná kritéria.

Pořadí variant (modelových příkladů) budu bodovat čísly 3, 2, 1, kde hodnota 3 značí nejvhodnější možnost a hodnota 1 nejméně vhodnou možnost. Poté součin obodování varianty a váhy kritéria značí dílčí skóre, kde nejvyšší součet skóre se rovná

⁹ Výpočet dle TNI 730329

pro zde definované multikriteriální hodnocení nejvíce optimální alternativu v rámci porovnávaných variant.

Výstupem a posouzením dle kritérií získáváme výslednou tabulku (viz Tab. 5).

Tab. 5: Výsledný výstup multikriteriálního hodnocení. Vytvořeno autorem

Kritérium	Váha kritéria	Kociánka		Jablonná		Rostoklaty	
		Body	Skóre	Body	Skóre	Body	Skóre
Měrná celková potřeba neobnovitelné primární energie	5	3	15	1	5	2	10
Objemový faktor budovy A/V	4	3	12	1	4	2	8
Neprůvzdušnost n_{50}	3	3	9	1	3	2	6
Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em}	2	1	2	3	6	2	4
Solární faktor zasklení g	1	1	1	2	2	3	3
SUMA			39		20		31

Hodnocení posuzuje dům Kociánka jako nejvíce optimální, dům Rostoklaty jako středně optimální a dům Jablonná jako méně optimální z hlediska energetické náročnosti. Diskuze nad výsledky viz kapitola 3.4.

3.3.2 Reference uživatelů

Kvantifikovaná, vážená kritéria doplním subjektivní zkušeností uživatelů daných domů. Respondenti odpovídali na sadu identických otázek v počtu 38. Z těch slučuji vzešlá relevantní tvrzení a postřehy níže. Částečně slouží jako vhled do motivace a racionalizace uživatelů. Reference jsou osobním postojem uživatelů, plynoucích z jejich předešlých zkušeností a momentálních dojmů z obývání dotčených domů.

Uživatelé domu Kociánka již před stavbou požadovali nejen technologicky moderní dům ale šetrný k životnímu prostředí. Samostatné tepelné čerpadlo a teplovodní systém pro vytápění uživatelé ne zvolili z důvodu malých ztrát domu a relativně velkých výkonů tepelných čerpadel voda-voda. Odhad na roční náklady za

energie činí 20 000 Kč. Také zvažují, že instalace fotovoltaiky je zatím jen malá a bez baterií, i když střecha umožňuje plochu k doplnění panelů a dům by mohl dokonce více energie vyrábět než spotřebovat, ale podmínky v ČR jsou dle uživatelů zatím oproti vyspělejší částem Evropy ekonomicky nezajímavé (chybějící Net metering apod.). Při otázce, co mají nejraději na domě, odpověděli: vnitřní světlo, přehlednost a jednoduchost uspořádání, komfortní ovládání, nízké náklady na energie, terasy a vnější vzhled.

Uživatelé domu Jablonná zvolili ke stavbě osamělou lokaci kvůli soukromí a volnému prostoru. Proč dřevostavbu? Ekologie. Dřevo, které se spotřebuje na stavbu, za padesát let vyrostе v lese. Vedlejším efektem byla rychlost suché výstavby. Uživatelé zvolili tepelné čerpadlo, protože jim to přijde jako efektivní zdroj tepla a TUV. Založení nad zemí nabízí skladovací prostory pod domem. Nejvíce uživatelům vyhovuje velké množství světla a čerstvého vzduchu. Roční náklady za topení činí 8 500 Kč. Příště by uživatelé uvítali prostornější technickou místnost.

Uživatelé domu Rostoklaty preferují vápenopískové cihly pro jejich užití jako nosnou konstrukci a tepelnou akumulaci v kombinaci s kontaktním zateplením zajišťující tepelnou ochranu. Uživatelé se odklonili od možnosti zabudování tepelného čerpadla, jelikož si přáli držet technickou část domu co nejjednodušší. Od podsklepení domu ustoupili z důvodu finanční vstupní nákladnosti. Uživatelé si chválí přijatelnou spotřebu při vytápění a akumulační schopnost konstrukcí, což doprovází poznámkou, že týden nepřítomnosti přes topnou sezónu nezapříčinil po příjezdu nutnost řešit jako první věc topení. Roční náklady elektrické energie uživatelé uvádějí jako 13 000 Kč, doprovázenými kubíkem topného dřeva pro krb. Uživatelům zadalo územní rozhodnutí sedlovou střechu, která se z pohledu energetické náročnosti jeví nešetrně, avšak uživatelé situaci akceptovali a adaptovali podstřešní prostor na obytné podkrovní, které s radostí využívají děti. Uživatelé většinu času používají krbová kamna, i když je instalováno elektrické podlahové topení. Nejraději mají, že děti nemusejí omezovat v hlučnosti, dokud to oni sami vydrží.

Parafrazovaný souhrn hodnocení uživatelů dokládám pro autentičnost citací pětice otázek a nefiltrovanými písemnými odpověďmi uživatelů.

Vybrané otázky:

- 1. Proč jste se rozhodli stavět právě na tomto místě?**
- 2. Jak dlouho stavba trvala?**
- 3. Kolik dům alespoň přibližně stál?**
- 4. Které technologie se osvědčily? Vše funguje, jak má?**
- 5. Co byste na domě změnili, co udělali nyní jinak?**

Odpovídají uživatelé domu Kociánka:

- 1. Chtěli jsme nový RD na území města Brna a v blízkosti městské hromadné dopravy, škol a míst naší práce. To lokalita splňuje a navíc je na kopci s výhledy na město.*
- 2. 17 měsíců.*
- 3. 8 MCZK*
- 4. Myslím, že všechny - jak konstrukční - systém vápenopískového zdiva a lepených tepelných izolantů, dřevohliníková okna a dveře, tak i TZB - kompaktní VZT se 2 tepelnými čerpadly a ohřevem TUV, FVE i inteligentní elektroinstalace od společnosti VIA ELECTRA.*
- 5. Uvažovali bychom o projekčním zpracování domu i TZB ve 3D a BIM - předešlo by se některým kolizím rozvodů a zrychlilo provádění.*

Odpovídají uživatelé domu Jablonná:

- 1. Kvůli grilování, záhonku s bylinkami, pěstování konopí pro léčebné účely, možnosti se kdykoliv hlasitě milovat, aniž bychom rušili sousedy, a abychom měli kam dávat neskutečné kvantum věcí, které potřebujete chvilku v životu, když děti rostou.*
- 2. Rok, protože jsem byl špatný stavbyvedoucí. Čistého času ne více než 6 měsíců.*

3. 4 000 000 včetně veškerého vybavení, tedy i televize pro manželku do ložnice, aby se měla kde dívat na mýdlové opery.
4. Nejvíce rekuperace a topení okny. Zatím vše funguje.
5. Větší technickou místnost či sušárnu.

Odpovídají uživatelé domu Rostoklaty:

1. Hledali jsme pozemek, který by byl blízko vlakového spojení do Prahy. Snažili jsme se vybírat i s ohledem na pasivní dům, tedy tak aby hlavní strana domu mohla být na jih a nebyla zastíněná.
2. Celá stavba trvala přibližně jeden rok.
3. Stavba včetně garáže a DPH byla 5,6mil Kč.
4. Snažili jsme se mít dům technicky co nejjednodušší a to se nám podařilo. Vše funguje jak má.
5. Asi bychom zvažovali úpravu garáže tak aby stání pro jedno auto bylo širší a stání pro druhé auto řešili mimo dům.

3.4 Výsledky

Multikriteriální hodnocení vykázalo jako nejvíce optimální model PD Kociánka. Příčinou je nízký poměr A/V, který je lépe dosažitelný s objemnější budovou. Neprůvzdušnost u masivní konstrukce je méně náchylná na kvalitu provedení. Slaběji vážená kritéria, průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} a solární faktor g, nezasahují do výsledku výrazně. Dům do budoucna dovoluje rozšíření fotovoltaiky. Ač vložená absolutní finanční investice do většího než průměrného domu je značná, tak pro investora, který objekt využívá a odůvodnil si měřítko stavby, je odměnou nízká hodnota měrné celkové potřeby neobnovitelné primární energie, a to 49 kWh/(m².a).

Jako středně optimální varianta je vyhodnocen dům Rostoklaty. Tento dům je částečně hendikepován nutností navrhnout sedlovou střechu, u které si ale investor našel kompenzaci jinou než finanční. To vyrovnává kvalitní tepelně-izolační obálkou. Mimo rekuperace dodává teplo krbem (obnovitelný zdroj energie).

A jako třetí optimální varianta vychází dům Jablonná, který trpí nepříznivým tvarovým faktorem, což je lehce zdůvodnitelné jednopodlažností budovy a ochlazováním podlahy venkovním vzduchem (založení na pilotách). Také u neprůvzdušnosti je prostor pro zlepšení, vysoké číslo neprůvzdušnosti může být způsobeno neperfektní realizací parobrzdné vrstvy. Investor vědomě umístil dům do nechráněného, vyzdvihnutého prostředí, energeticky nevýhodného, což zdůvodňuje prioritou solitárnosti bydlení. Očividně investor dle vyjádření v referenci ze značné části dbá i na aspekty, které nejsou jednoznačně vycházející z energetického ideálu.

Kvantifikované hodnocení v kontrastu subjektivních voleb uživatelů ukazuje na nespornou roli investora/uživatele, kdy jeho priority nemusí být energeticky odůvodnitelné. Každopádně dílčí uživatelské reference spojovala atributy jako kvalitní, moderní bydlení, čerstvý vzduch, světlý a slunný interiér a neposlední řadě domov pro rodinu (zkoumané domy obydlují vždy rodiny s dětmi).

Je nutné zdůraznit, že každý PD je originál, a tak s ním musí být zacházeno. Individuálně již od umístění na pozemek. Nelze si zvolit typový dům z katalogu, obalit ho tepelnou izolací, trojskly a řízeným větráním a prezentovat ho jako projekt pasivního domu, který se dá usadit do každé lokace. Takový pohled na problematiku je diletantský a naprosto zcestný, navíc vrhá neatraktivní světlo a vytváří nevídanou konotaci pasivním domům správně navrženým. Optimální návrh PD doprovází zkušený projektant/architekt ve spolupráci s řemesly, aby ve výsledku byl schopný komplexně zastřešit návrh PD. Již byl zmíněn optimalizační nástroj PHPP ověřený tisíci aplikacemi se zpětnou vazbou. Ten nabízí optimalizační prostředí s možností grafického vstupu přes designPH.

Již od raného konceptu je třeba komunikaci průběžně mířit také na uživatele, jelikož PD i přímo jeho energetická náročnost je výsostně ovlivňována uživatelským chováním (viz 3.1.1).

3.4.1 Komentář autora

Dovolím se podělit ještě se svým dojmem. Záměrně v práci nezpracovávám ani okrajově ekonomickou výhodnost PD. Literatura se v odhadu zvýšené nákladnosti PD proti běžnému ekvivalentu rozbíhá v rozsahu 0 – 20 % (i více). Zdráhám se opírat se a zakládat domněnky na finančním porovnáním, protože uchopení definice „běžný/standardní/ekvivalentní/normový dům“ je volné a nahrává úpravám podle motivace výpočtáře (ať už pro nebo proti PD). Tedy tyto porovnání považuji za tendenční, i přes exaktně stanovitelné mantinely porovnání: podlahové plocha, obestavěný prostor. I připustíme, že z agregovaných statistik získáme průměrné procento navýšení vstupní investice pro PD. Typicky bude investora zajímat výpočet návratnosti. Ten je dále ovlivněn chybou, vycházející z různých prognóz finančních tendencí předpokládaných v době sledovaného období životnosti stavby. Mimoto koncept PD je relativně mladý – první pasivní dům stojí „teprve“ od 1991 v Německu (Smola, 2011), a tak dlouhodobější porovnání až v řádu životnosti stavby je neexistující. Dále PD si pro svou podstatu bude držet vyšší tržní hodnotu a atraktivnost, oproti energeticky a provozně nákladným domům, když na českém trhu je ukotvena povinnost vystavení PENB. Ještě zmíním studii drahosti vykazující značnou rozmanitost hodnot měrné potřeby tepla na vytápění proti jednotkové ceně, což výzkum uzavírá tvrzením: *„Došli jsme k podobnému závěru jako nedávná studie regionální vlády z Bruselu, kde dlouhodobě podporují výstavbu energeticky šetrných budov - jasná korelace mezi standardem pasivního domu a náklady neexistuje. Bavit se můžeme pouze o dobře a špatně navržených a postavených domech.“* (Vanický, 2014)

Jsem přesvědčen, že inteligentně uchycený koncept pasivního domu a využití jeho principů pracující na prosté stavební fyzice a energii prostředí je důrazným přechodem ve stavebnictví. Věřím, že nepřesvědčivá ekonomická výhodnost nezastíní znamenitost vnitřního komfortu, enviromentální zodpovědnosti a vůbec progresivního přístupu. I když ve státě s neflexibilním přístupem, kde kritérium vytendrování veřejné zakázky je alibisticky nejlevnější nabídka, se mé přesvědčení může jevit pošetile, přesto předpovídám světlé zítřky nejen pasivním domům.

ZÁVĚR

V předkládané práci byl čtenář seznámen s problematikou nízkoenergetické výstavby, konkrétně pasivních domů, za použití a zpracování ověřených i současných poznatků. V teoretické části byly definovány zásady návrhu PD dle architektonických, konstrukčních a technických aspektů.

V praktické části byly představeny tři modely PD, ty podstoupily analýzu energetické náročnosti. Byla vybrána kritéria, podle kterých jsem posoudil optimalizaci modelových domů. Dále jsem tyto výsledky doplnil o uživatelské reference, které výsledky hodnocení nejen podkreslovaly, ale i ukázaly na uživatelskou prioritizaci hodnot, které nemají energetický podtext. To zdůvodňuje důležitost optimalizace návrhu PD, ale i individualizaci dle investora, který si určité požadavky cení nad hodnotu měrné tepelné potřeby tepla na vytápění.

Zásady návrhu PD byly v této práci zkoumány na rodinných domech, avšak principy pasivního standardu lze využít s úspěchem dále i na kancelářských budovách, celých obytných domech, vzdělávacích centrech a dalších, o čemž svědčí mnohé realizace, spíše v zahraničí.

Příchod nízkoenergetického vývoje a konceptu pasivního domu mezi širší veřejnost a do spektra veřejných a rozlehlých budov vlastníkům zajistí energeticky jistější budoucnost. A v širším dopadu se postupně promítne v energetické bezpečnosti na státní úrovni a poníží nepřímo geopolitickou závislost státu. Dalším benefitem budou snižující se nároky na investice do energetické infrastruktury a zdrojů, v neposlední řadě tedy klesající enviromentální dopad celkem.

Práce shrnuje komplexně problematiku PD a v praktické části udává důležitost individuální optimalizace pasivních domů a neoddělitelnou roli uživatelů a jejich priorit. Nekončící vývoj technologií a politický přístup k nízkoenergetické výstavbě činí toto téma aktuální, dlouhodobě smysluplné, živé a přístupné k bádání v následujících letech pro akademickou obec, trh, odbornou a laickou veřejnost.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BAŽANT, Martin a Zdeněk ZIKÁN, 2014. Vnitřní prostředí škol a možnosti zajištění výměny vzduchu. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://vetrani.tzb-info.cz/vnitрни-prostredi/10752-vnitрни-prostredi-skol-a-moznosti-zajisteni-vymeny-vzduchu>
- [2] BERE, Justin, 2013. *An introduction to passive house*. 1. ed. London: Riba. ISBN 9781859464939.
- [3] Building Research Establishment, 2017. *Passivhaus primer: Introduction: An aid to understanding the key principles of the Passivhaus Standard* [online]. Watford: Building Research Establishment [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.passivhaus.org.uk/filelibrary/Primers/KN4430_Passivhaus_Primer_WEB.pdf
- [4] CENTRUM PASIVNÍHO DOMU, , 2017. *Úvod k navrhování pasivních a nulových domů (kurz A): Doprovodná skripta*. Praha.
- [5] Centrum pasivního domu, 2016. *Centrum pasivního domu - Pasivnidomy.cz* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/domy/pd-bystrc-vejir-26#zakladni-udaje>
- [6] ENVIC, 2013. *Měření vlhkosti vzduchu a koncentrace CO₂ v panelovém domě, Plzeň* [online]. [cit. 2017-05-26]. Dostupné z: <http://www.envic-sdruzeni.cz/stavba-energetika/1076-2-reference/mereni-vlhkosti-vzduchu-a-koncentrace-co2-v-panelovem-dome-plzen.htm#pphoto/0/>
- [7] European Commission, 2017. *Buildings - European Commission* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- [8] Evropská komise, 2016. *Zpráva komise evropskému parlamentu a radě: Pokrok členských států při dosahování nákladově optimálních úrovní minimálních požadavků na energetickou náročnost* [online]. Brusel [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: <http://ec.europa.eu/transparency/regdoc/rep/1/2016/CS/1-2016-464-CS-F1-1.PDF>
- [9] FLÜCKIGER, Barbara, 1997. Mikrobielle Untersuchungen von Luftansaug-Erdregistern. *Eidgenössische Technische Hochschule Zürich* [online]. Zürich [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://www.passiefhuis.info/pdf/Erdregister-Bericht.pdf>
- [10] HALFEN, 2017. *HALFEN - Upevňovací technika pro stavební průmysl, kotevní profily, upevnění, systémy upevnění, kotvení, systémy kotvení, profily Halfen, Halfeneisen, kolejnice Halfen* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.halfen.com/cz/2084/produkty/vyztuze/hit-balkonove-a-izolacni-nosniky/uvod/>

- [11] HAZUCHA, Juraj, 2016. *Konstrukční detaily pro pasivní a nulové domy: doporučení pro návrh a stavbu*. První vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 9788024745510.
- [12] CHOMÁT, Jiří, 2014. Jak poznat zaručeně kvalitní okna?. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/fasadni-okna/10920-jak-poznat-zarucene-kvalitni-okna>
- [13] KARÁSEK, Stanislav, 2011. *Střešní okna v pasivním domě - TZB-info* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/obalove-konstrukce-nizkoenergetickyh-staveb/7404-stresni-okna-v-pasivnim-dome>
- [14] KOPECKÝ, Pavel, 2006. *K energetickému přínosu zemního výměníku tepla* [online]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://kopeckyp.wz.cz/files/pdf/PK-PD06.pdf>
- [15] KOPECKÝ, Pavel, Kamil STANĚK a Jan ANTONÍN, 2008. *Přesvědčivost výsledků výpočtu potřeby tepla na vytápění pasivních domů* [online]. Praha: ČVUT, Fakulta stavební [cit. 2017-05-15]. Dostupné z: http://kopeckyp.wz.cz/files/pdf/PK_PD08.pdf
- [16] MAO, Xiaoping, Huimin LU a Qiming LI, 2009. A Comparison Study of Mainstream Sustainable/Green Building Rating Tools in the World. In: *2009 International Conference on Management and Service Science* [online]. Wuhan, China: IEEE, s. 1-5 [cit. 2017-05-10]. DOI: 10.1109/ICMSS.2009.5303546. ISBN 9781424446384. Dostupné z: <http://ieeexplore.ieee.org/document/5303546/>
- [17] Nová zelená úsporám, 2017. *NZÚ: Podmínky oblasti podpory B* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://www.novazelenausporam.cz/zadatele-odotaci/rodinne-domy/3-vyzva-rodinne-domy/podminky-oblasti-podpory-b-3-vyzva/>
- [18] PALEČEK, Stanislav, 2007. Blower door test průvzdušnosti budov - detekční metody. *TZB-info* [online]. [cit. 2017-05-17]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/nizkoenergeticke-stavby/3896-blower-door-test-pruvzdusnosti-budov-detekcni-metody>
- [19] Passipedia, 2014. *Passipedia - The Passive House Resource* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: https://passipedia.org/planning/calculating_energy_efficiency/phpp_-_the_passive_house_planning_package/phpp_-_validated_and_proven_in_practice
- [20] Passivhaus Institut: About Us, 2015c. *Passivhaus Institut* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.passiv.de/en/01_passivehouseinstitute/01_passivehouseinstitute.htm

- [21] Passivhaus Institut: Passive House requirements, 2015a. *Passivhaus Institut* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.passiv.de/en/02_informations/02_passive-house-requirements/02_passive-house-requirements.htm
- [22] Passivhaus Institut: PHPP, 2015b. *Passivhaus Institut* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: http://www.passiv.de/en/04_phpp/04_phpp.htm
- [23] PKV, 2016. *Průkaz energetické náročnosti budov | PKV | PKVP průkazy PENB* [online]. [cit. 2017-05-10]. Dostupné z: <http://www.prukazpenb.cz/o-prukazu/>
- [24] PREGIZER, Dieter, 2009. *Zásady pro stavbu pasivního domu*. 1. vyd. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 9788024724317.
- [25] Schöck Wittek, 2017. *Schöck Wittek s.r.o. - Tepelná izolace, akustická izolace a speciální výztuže* [online]. [cit. 2017-05-14]. Dostupné z: <http://www.schoeck-wittek.cz/cs/produkty/beton-beton-120-mm-107>
- [26] Slavona, 2017. *Vliv solárních zisků a součinitele prostupu tepla okny na potřebu tepla na vytápění* [online]. [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: <http://www.slavona.cz/tema-mesice/vliv-solarnich-zisku-a-soucinitele-prostupu-tepla-okny.html>
- [27] SMOLA, Josef, 2011. *Stavba a užívání nízkoenergetických a pasivních domů*. 1. vyd. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 9788024729954.
- [28] Stavebnictvi3000.cz, 2014. *Šikmá střecha – střešní okno nebo vikýř | Stavebnictvi3000.cz* [online]. [cit. 2017-05-16]. Dostupné z: <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/sikma-strecha-stresni-okno-nebo-vikyř/>
- [29] TYWONIAK, Jan, 2005. *Nízkoenergetické domy: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 802471101X.
- [30] TYWONIAK, Jan, 2008. *Nízkoenergetické domy 2: principy a příklady*. 1. vyd. Praha: Grada. Stavitel. ISBN 9788024720616.
- [31] VANICKÝ, Tomáš a Petr AIGEL, 2014. *Unikátní studie ukázala, že pasivní domy nemusí být drahé* [online]. [cit. 2017-05-27]. Dostupné z: <http://www.pasivnidomy.cz/unikatni-studie-ukazala-ze-pasivni-domy-nemusi-byt-drahe/t4126?s=35>

SEZNAM NOREM A NAŘÍZENÍ

Vyhláška č. 78/2013 Sb.: Vyhláška o energetické náročnosti budov, Ministerstvo průmyslu a obchodu.

Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby se změnami: 20/2012 Sb., Ministerstvo pro místní rozvoj.

Zákon č. 406/2000 Sb.: Zákon o hospodaření energií, Parlament ČR.

ČSN 73 0540-2: Tepelná ochrana budov. Část 2: Funkční požadavky, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

TNI 73 0329: Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

TNI 73 0331: Energetická náročnost budov - Typické hodnoty pro výpočet, Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví.

Directive 2010/31/EU: Energy Performance of Buildings Directive. European Parliament and the Council.

SEZNAM OBRÁZKŮ A TABULEK

Obr. 1: Trend snižování měrné potřeby tepla na vytápění. Vytvořeno autorem. Data z (Tywoniak, 2005).....	12
Obr. 2: Schéma znázorňující základní principy PD (Passivhaus Institut, 2015a). Upraveno autorem.....	18
Obr. 3: Znázornění sklonu dopadu slunečních paprsků pro léto a zimu v ČR. (Stavebnictvi3000.cz, 2014)	24
Obr. 4: Schéma obrácené konstrukce založení s použitím XPS. (Centrum pasivního domu, 2017)	26
Obr. 5: Základní možnosti přetokového větrání. (Hazucha, 2016)	32
Obr. 6: Vliv relativní vlhkosti vzduchu na prostředí a uživatele. Vytvořeno autorem. Data z (Bere, 2013)	33
Obr. 7: Graf s hodnotami CO ₂ , vlhkostí a teplotou v průběhu času v panelovém domě. (ENVIC, 2013)	34
Obr. 8 Fotografie domu Kociánka. Zdroj: (Centrum pasivního domu)	39
Obr. 9: Fotografie domu Jablonná. Zdroj: (Centrum pasivního domu)	41
Obr. 10: Fotografie domu Rostoklaty. Zdroj: (Centrum pasivního domu).....	42
Obr. 11: Dílčí dodané energie hodnocených domů. Vytvořeno autorem	44
Obr. 12: Poměrové rozložení měrných tepelných ztrát na dílčí konstrukce. Vytvořeno autorem.....	45

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Kritéria vymezující PD dle PHI. Vytvořeno autorem. Data z (Passivhaus Institut, 2015a)	16
Tab. 2: Součinitel prostupu tepla doporučený pro PD. Data z (ČSN 73 0540-2)	16
Tab. 3: Absolutní hodnoty měrných tepelných ztrát prostupem tepla. Vytvořeno autorem.....	44
Tab. 4: Porovnání dvou typů jižních oken z hlediska U_g a g . Vytvořeno autorem. Data z (Slavona, 2017).....	47
Tab. 5: Výsledný výstup multikriteriálního hodnocení. Vytvořeno autorem	48

SEZNAM ZKRATEK A SYMBOLŮ

BIM	Building Information Modeling/Management
CO ₂	Oxid uhličitý
CPD	Centrum pasivního domu
ČR	Česká republika
ČSN	Česká státní norma
EPBD	European Performance Building Directive
EPS	Expandovaný polystyren
EU	Evropská unie
LEED	Leadership in Energy and Environmental Design
NZÚ	Nová zelená úsporám
OZE	Obnovitelné zdroje energie
PENB	Průkaz energetické náročnosti budovy
PD	Pasivní dům, pasivní domy
PHI	Passivhaus Institut
PHPP	Passivhaus-Projektierungspaket, Passive House Planning Package
RD	Rodinný dům
TNI	Technická normalizační informace
TZB	Technické zařízení budov
VZT	Vzduchotechnika, vzduchotechnický
ŽB	Železobetonový

SEZNAM SYMBOLŮ

Symbol	Význam	Jednotky
$U_{pas,20}$	Součinitel prostupu tepla doporučený pro pasivní domy	W/(m ² .K)
U_w	Celkový součinitel prostupu tepla oknem	W/(m ² .K)
U_f	Součinitel prostupu tepla rámem	W/(m ² .K)
U_g	Součinitel prostupu tepla zasklením	W/(m ² .K)
U_D	Součinitel prostupu tepla dveřmi	W/(m ² .K)
ψ_g	Lineární činitel prostupu tepla okrajem zasklení	W/(m.K)
g	Propustnost solárního záření; solární faktor	-
n_{50}	Neprůvzdušnost při rozdílu tlaku 50 Pa	h ⁻¹
A/V	Faktor tvaru	m ² / m ³

Jednotky	Význam
hod, h	hodina
K	Kelvin
m	metr
ppm	„parts per million“ (počet částic v milionu)
a	rok
kWh	kilowatthodina
W	Watt
% RH	procent relativní vlhkosti