



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ARCHITEKTURY
ÚSTAV STAVITELSTVÍ

FACULTY OF ARCHITECTURE
DEPARTMENT OF ENGINEERING

VLIV ARCHITEKTONICKÉHO KONCEPTU NA POTŘEBU TEPLA NA VYTÁPĚNÍ ENERGETICKY ÚSPORNÝCH BUDOV PRO BYDLENÍ

IMPACT OF THE ARCHITECTURAL CONCEPT ON THE ENERGY CONSUMPTION
OF HEATING OF THE ENERGY-SAVING RESIDENTIAL BUILDINGS

TEZE DIZERTAČNÍ PRÁCE
SYLLABUS OF DOCTORAL THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. arch. DAVID KŘEČEK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. JOSEF CHYBÍK, CSc.

BRNO 2011

OBSAH

1	ÚVOD.....	2
1.1	Cíl práce	2
1.2	Způsob řešení práce	3
1.3	Struktura práce	5
2	ANALÝZA ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	6
2.1	Energeticky úsporné stavby	6
2.2	Energetická optimalizace – Software PHPP	7
3	POPIS REFERENČNÍCH STAVEB	8
4	VLIVY UMÍSTĚNÍ STAVBY	10
4.1	Poloha stavby	10
4.2	Situace v urbanistickém kontextu	12
4.3	Orientace stavby.....	13
5	VLIVY GEOMETRIE STAVBY	14
5.1	Tvar stavby.....	14
5.2	Prosklení fasád stavby.....	16
5.3	Stínění stavby.....	17
5.4	Významnost jednotlivých parametrů	18
6	VLIVY ARCHITEKTONICKÝCH PRVKŮ	18
6.1	Orientace svislé okenní plochy	18
6.2	Vertikální naklápění okenní plochy	19
6.3	Velikost a proporce okenní plochy	20
6.4	Stínění horní markýzou a bočními žebry	22
7	PŘÍKLAD ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE	23
8	ZÁVĚR.....	25
8.1	Vyhodnocení výsledků.....	25
8.2	Aplikovatelnost pro praxi.....	27
8.3	Doslov	27
	POUŽITÉ ZDROJE.....	27
	PROFESNÍ ŽIVOTOPIS.....	29
	PUBLIKACE AUTORA	31

ABSTRAKT

Počátek návrhu úsporné stavby je nejvíce „abstraktní složkou návrhu s velmi nejistými vstupy“. Při navrhování pasivního domu se uplatňuje spousta navzájem propojených faktorů, např. trajektorie Slunce a vliv stínění okolím, energetická kvalita konstrukcí, atd. V současné době architektovi nezbývá, než využívat všeobecně známých pouček, jako je například orientace velkých oken na jih, ale ze severu nikoliv apod. Bohužel tyto „empirické vzorce“ pro návrh skutečného pasivního domu nestačí. Cílem práce je zjednodušení problematiky do srozumitelné formy, tj. zpracování relativně jednoduchých a názorných zobrazení, která problematiku přijatelně zobecňují a ukazují chování jednotlivých parametrů (prosklení, stínění, tvar, velikost, atd.) a jejich změnu na potřebu tepla na vytápění pasivního domu. Hlavním cílem je vytvořit pomocí výpočetního nástroje nové závěry a poznat energetické chování stavby. Výzkum pracuje s matematickým virtuálním idealizovaným modelem v software PHPP 2007 CZ a využívá „fenomén“ parametrických rovnic a citlivostní analýzy.

KLÍČOVÁ SLOVA

Udržitelný rozvoj, stavby pro bydlení, energeticky úsporné stavby, nízkoenergetický dům, pasivní dům, nulový dům, aktivní dům, energetická náročnost, optimalizace, zdravé bydlení.

ABSTRACT

Beginning efficient building design is the most “abstract factor of concept linked with very uncertain inputs”. Many mutually connected factors are invoked during designing passive house e.g. trajectory of the sun and the shielding effect of the surroundings, power quality construction, etc. Currently, the architect has no choice, he can use only well-known precepts, such as large windows are facing the South not the North. Unfortunately this "empirical formula" for the design of a real passive house is not enough. Therefore the aim of this work is to simplify the issue into understandable form, i.e. the creation of relatively simple and illustrative sketches, which generalize the issue satisfactorily, show the individual parameters (glazing, shading, shape, size, etc.) and change need of heat for heating passive house. Therefore the main goal is to create new outcomes and identify energy behaviour of buildings with a computational tool. This research works with virtual idealized mathematical model in the software PHPP 2007 CZ and uses "phenomenon" of parametric equations and sensitivity analysis.

KEY WORDS

Sustainable development, residential buildings, energy-saving buildings, low-energy house, passive house, zero house, active house, energy consumption, optimization, salubrious housing.

1 ÚVOD

1.1 CÍL PRÁCE

Pokud chceme i nadále udržitelným způsobem zabezpečit přiměřené hospodářské, společenské i sociální podmínky života, musíme v mnohem větší míře uplatňovat uvědomělejší přístup k životnímu prostředí [1]. Zcela jasnou nutností bude velké množství neobnovitelných zdrojů limitovat a snažit se ve větší míře využívat obnovitelných zdrojů energie a zajišťovat návratnost použitých materiálů (recyklace). Jedině zodpovědné nakládání s prostředky vede k dlouhodobému úspěchu a ke snížení tzv. ekologické stopy.

Budovy – jejich výstavba a provozování – patří mezi hlavní spotřebitele materiálových a energetických zdrojů a významné znečišťovatele životního prostředí a to nejenom v období realizace, ale i v průběhu všech fází jejich existence. Cesta k udržitelné výstavbě není v hledání jednoho nebo několika univerzálních technických řešení, nýbrž v uplatňování nových principů návrhu, nových materiálů a technologií jejich zpracování, nových technologií výstavby včetně její organizace, nových metod posuzování a hodnocení staveb apod., při současném zachování architektonické kvality a konstrukční pestrosti a variability v navrhování staveb. Bylo ověřeno, že opatření na snížení energetické náročnosti zaměřená na zdokonalení izolace střech, sklepů a fasád, oken a topných systémů jsou nákladově efektivní nejen jako jednotlivá opatření, ale hlavně pokud budou realizována jako soubor komplexního opatření (proces integrálního navrhování) [2].

Cíle práce

Téma dizertační práce zcela logicky reaguje na tento současný trend architektury a zabývá se energeticky úspornými stavbami, tj. pasivními a nízkoenergetickými domy a snaží se dále rozvinout jejich potenciál. Práce se vymezuje hlavně na stavby určené k bydlení, tj. na rodinné a bytové domy určené k dlouhodobému pobývání [3], protože každý typologický druh má své požadavky a limity a jiné „energetické chování“.

Lokalizace staveb je zvažována pro Českou republiku, která má středoevropské klima, jež je typičtější, stálejší a spolehlivější, neboť obsahuje i přechodná období [4]. Tato užší specializace umožní v rámci práce bližší a přesnější zhodnocení a možnost zobecnění výsledků. Počátek návrhu úsporné stavby je nejvíce „abstraktní složkou návrhu s velmi nejistými vstupy“, protože spousta parametrů v té chvíli je ještě zcela neznámá, nebo není s jistotou rozhodnutá. A přitom první koncepce domu nejvíce ovlivní nejen jeho tvar, formu, ale i uživatelský komfort, cenu, realizovatelnost a budoucí energetické chování stavby a s tím související provozní náklady domu. Je zcela zřejmé, že tato etapa nesmí být podceněna, neboť již „při malé změně počátečních vstupů je velkou měrou ovlivněn výsledek“. Díky tomuto uvažování se práce zaměřuje na prvotní rozhodovací fázi návrhu, tj. na architektonický koncept pasivního domu (ideu, vizi).

Při navrhování pasivního domu se musí uplatnit spousta navzájem propojených faktorů, např. trajektorie Slunce a vliv stínění okolím, hledisko oslunění a osvětlení interiéru, energetická kvalita konstrukcí, atd. V současné době architektovi nezbyvá než využívat všeobecně známých pouček, jako je například orientace velkých oken na jih, ale ze severu nikoliv apod. „Empirické vzorce“ pro návrh skutečného pasivního domu nestačí. Architekt musí mít představu, jaký vliv má orientace domu v souvislosti s velikostí prosklení v kombinaci se stíněním, jaký vliv má změna velikosti domu, změna proporcí stavby či proměna členitosti povrchu na nějakou srovnávací rovinu a tou je energetická bilance domu. Tato bilance musí být se vším v rovnováze a v tu chvíli přichází na řadu energetická optimalizace, která zpracuje několik nezávislých variant.

Cílem práce je zjednodušení zmíněné problematiky do srozumitelné formy, tj. zpracování relativně jednoduchých a názorných zobrazení, která u nás zatím skutečně chybí, a které problematiku přijatelně zobecňují a ukazují chování jednotlivých parametrů (prosklení, stínění, tvar, velikost, atd.) a jejich změnu na potřebu tepla na vytápění pasivního domu (jeden z hlavních ukazatelů kvality návrhu). Výzkum je proveden na racionálním výpočetním základě 9 staveb pro bydlení ve specializovaném programu pro návrh úsporných staveb – PHPP 2007 CZ [5]. Chování jednotlivých prvků je sledováno také na procentuální změně potřeby tepla na vytápění, a tak je možnost porovnání mezi tvarem a velikostí stavby. Součástí posouzení budou schematická zobrazení a související dokladové referenční tabulky a diagramy. Snahou je tyto výpočty zobecnit na základě určité relativní nepřesnosti, které ale v počáteční rozhodovací fázi zcela jistě nevadí.

1.2 ZPŮSOB ŘEŠENÍ PRÁCE

Hlavním a prakticky jediným parametrem, který je sledován, bude měrná potřeba tepla na vytápění pasivního domu E_A , což je nejdůležitější parametr, který určuje, zda je navržený dům úsporný nebo není. Tato potřeba domu je „měrná“ (přepočítaná na 1 m^2 vytápěné plochy), to znamená, že díky ní lze porovnávat mezi sebou různé velikosti i typologie staveb, a stačí k tomu pouze jedno kritérium. Zde se uplatňuje mocná síla jednoduchosti. Samozřejmě pro skutečnou optimalizaci pasivního domu toto měřítko nestačí a je třeba posuzovat více věcí současně, například neprůvzdušnost (uvažovaná a reálná) stavby, topná zátěž, četnost překročení nejvyšší teploty vzduchu (letní přehřívání), chladicí zátěž, atd. Srovnání všech těchto kritérií je zcela jistě nad rámec této dizertační práce.

Pro účely výzkumu je vytvořen parametrický model 5 rodinných a 4 bytových domů. Tento model je definován na bázi „statistických úvah“, tzn. snahou je obsáhnout co nejvíce tvarových a velikostních kategorií domů pro bydlení včetně jejich „příslušné“ orientace (například jednopodlažní bungallow, dvoupodlažní dvojdom, deskový bytový dům, apod.). Tento výpočetní model je přiměřeně zjednodušen na jednoduché ideální tvary domů (kvádry) tak, aby byl vytvořen referenční reprezentativní vzorek tvarů a velikostí staveb a bylo tak možno sledovat vlivy různých parametrů. Důležité parametry a nastavení modelu jsou zvoleny

s ohledem na pasivní standard a respektují tak zásady úsporných staveb, například poměry prosklení fasády, kvalita obalových konstrukcí, systém větrání, apod. Aby došlo k určitému zjednodušení výpočtu, tak nastavení většiny parametrů vychází z domněnky „paušalizace“, tj. věci, které lze předem v konceptu „odhadnout s přijatelnou přesností“ jsou přebrány z TNI 73 0329(30):2009 [6; 7] či z pasivního standardu. Například pro výpočet je zvažována vzduchotěsnost všech staveb jako konstantní $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, což je základní parametr pro pasivní stavby. Celé posouzení bude respektovat stranu bezpečnosti návrhu. Při podrobnější analýze lze samozřejmě nastavovat kvality parametrů na jiné hodnoty, ale toto se již týká podrobnější optimalizace, kterou v tomto díle nelze obsáhnout.

Tímto je vytvořen základní referenční výchozí model vhodný pro posuzování. Pro vyhodnocování parametrického modelu je zvolen software PHPP 2007 CZ (česká mutace) [5], který je přímo optimalizovaný pro návrh úsporných staveb (bližší informace viz kapitola 3). Zde se mění různá nastavení a parametry modelu, které jsou zaznamenávány a vyhodnocovány (sledování chování modelu) v tabulkách a grafech. Zaznamenávána je měrná potřeba tepla na vytápění v absolutních hodnotách a ta je dále přepočítávána do relativní a procentuální změny vzhledem k referenčnímu stavu. V reálné výpočtové praxi lze stanovit měrnou potřebu tepla na vytápění s absolutní přesností $\pm 3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ [8], protože je třeba zvažovat o subjektivním vlivu zpracovatele výpočtu, který se může u různých lidí lišit. I přesto je v této práci výsledek uváděn s přesností na desetiny. Je to z toho důvodu, že takto lze mnohem lépe sledovat vyskytující se rozdíly mezi rozdílnými variantami (někdy by při zaokrouhlení zcela zanikly).

Většina posouzení jsou provedena pro dvě klimatické oblasti tak, aby výsledky obsáhly většinové zastavitelné území ČR (více než 80 % veškerého území). Získaná data jsou poté porovnávána a vyhodnocována a jsou zobrazovány výsledky chování v různých klimatických datech.

Pro některá vyhodnocení jsou vytvořena 3 makra v programu Excel (MS Office) v programovacím jazyku VBA (Visual Basic for Applications), která jsou výpočetně propojena s PHPP. Makra jsou použita pro automatizaci některých vyhodnocovacích procesů a tím pomáhají výrazně zrychlit práci. První makro dokáže měnit jednu proměnnou v určitých mezích po přesně definovaném kroku. Například pro vyhodnocování orientace budov makro mění vstupní údaje orientace budovy od -180° do $+180^\circ$ a data zapisuje do tabulky a zobrazuje v grafu. Druhé makro dokáže pracovat se dvěma nezávislými proměnnými a ty dokáže zapsat do tabulky a vyhodnotit pomocí podmíněného formátování. Třetí makro je použito v kapitole 5.4 a slouží ke stanovení vlivů (symbiózy) několika parametrů současně (multi-kriteriální úloha). V rámci makra stanovuje okrajové podmínky a limity pro 10 nezávislých proměnných a na bázi stochastického modelu s rovnoměrným rozložením pravděpodobnosti vyhodnocuje pomocí metody Monte Carlo (15000 iterací) a citlivostní analýzy (Pearsonův korelační koeficient) vliv významnosti jednotlivých parametrů.

Vědecké metody

V rámci této dizertační práce je použito několik vědeckých metod. Data byla tříděna pomocí určitých hodnotových kritérií. V přípravné fázi tohoto projektu bylo sbírání dat a informací, jejich vyhodnocování a systematizace. V rámci práce je tvořen vědecký experiment na základě abstraktního virtuálního idealizovaného modelu (teoretického obrazu empirické reality), který je logicky analyzován a data byla abstrahována do použitelných informací. Část práce, kde se posuzuje vzájemná symbióza parametrů, je použita metoda syntézy, která artikuluje vzájemné relace veličin. Na závěr jsou tyto údaje prezentovány v relativně zobecněné a redukované formě.

Dílo čerpá inspiraci z mnoho zdrojů, kterými jsou česká i zahraniční odborná literatura, příslušné stavební normy a právní předpisy, internet a v neposlední řadě i vlastní projektová praxe s návrhem a optimalizací pasivních a nulových domů.

1.3 STRUKTURA PRÁCE

Práce je uspořádána do několika logických a samostatných celků:

- širší analýza problematiky;
- charakteristika referenčních staveb;
- posuzování vlivů umístění stavby;
- posuzování vlivů geometrie stavby;
- posuzování vlivů architektonických prvků;
- příklady energetické optimalizace.

První kapitola vymezuje téma dizertační práce, definuje cíle, popisuje způsob řešení problematiky a dává přehled o struktuře samotné práce.

Druhá kapitola se zabývá obecnou analýzou řešené problematiky úsporných staveb. Snaží se doplnit a případně rozvinout potřebnou teoretickou základnu pro pochopení problematiky v širším slova smyslu od pilířů udržitelného rozvoje, potenciálů úsporných staveb, včetně jejich historického vývoje, až po současné trendy v Evropské unii a České republice. Dále kapitola nastiňuje principy a důvody energetické optimalizace staveb, ukazuje dosavadní výsledky na vědeckém poli v tomto okruhu a v poslední části podrobněji rozebírá zákonitosti fungování programu PHPP 2007 CZ a jeho ověřování v praxi.

Třetí kapitola podrobně rozebírá zvolený virtuální model 9 staveb a popisuje zvolení určitých parametrů výpočtu. Zde se již vyhodnocují vztahy mezi tvary a velikostí staveb a popisuje se základní energetická bilance pasivního domu – posouzení tepelných ztrát a zisků. Na závěr je zdůvodněno zvolení dvou klimatických dat pro dvě relevantní teplotní oblasti charakterizující území České republiky.

Čtvrtá kapitola se již zabývá hodnocením vlivů umístění stavby, kde se rozebírá vliv polohy stavby v rámci ČR, situace v urbanistickém kontextu (stínění a vítr) a vlivy orientace stavby ke světovým stranám.

Pátá kapitola posuzuje vlivy geometrie stavby, tj. faktor tvaru stavby, vliv prosklení fasád a stínění horizontální markýzou a bočními žebry. Na konci je speciální oddíl, který řeší významnost jednotlivých parametrů pomocí metody Monte Carlo s citlivostní analýzou.

Šestá kapitola se zaměřuje přímo na specifické architektonické prvky, kterými jsou prosklené otvory ve vnějším plášti (okna) a sleduje vlivy orientace, natáčení ve vertikálním směru, změny velikosti a proporcí tvaru a stínění.

Sedmá kapitola se věnuje dvěma příkladům praktické energetické optimalizace. Snahou je ukázat, jak lze „vylepšovat“ původní koncepční záměr pomocí změn několika prvků.

Osmá kapitola zobecňuje a prezentuje dosažené výsledky jako celku a zhodnocuje je do skutečné praxe.

V **příloze** jsou uvedeny tabulky a diagramy, které se většinou týkají vyhodnocení klimatické oblasti Karlových Varů, jsou vyňaty z běžného textu práce, aby umožnily zpřehlednit hlavní část, kterou by jinak „zbytečnými daty“ zahlcovaly.

Data v diagramech jsou uváděna v logických souvislostech s vazbou na posuzovaný prvek. Není cílem zobrazovat v grafu „přesná a přehledná“ data, která lze zpětně odečítat pro individuální stavby, ale hlavně ukázat **směrování trendu a jeho odchylky**.

2 ANALÝZA ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY

2.1 ENERGETICKY ÚSPORNÉ STAVBY

Stavební odvětví nejvíce ovlivňuje životní prostředí, a tak má i větší potenciál k pozitivnímu ovlivnění udržitelného rozvoje společnosti při uplatnění optimalizačních přístupů v technologii, návrhu a managementu v rámci životního cyklu staveb. Efektivní využívání nových progresivních materiálů (vysokohodnotných i recyklovaných) a konstrukčních řešení, vedoucích ke zkvalitňování výstavby budov, a to nejenom z hlediska technického, ale i ekonomického, environmentálního, sociálního a kulturního, tak představuje značný potenciál z hlediska zajišťování požadavků udržitelného rozvoje společnosti [9].

Při návrhu konstrukce a její optimalizaci je třeba posuzovat chování konstrukce v rámci celého životního cyklu a zvažovat předpokládané cykly údržby, oprav a výměny jednotlivých konstrukčních částí. K tomu je třeba sladit životnosti jednotlivých konstrukčních prvků a zajistit snadnou výměnu prvků s menší životností. Kvalitu staveb lze jednoduše srovnávat pomocí jasně definovaných **technických porovnávacích ukazatelů**:

- průměrný součinitel prostupu tepla obálkou budovy;
- přívod čerstvého vzduchu;
- účinnost rekuperace;
- neprůvzdušnost obálky budovy;
- zimní a letní tepelná stabilita;
- měrná potřeba energie na vytápění;

- primární energie z neobnovitelných zdrojů [2].

V řadě evropských zemí je dynamika vývoje v oblasti energeticky úsporných staveb velmi výrazná. Na celém světě je v současné době cca 20 tisíc postavených pasivních domů (březen 2011) nejrozmanitějších kategorií. Drtivá většina je v kolébce pasivních domů, v Německu, kde je již postaveno cca 12 tisíc domů a v Rakousku, kde stojí již cca 6,5 tisíce domů.

Dalším velkým impulsem se stala nová směrnice Evropského parlamentu a rady 2010/31/EU o energetické náročnosti budov ze dne 19. května 2010 (**EPBD 2**), která vytyčuje čtyři hlavní oblasti a zavazuje členské státy, že zajistí, aby:

- do 31. prosince 2020 všechny nové budovy byly budovami s „téměř nulovou spotřebou energie“, v případě budov užívaných a vlastněných veřejnou mocí se termín zkracuje do roku 2018;
- společně snížily do roku 2020 celkové emise skleníkových plynů alespoň o 20 %;
- společně zvýšily energetickou účinnost do roku 2020 o 20 %;
- společně zvýšily podíl energie z OZE do roku 2020 na 20 % [2].

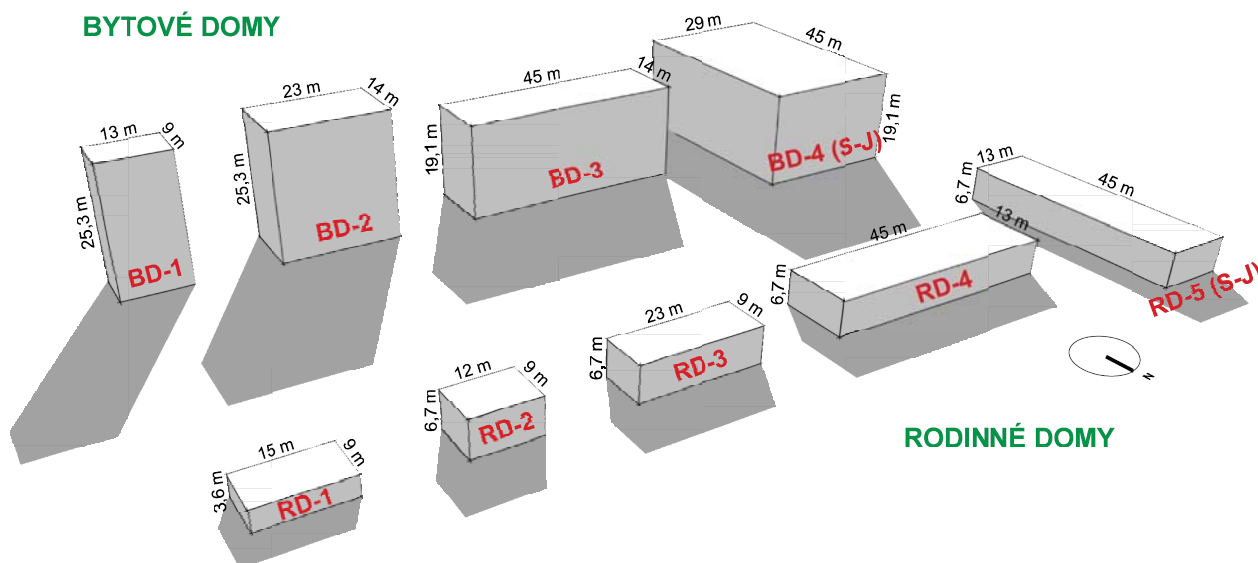
2.2 ENERGETICKÁ OPTIMALIZACE – SOFTWARE PHPP

Pro zohlednění všech parametrů byl Passivhaus Institutem vyvinut projektový nástroj PHPP (Passivhaus projektierung paket, Passive house planning package), který vyšel v několika jazykových mutacích (včetně češtiny od Centra pasivního domu). Jeho velkou předností je, že jeho relativní jednoduchost umožňuje již architektům porovnávat různé alternativy a varianty od prvního konceptu až po ověřování skutečného realizovaného stavu. Bez použití PHPP může být návrh velmi často neseriózní. Ze zkušeností vyplývá, že i tam, kde je vážný záměr vytvořit pasivní dům, se při prvotním návrhu architekti pohybují mezi 18 – 45 kWh/(m²·a), tj. až na 300 % spotřeby pasivního domu a to při nejméně 300 mm izolantu na masivní stěně a s dobrými výplněmi otvorů (tzn. při použití velmi optimistického výpočtu).

Základem výpočetních postupů je zákon zachování energie, jeden z nejdůležitějších fyzikálních zákonů: *„veškerá energie, která bude přivedena uzavřenému systému, zde danému objektu, buď zvýší obsah energie systému (zde většinou teplotu) nebo systém opět opustí.“* Software PHPP nejpřesněji počítá výsledky pomocí tzv. měsíční metody, která uvažuje v každém výpočtovém intervalu stále okrajové podmínky (pro redukovaný stav vytápění v noci a pro jiné teplotní režimy lze použít postup viz např. ČSN EN ISO 13790 [10]). Rozhraní programu běží pod programem Microsoft Excel, který je rozdělen do cca 25 záložek, jež jsou spolu provázány a jsou přehledně uspořádány. Výpočet je velmi interaktivní a lze okamžitě vyhodnocovat výsledky. PHPP vkládá do ruky architektovi a projektantovi technického zařízení budov všechny nástroje potřebné pro projektování funkčního úsporného domu.

3 POPIS REFERENČNÍCH STAVEB

BYTOVÉ DOMY



Obr. 3.1 Schematické znázornění posuzovaných staveb RD a BD

Pro účely posuzování je vytvořen virtuální model celkem devíti staveb, který je definován na bázi „statistických úvah“, tj. pomocí specifických parametrů, které respektují principy návrhu pasivního domu. Pro každou stavbu je nadefinován základní referenční ideální stav, ze kterého se vychází a mění se pouze posuzovaný parametr, takže je sledováno, jaké následky má změna daného prvku. Ve skutečnosti může nastat „nekonečně mnoho variant“ různých velikostí a tvarů, tj. stavby velmi protáhlé nebo naopak vysoké, stavby velmi členité, kde si výčnělky navzájem stíní nebo naopak stavby minimalisticky ploché a stavby s několika vnitřními atrií nebo naopak stavby, které využívají naplno svůj objem. Pro vyhodnocování jsou zvoleny jednoduché tvary, které jsou někde na „zlaté střední cestě“, tj. jednoduché kvádry. Smyslem je totiž poukázat, jaký vliv mají jednotlivé změny parametrů na určitý objem a tvar stavby a ne zcela přesné chování reálné stavby, tohle je už úkol konkrétní optimalizace. Důležitým výstupem je názorné předvedení, jak se „energeticky chová“ malá stavba rodinného domu a naopak mnohem větší objemy osmipatrového bytového domu. Pro účely této práce jsou vybrány referenční archetypy tvarů a velikostí staveb pro bydlení (reprezentativní vzorek).

Je zvoleno **pět rodinných domů a čtyři bytové stavby**:

- RD-1 samostatně stojící bungallow (1 patro);
- RD-2 samostatně stojící patrový dům (2 patra);
- RD-3 dvojdům (2 patra);
- RD-4 řadový dům (2 patra);
- RD-5 (S-J) řadový dům – orientace sever-jih (2 patra);
- BD-1 věžový bytový dům úzký (8 pater);
- BD-2 věžový bytový dům široký (8 pater);
- BD-3 deskový bytový dům úzký (6 pater);

- BD-4 (S-J) deskový bytový dům široký – orientace sever-jih (6 pater).

Všechny budovy mají základní orientaci směrem na jih, tzn. jsou delší stranou natočeny ke Slunci, až na dvě výjimky RD-5 (S-J) a BD-4 (S-J), které jsou natočeny o 90° a své delší strany mají na západ a východ. Stavby jsou v základním stavu brány jako ideálně nestíněné, pouze je akceptován vliv stínění osazení okna (stínění ostěním). Velikost prosklení je zvolena tak, aby domy maximálně respektovaly pasivní standard a k tomu příslušná doporučení, tzn. jižní strana má prosklení 30 %, východní a západní 10 % a severní 5 % (stavby s orientací S-J mají největší prosklení na východ a západ).

Pro všechny typy výpočtů je zvolena měsíční metoda (kvazistacionární). Nastavení většiny parametrů vychází z domněnky „paušalizace“, tj. věci, které lze předem v konceptu „odhadnout s přijatelnou přesností“. Nastaveny jsou takové parametry, které jsou běžné při výstavbě pasivních domů v současnosti, ale zároveň respektující možnost inovace [8]. Většina je převzata přímo z doporučení v PHPP, jako například míra větrání, vnitřní návrhová teplota, vnitřní tepelné zisky, účinnost rekuperační jednotky, atd. Navržené kvality obvodových konstrukcí u rodinných domů jsou mírně kvalitnější než u bytových domů. Tato nuance vychází z faktoru tvaru A/V, který je pro větší objemy příznivější, a tak není třeba tak kvalitní konstrukce pro dosažení stejného standardu (v tabulce jsou tyto hodnoty v závorkách). Dále jsou zvažovány i výrazné lineární tepelné mosty, které bilanci energií lehce vylepšují (převzato z [11]). Tepelná kapacita zóny je 180 Wh/(m²·K), což odpovídá smíšené konstrukci (masivní stěny a lehká střecha).

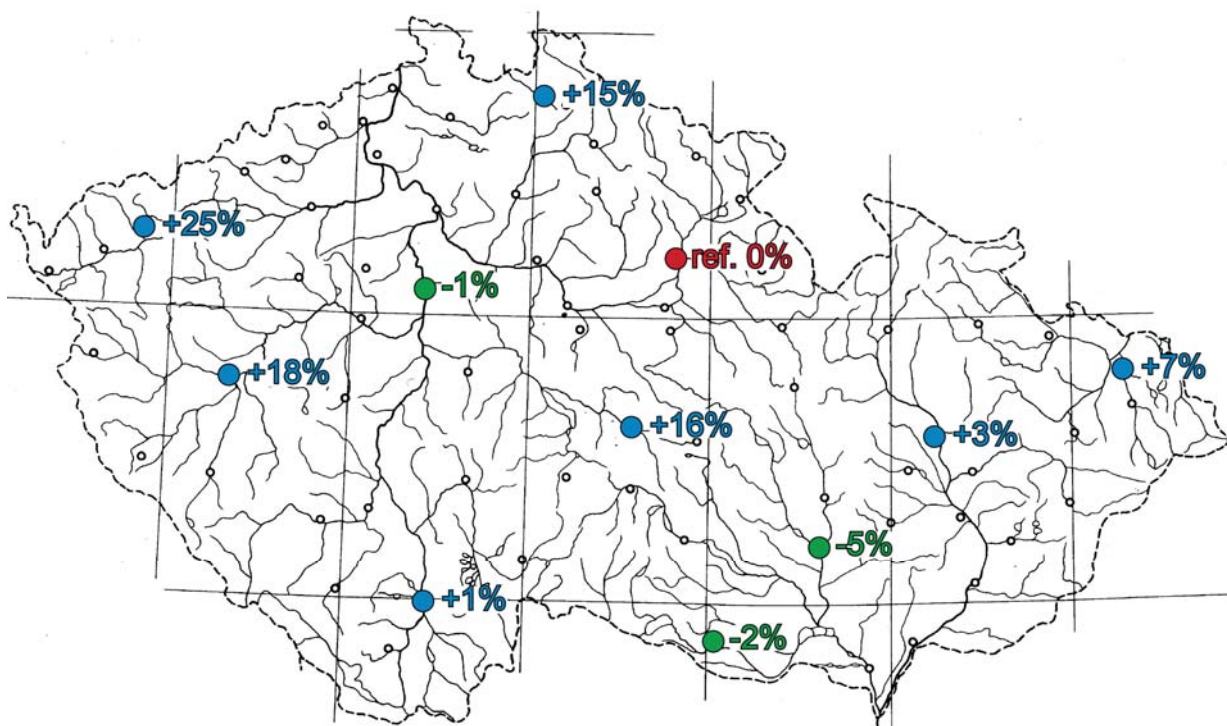
Zvažovaná vytápěná plocha je obdobou užitné plochy domu. V tomto případě je dosažena jako 75 % plocha z celkové plochy patra, tzn. že pro konstrukce (příčky, nosné stěny, atd.) vychází plocha 25 %. Tyto hodnoty jsou skutečně ověřeny na několika typech staveb pro bydlení. Počty osob jsou podle PHPP, tj. dle vytápěné plochy (na každou osobu připadá 35 m²). Vnější prosklené výplně (okna) splňují přísné standardy pro úsporné stavby s nízkým součinitelem prostupu tepla včetně vysoké prostupnosti solárního záření (60 %) s požadovaným ukotvením v rámci izolace. Zvažovány jsou okna čtvercového tvaru a jejich velikosti odpovídají „běžným velikostem“ u staveb pro bydlení. Každá orientace fasády má trochu odlišnou velikost, která je odvozena z podílu plochy rámu a skla, tj. na jižních plochách jsou většinou navrhovány větší prosklené plochy než například na severu.

Jako referenční klima byly zvoleny klimatické údaje pro Hradec Králové, toto podnebí je i ukotveno v české TNI 73 0329(30):2009. Pro posuzování byly zvoleny dvě nejrozdílnější oblasti, které mají obsaženy klimatické údaje v PHPP a to je klima pro Hradec Králové a Karlovy Vary. Změny parametrů jsou vyhodnocovány ve dvou klimaticky odlišných lokalitách a tím je obsaženo více než 80 % zastavitelného území v ČR [4].

4 Vlivy umístění stavby

4.1 POLOHA STAVBY

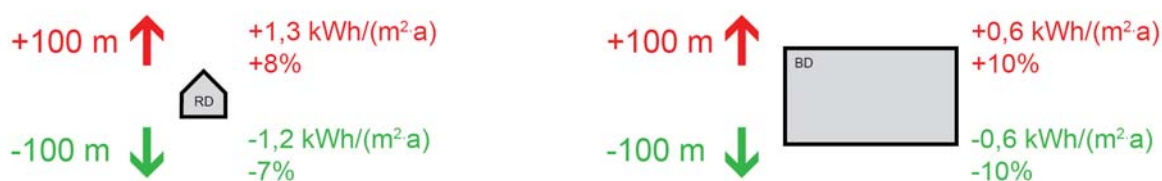
4.1.1 Umístění stavby v rámci České republiky



obr. 4.1 Schematické znázornění vlivu polohy úsporné stavby v rámci ČR

Nejdůležitějším faktorem variability klimatu ČR zůstává pestrá výšková členitost. Průměrná teplota vzduchu je silně závislá na nadmořské výšce. Zatímco na nejvyšší hoře ČR Sněžce (1602 m) činí jen 0,4 °C, v nížinách jihovýchodní Moravy dosahuje téměř 10 °C. Nejvyšší průměrné teploty vzduchu vykazuje i Praha, kde k oteplení přispívá vliv městského klimatu – tzv. „tepelného ostrova“. Dle celkové mapy České republiky je patrné, že lokalita Brno je nejvhodnější a stavby mají nejnížší potřebu tepla na vytápění. Znojmo, které je více na jihu, je o cca 100 m výše, tzn. má nižší průměrnou teplotu, která tuto oblast mírně znevýhodňuje. Hlavním poznatkem je, že architekt musí zohlednit danou lokalitu, ve které bude pasivní dům navrhovat a reagovat přímo na místní klimatické podmínky. Od této volby se odvíjí i cenová náročnost a například díky špatnému rozhodnutí se energetický standard budovy zhorší až o 25 %. Je jasné, že pro výběr je třeba zvážit mnoho dalších kritérií.

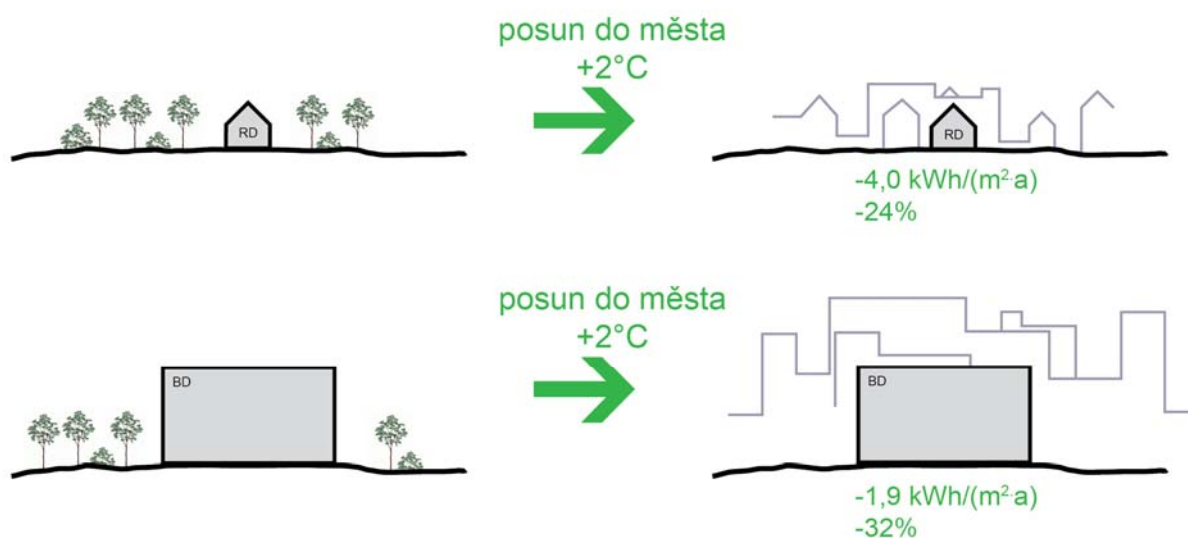
4.1.2 Korekce nadmořské výšky



obr. 4.2 Schematické znázornění vlivu korekce nadmořské výšky na RD a BD

Nejvyšším bodem je hora Sněžka (1602 m n.m.) v Krkonoších, nejvýše položené sídlo je Filipova Huť v okrese Klatovy (1 093 m n.m) a nejnižše položené místo je Labe na odtoku ze země u Hřenska (115 m n.m.) [12]. Z různých měření je známo, že na každých 100 m výšky klesá průměrná roční teplota o 0,6 °C (vertikální teplotní gradient [5]), se kterou i počítá PHPP. Dům může být dobře umístěn, ale pokud je špatně zaměřena jeho výška, tak vznikne chyba.

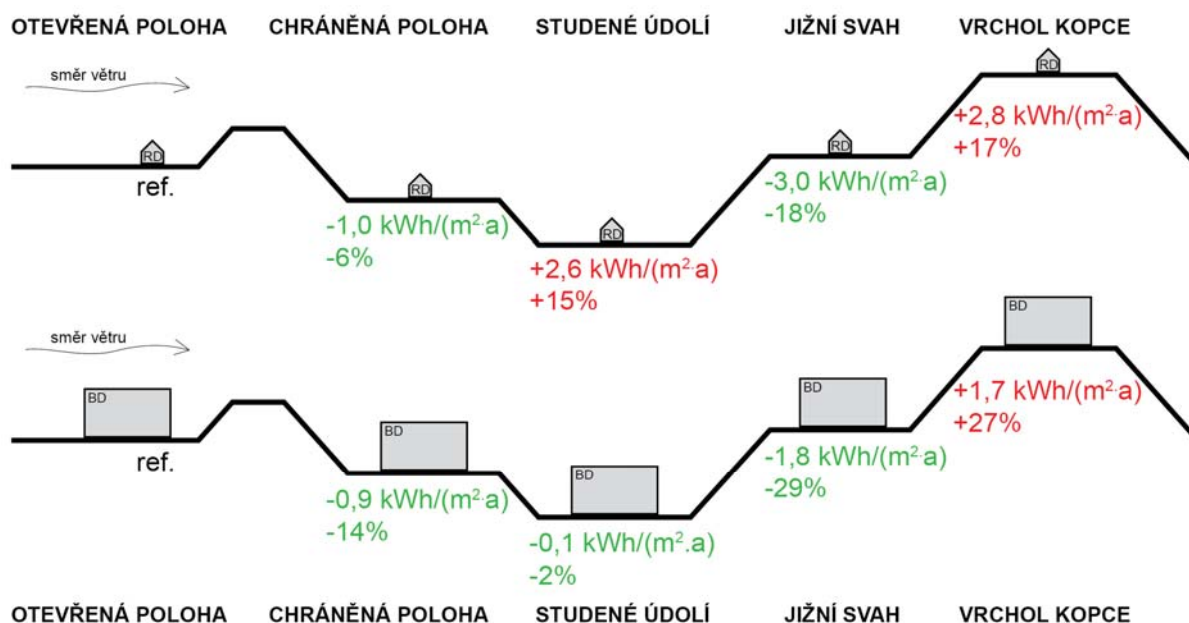
4.1.3 Korekce okolní teploty



obr. 4.3 Schematické znázornění vlivu korekce okolní teploty na RD a BD

Pro energetickou bilanci domu je rozdíl, zda-li stojí ve volné krajině nebo ve městě. Tomuto „městskému jevu“ se odborně říká městské tepelné ostrovy a tou je městská zástavba, která vykazuje znatelně vyšší teploty než její okolí.

4.1.4 Geografické umístění stavby

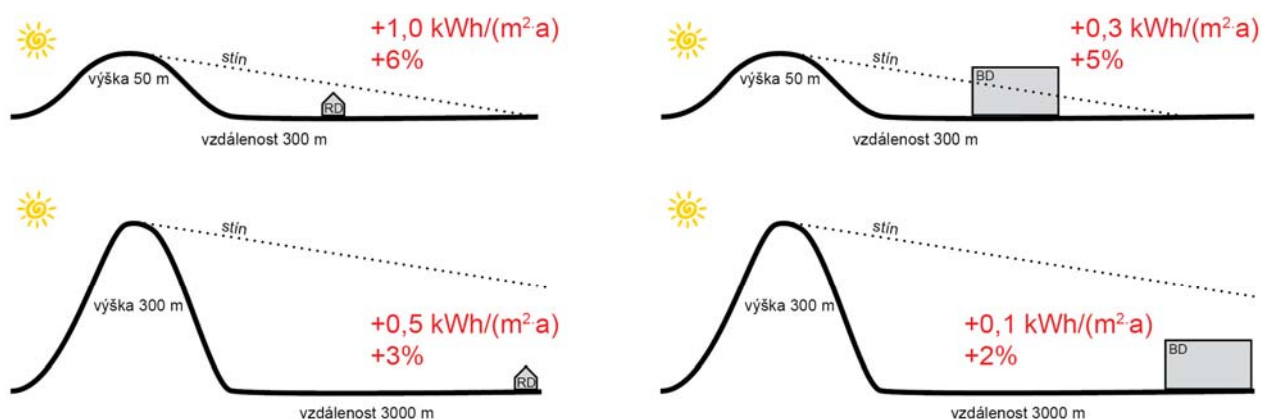


obr. 4.4 Schematické znázornění vlivu geografického umístění RD a BD

Střední nadmořská výška České republiky je 430 m n.m., což je na evropské poměry o cca 140 m nadprůměr (průměrná výška Evropy je 290 m n.m.). Čechy mají střední nadmořskou výšku 465 m n.m. a Morava se Slezskem 416 m n. m [13]. Pro návrh úsporné stavby je nutné zvážit lokální klimatické podmínky, které vychází z dané geografické polohy a topografie terénu. Terén se někdy chová velmi „neklidně“ a architekt by měl dokázat využít terénních vln pro umístění domu. Teplota může kolísat v závislosti na umístění i o několik stupňů. Ve studeném údolí nastává efekt „studené vany“ kde klesá vzduch z okolních kopců.

4.2 SITUACE V URBANISTICKÉM KONTEXTU

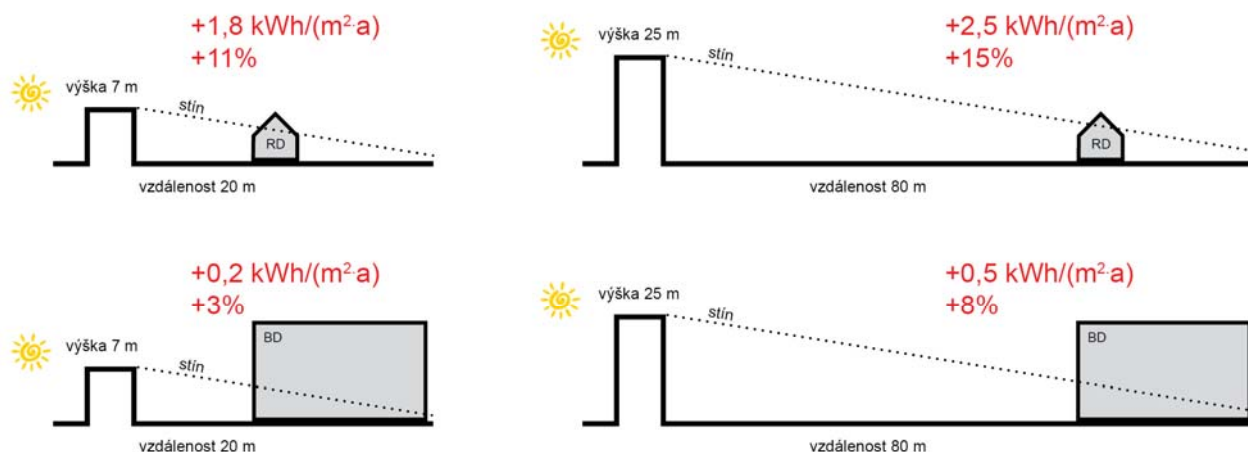
4.2.1 Stínění okolních kopců



obr. 4.5 Schematické znázornění vlivu stínění okolních kopců na RD a BD

Důležitou složkou je zohlednění stínění okolních kopců. Tato položka se u drtivé většiny staveb vůbec nezapočítává (prakticky nikdo se nedívá do situace širších vztahů, kde by byly zakresleny okolní kopce do vzdálenosti cca 5 km. Stínění kopců je nevyšší hned u paty kopce a jeho vliv klesá do vzdálenosti v přímé úměře, tj. intenzita stínu klesá s druhou mocninou vzdálenosti.

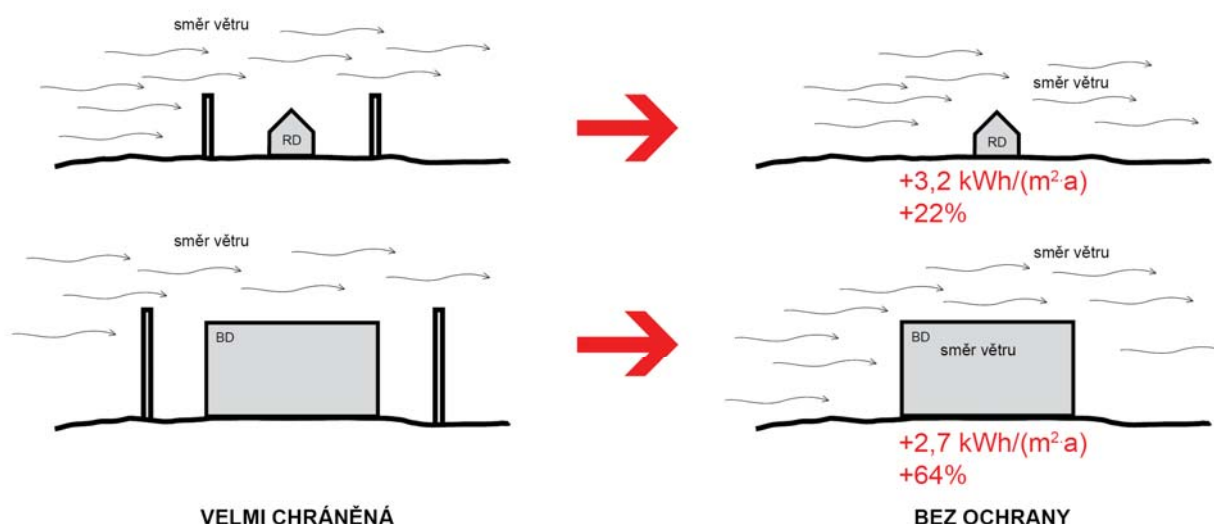
4.2.2 Stínění okolními budovami



obr. 4.6 Schematické znázornění vlivu stínění okolními budovami na RD a BD

Vliv stínění okolními budovami je obdobný problém jako stínění okolními kopci avšak s mnohem výraznějším efektem. Zastínění menšími stromy a obrostlou zelení jako je vinná réva a podobně, může být i výhodné, jestliže se jedná o rostliny a stromy v zimě opadající. V létě tvoří příjemný stín a v zimě pro změnu volně propouštějí sluneční záření [2]. K pochopení základních vztahů chování je třeba znát trajektorii Slunce a jeho polohu na obloze během proměny ročních období.

4.2.3 Větrná expozice stavby

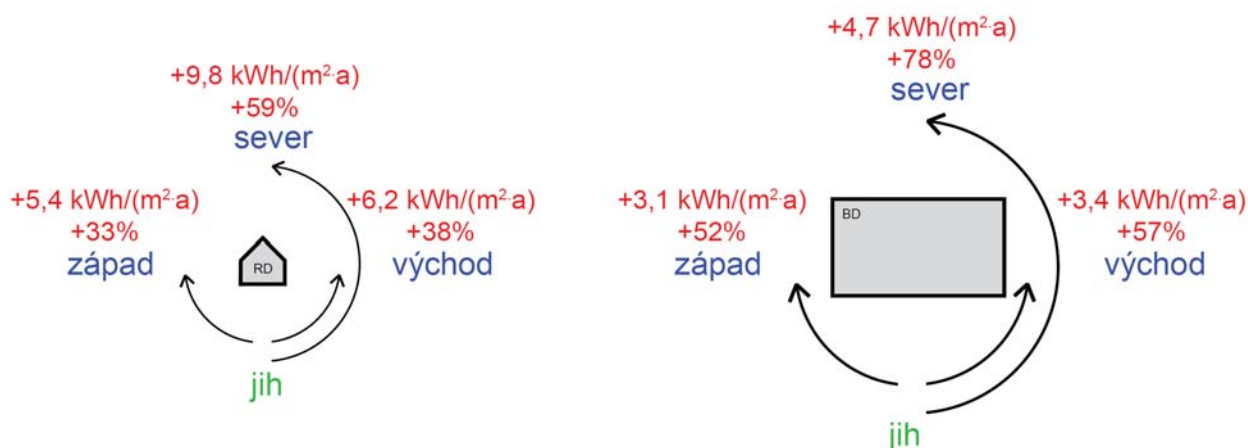


obr. 4.7 Schematické znázornění vlivu větrné expozice na RD a BD

Výměnu vzduchu zajišťují rozdíly způsobené gravitačním vztlakem, dynamickým účinkem větru a obecně tlakovými rozdíly mezi vnějším a vnitřním prostředím. Budovy s členitou vnitřní dispozicí a fasádou s četnými otvory jsou vystaveny rozdílnému působení tlaku větru, který je závislý na poměrné velikosti otvorů a konkrétním směru působení větru.

4.3 ORIENTACE STAVBY

4.3.1 Orientace ke světovým stranám



obr. 4.8 Schematické znázornění vlivu orientace na RD a BD

Vhodná orientace budovy na pozemku je velmi důležitá. V ideálním případě by měl dům stát na pozemku nestíněn, hlavní fasádou s největší prosklenou plochou otočen směrem k osluněné straně (od jihovýchodu přes jih po jihozápad). To kromě výhody využívání pasivních solárních zisků skrývá i riziko přehřívání budovy, a je proto zapotřebí pečlivě navrhnout stínící prvky. Na omezení slunečního příspěvku reagují pasivní domy velmi citlivě – pootočením jižně orientované hlavní fasády pasivního domu o 90° směrem na východ nebo západ, by se jeho potřeba tepla mohla zvýšit až o 145 %, v případě nízkoenergetické stavby by to bylo o 105 % [14]. Pro osazení do terénu platí zásada přípustné odchylky od jižní azimutální orientace do $22,5^\circ$. Ze zkušeností se ukazuje, že pootočení domu o 30° a více stupňů oproti geografickému jihu znamená v ČR nemožnost dosažení pasivního domu.

5 VLIVY GEOMETRIE STAVBY

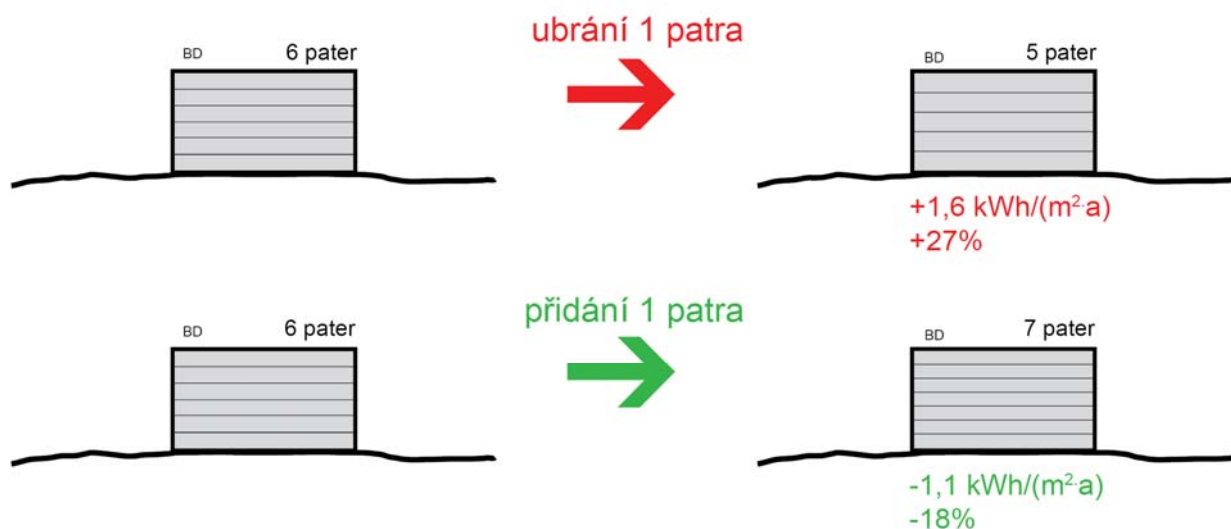
5.1 TVAR STAVBY

5.1.1 Tvar a velikost stavby



Jak je z předchozích úvah zřejmé, tvar a velikost stavby explicitně určují celkovou energetickou bilanci stavby. V ideálním případě by se měl faktor tvaru pohybovat kolem $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$. Faktor tvaru nelze moc přeceňovat, protože má pouze velmi orientační charakter a ukazuje „předpoklady“ stavby pro energetickou bilanci. A/V totiž neříká nic jiného o dalších parametrech, které jsou rovněž podstatné.

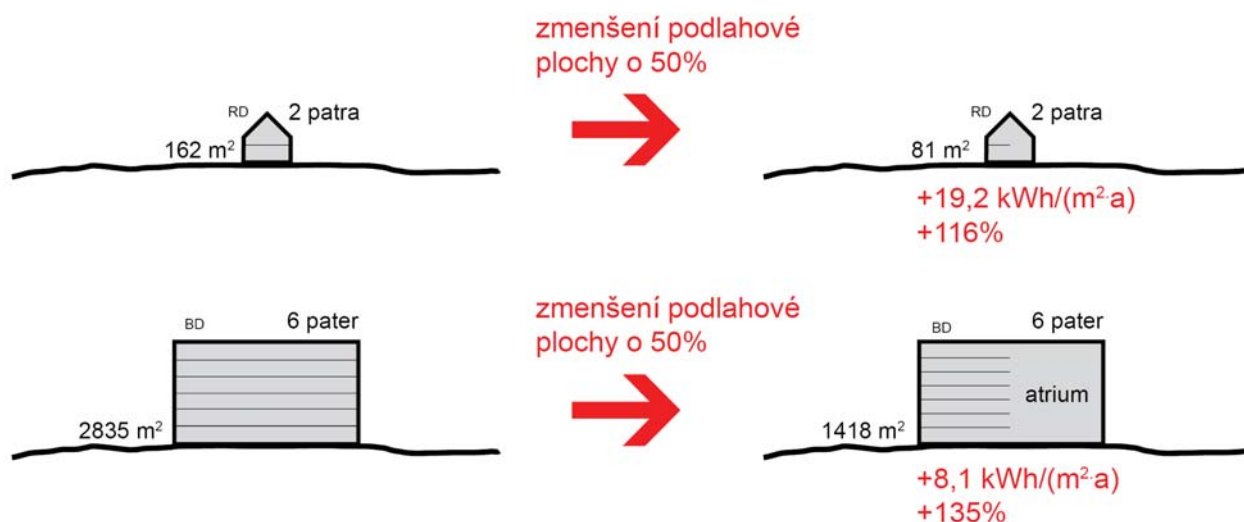
5.1.2 Korekce podlažnosti



obr. 5.2 Schematické znázornění vlivu podlažnosti na BD

Zajímavá je teoretická úvaha, která staví na tom, že lze konstrukční výšku domu měnit a tím buď přidat nebo ubrat jedno. Díky těmto změnám dochází ke zmenšení, nebo zvětšení užité (vytápěné) plochy, ale obalová plocha domu, tj. plocha všech okolních konstrukcí, zůstává stejná. Tepelná ztráta domu je stejná, ale jelikož se určuje měrná potřeba tepla na vytápění, která je vztažná k vytápěné ploše, proto se mění i potřeba tepla. Je to způsobeno díky měnícím se poměrům mezi ochlazovanou a vytápěnou plochou.

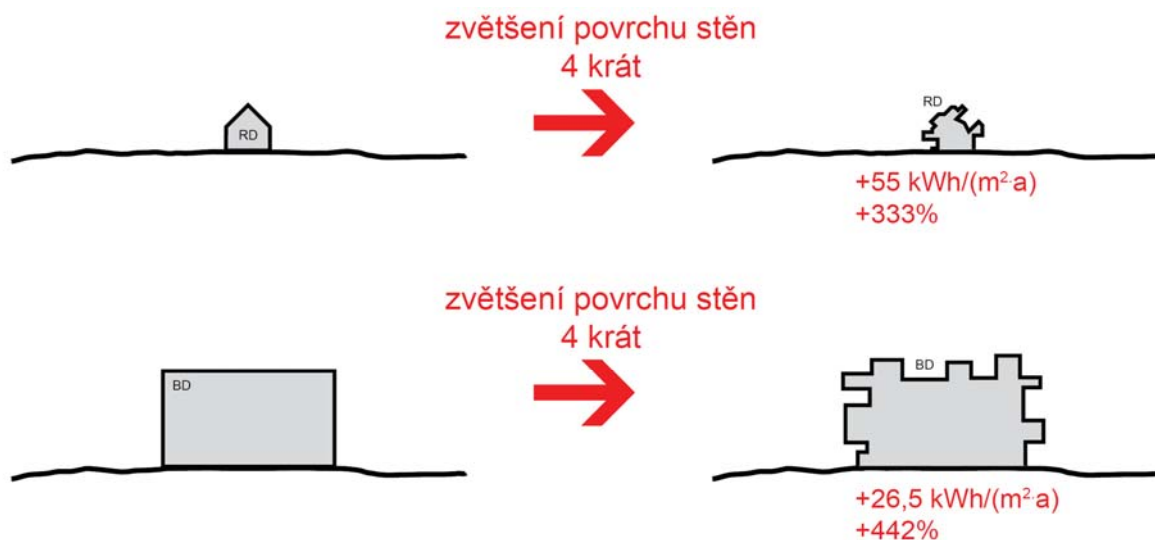
5.1.3 Korekce podlahové plochy – atrium



obr. 5.3 Schematické znázornění vlivu korekce podlahové plochy na RD a BD

Atrium, nebo-li vnitřní prostor spojující minimálně jedno podlaží v otevřený, přehledný a logický celek, má jednu nevýhodu, kterou architekti nezdědky podceňují. Snižuje praktickou využitelnost objektu a tou je užitná (vytápěná) plocha domu.

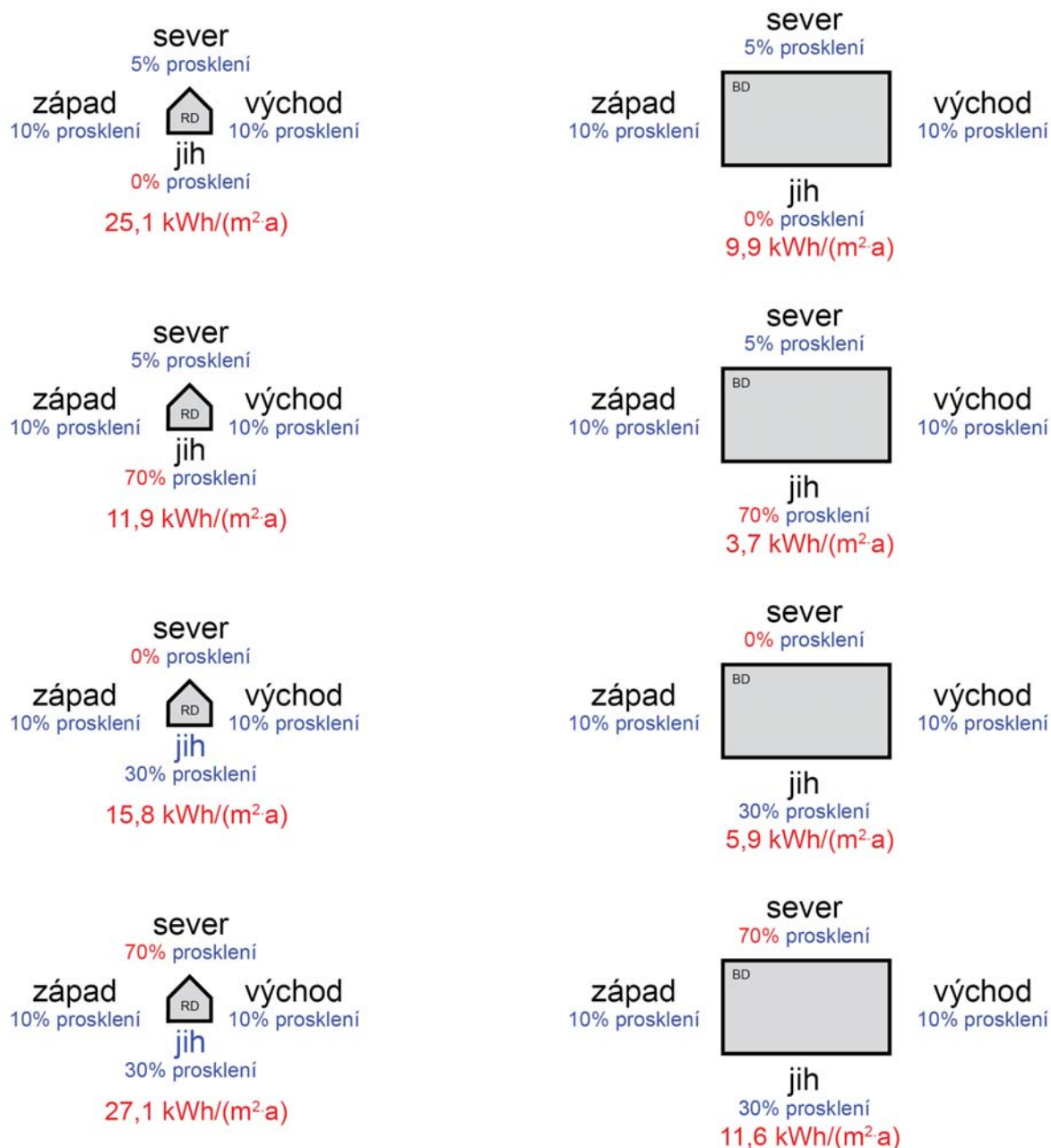
5.1.4 Kompaktnost stavby



obr. 5.4 Schematické znázornění kompaktnosti na RD a BD

Tvarová kompaktnost ve značné míře přispívá ke snižování potřeby tepla na vytápění. Určitě není možné nějakým způsobem absolutně optimalizovat tvar budovy vzhledem k tomuto jedinému parametru. Stojí za to prověřit několik vhodných tvarových a velikostních variant použitelných pro daný účel budovy z tohoto hlediska. Větší a kompaktní budovy mají chování podle očekávání relativně lepší.

5.2 PROSKLENÍ FASÁD STAVBY



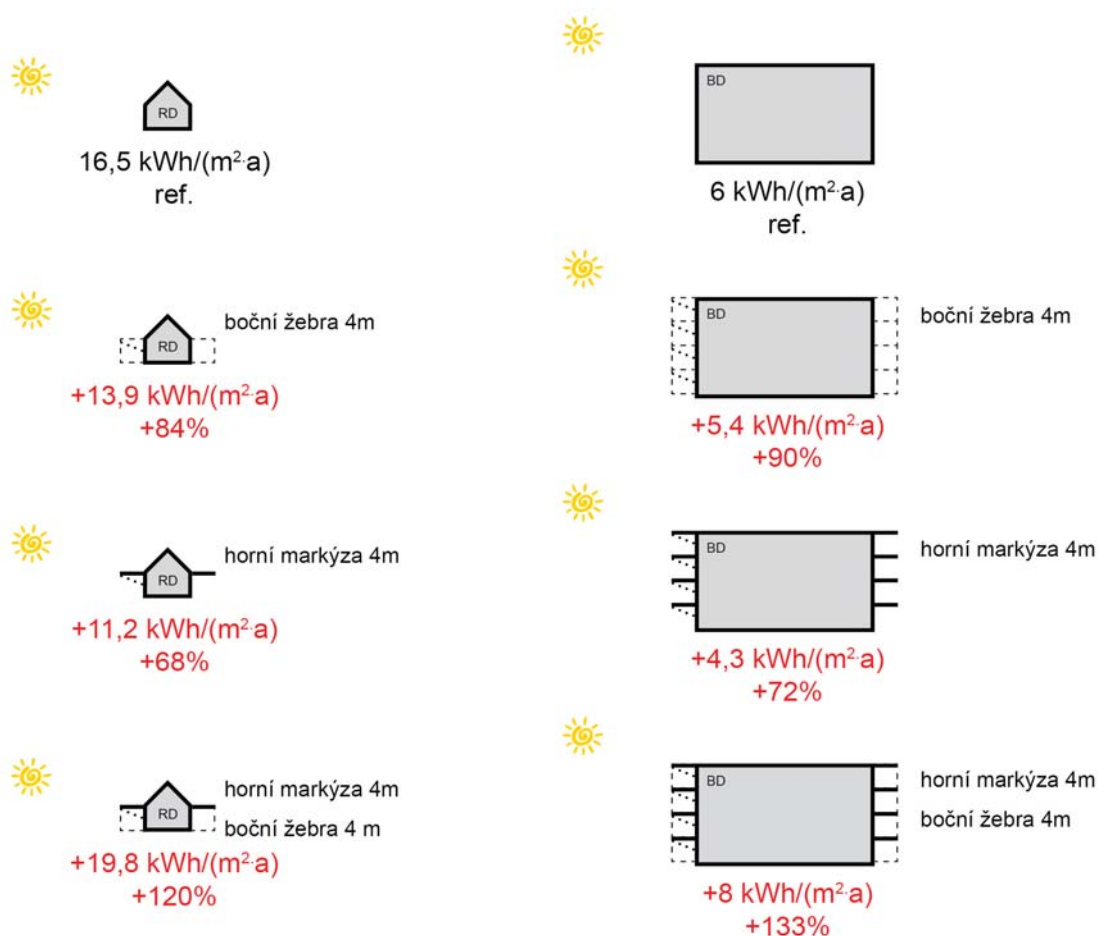
obr. 5.5 Schematické znázornění vlivu prosklení fasády na RD a BD

Díky pasivnímu solárnímu získávání tepla lze v úsporném domě pokrýt cca 40 % zbytkové potřeby tepla. Velikost prosklení nesmí být neúměrná. Ztráty díky okenním plochám jsou přibližně šestinásobné oproti netransparentním prvkům

obvodového pláště. Podíl prosklených ploch na jižní fasádě by se měl pohybovat od 25 % do 40 %. Při zohlednění klimatických podmínek lze dosáhnout menší nebo větší plochu prosklení (od 10 do 60 %). Poměr prosklení na východní a západní fasádě by neměl přesáhnout 10 % podlahové plochy přilehlých místností. Největší pozitivní reakce dochází u zvětšování oken na jižní straně a největší negativní reakce při zvětšování oken na severu. Západní a východní orientace nepřináší nějaké velké změny, takže skutečně nelze říci, že nám bilančně pomáhají.

5.3 STÍNĚNÍ STAVBY

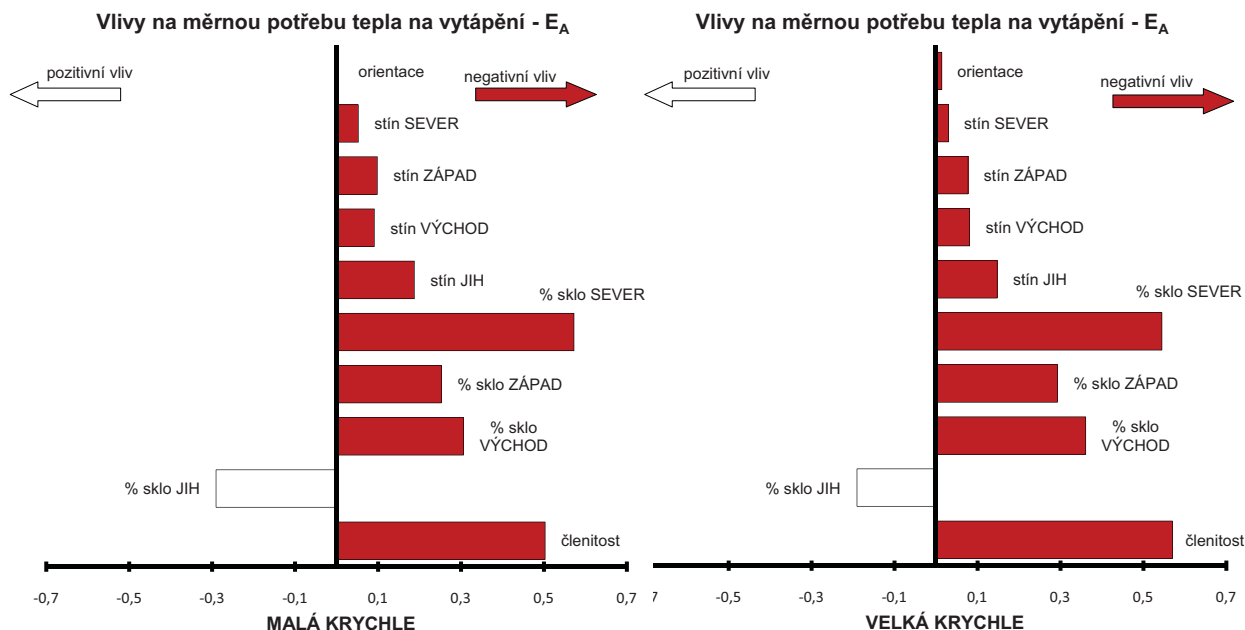
5.3.1 Stínění horní markýzou a bočními žebry



obr. 5.6 Schematické znázornění vlivu stínění horní markýzou a bočními žebry na RD a BD

Stínicí prvky zajišťují, kromě tradiční funkce ochrany soukromí, především ochranu před negativními vlivy vnějšího prostředí. U nově budovaných objektů, jejichž stěny jsou z velké části prosklené, by měla být protisluneční ochrana věnována mimořádná pozornost již v jejím prvotním návrhu. Velmi zajímavou a podstatnou možností je pevné stínění ve formě slunolamu, markýzy, či balkonu. Díky rozdílné výšce Slunce nad obzorem v létě a v zimě lze při správném poměru výšky okna a délky stínicího zařízení docílit toho, že zatímco v létě překážka stíní, v zimě již ne. Na jižní fasádě je tato optimální délka 1,2 - 1,7 krát větší než je výška okna [15].

5.4 VÝZNAMNOST JEDNOTLIVÝCH PARAMETRŮ

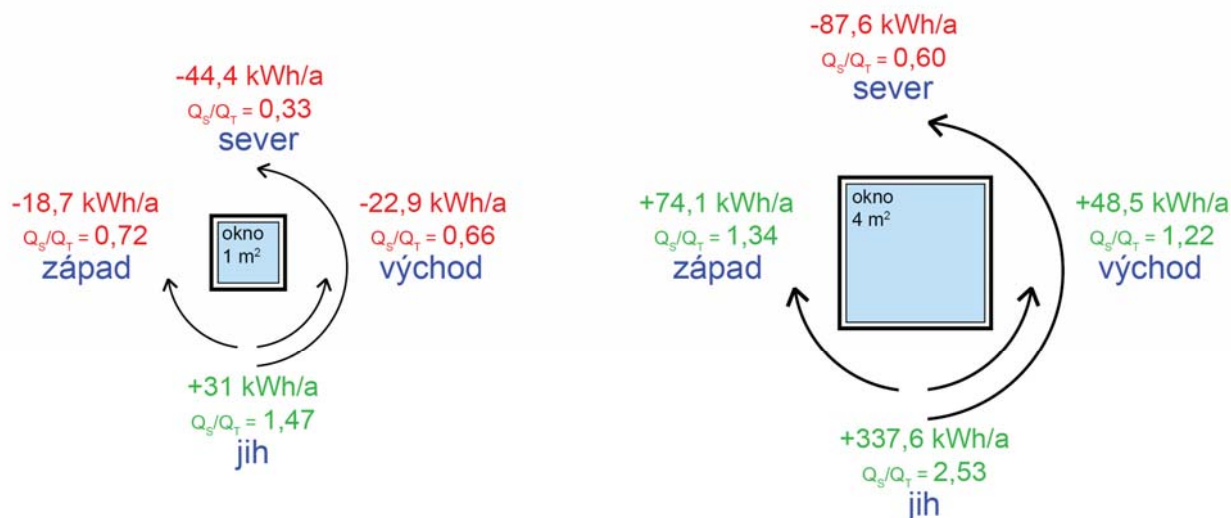


obr. 5.7 Vliv významnosti posuzovaných parametrů na měrnou potřebu tepla na vytápění E_A –STANDARDNÍ POSOUZENÍ (klíma HK)

Cílem této části je využití metody komplexního hodnocení alternativ, jako metod multi-kriteriálního rozhodování pro řešení úlohy výběru optimální varianty potřeby tepla na vytápění E_A . V rámci makra ve VBA se stanovují okrajové podmínky a limity pro 10 nezávislých proměnných a na bázi stochastického modelu s rovnoměrným rozložením pravděpodobnosti vyhodnocuje pomocí metody Monte Carlo (15000 iterací) a citlivostní analýzy (Pearsonův korelační koeficient) vliv významnosti jednotlivých parametrů. Pro vyhodnocení významnosti byla zvolena metoda Monte Carlo [16], která je nejčastějším typem citlivostní analýzy.

6 Vlivy ARCHITEKTONICKÝCH PRVKŮ

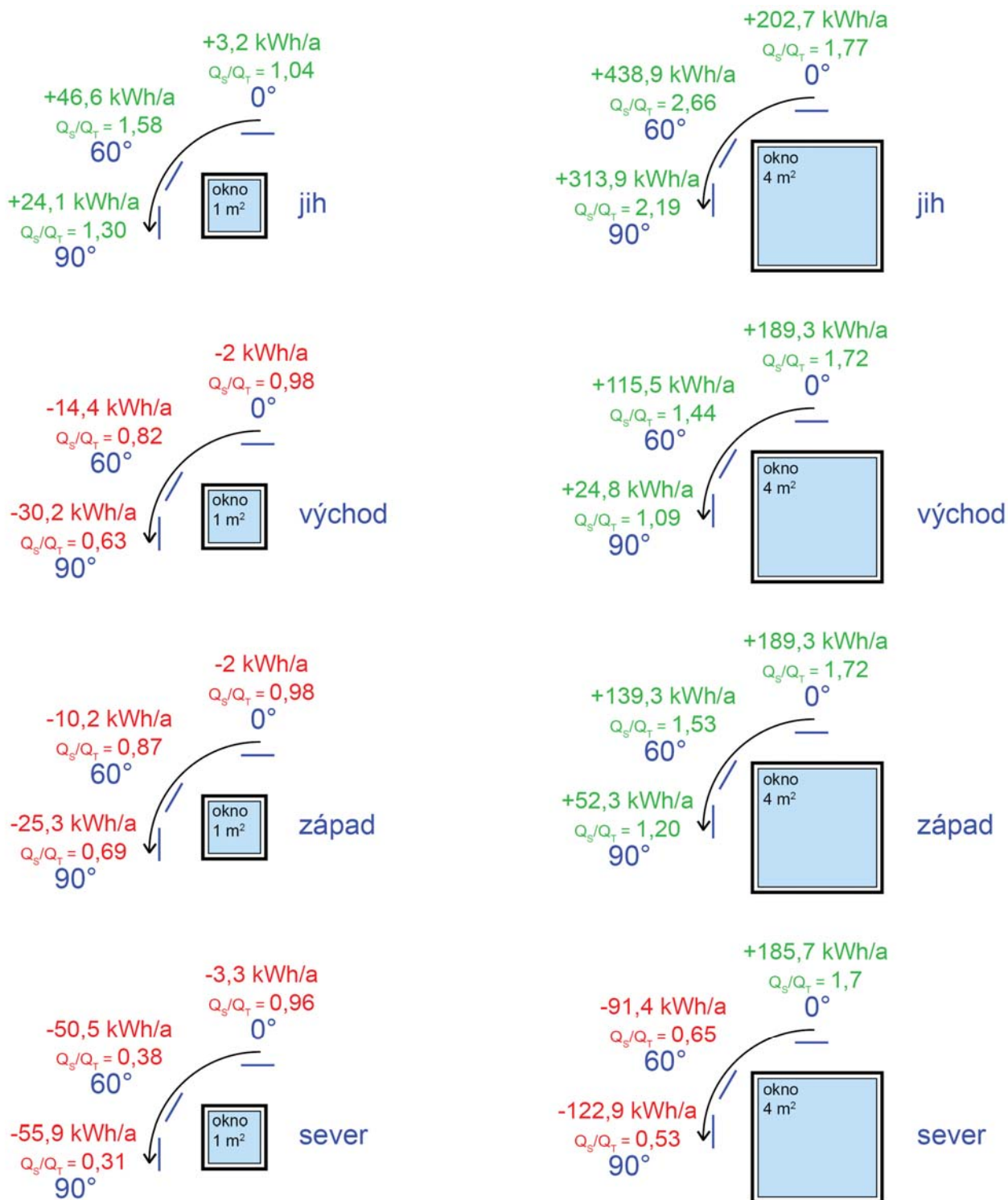
6.1 ORIENTACE SVISLÉ OKENNÍ PLOCHY



obr. 6.1 Schematické znázornění vlivu orientace svislé plochy

Pro vyhodnocení efektivnosti oken je posuzován poměr Q_S/Q_T [-], který je buď větší než 1, tzn. vyplatí se zvětšovat rozměry a okno působí pozitivně, anebo je menší než 1, tzn. při zvětšování rozměrů okno účinkuje negativně. Druhý ukazatel je $Q_S - Q_T$ [kWh/a], který porovnává rozdíl absolutních hodnot tepelných zisků a ztrát. Ukazuje, jakou hodnotou prosklená plocha přispívá do toků energie.

6.2 VERTIKÁLNÍ NAKLÁPĚNÍ OKENNÍ PLOCHY



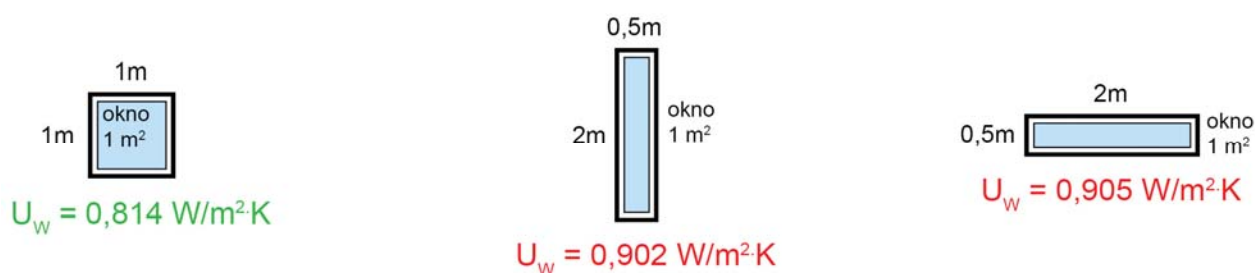
obr. 6.2 Schematické znázornění vlivu naklápění okenní plochy

Posuzování vertikálního naklání oken simuluje střešní okna. U pasivních staveb nejsou střešní okna příliš vhodná, ale přesto lze v některých případech o nich uvažovat. Je třeba respektovat a účelně zabránit letnímu přehřívání stavby (hrozí i při západní a východní orientaci) a zvážit jeho polohu. Jako ideální je odklon od horizontu 55° , kdy je maximální podíl Q_S/Q_T u velkých oken až cca 3, tj. trojnásobek tepelných zisků oproti tepelným ztrátám). Při těchto hodnotách je minimální stínění ostěním okna (je menší než u klasického okna, neboť střešní okno je usazeno v rovině izolace) a sklo je kolmé na normálu globálního záření a tím jsou poskytovány nejvyšší sluneční zisky. Pokud se okno natočí do svislé polohy, tak zisky teoreticky poklesnou cca o třetinu, tento deficit se prakticky „dožene“ lepším usazením a U_g skla se zvýší.

Nikdy se u navrhování prosklených otvorů nesmí zapomenout, že konečný efekt osvětlení prostoru je vždy v pochopení symbiózy velikosti okna, jeho tvaru a prostorového umístění, což není záležitost jen fyzikální, ale především psychofyzická.

6.3 VELIKOST A PROPORCE OKENNÍ PLOCHY

6.3.1 Vliv na celkový součinitel prostupu tepla okna U_w , eff

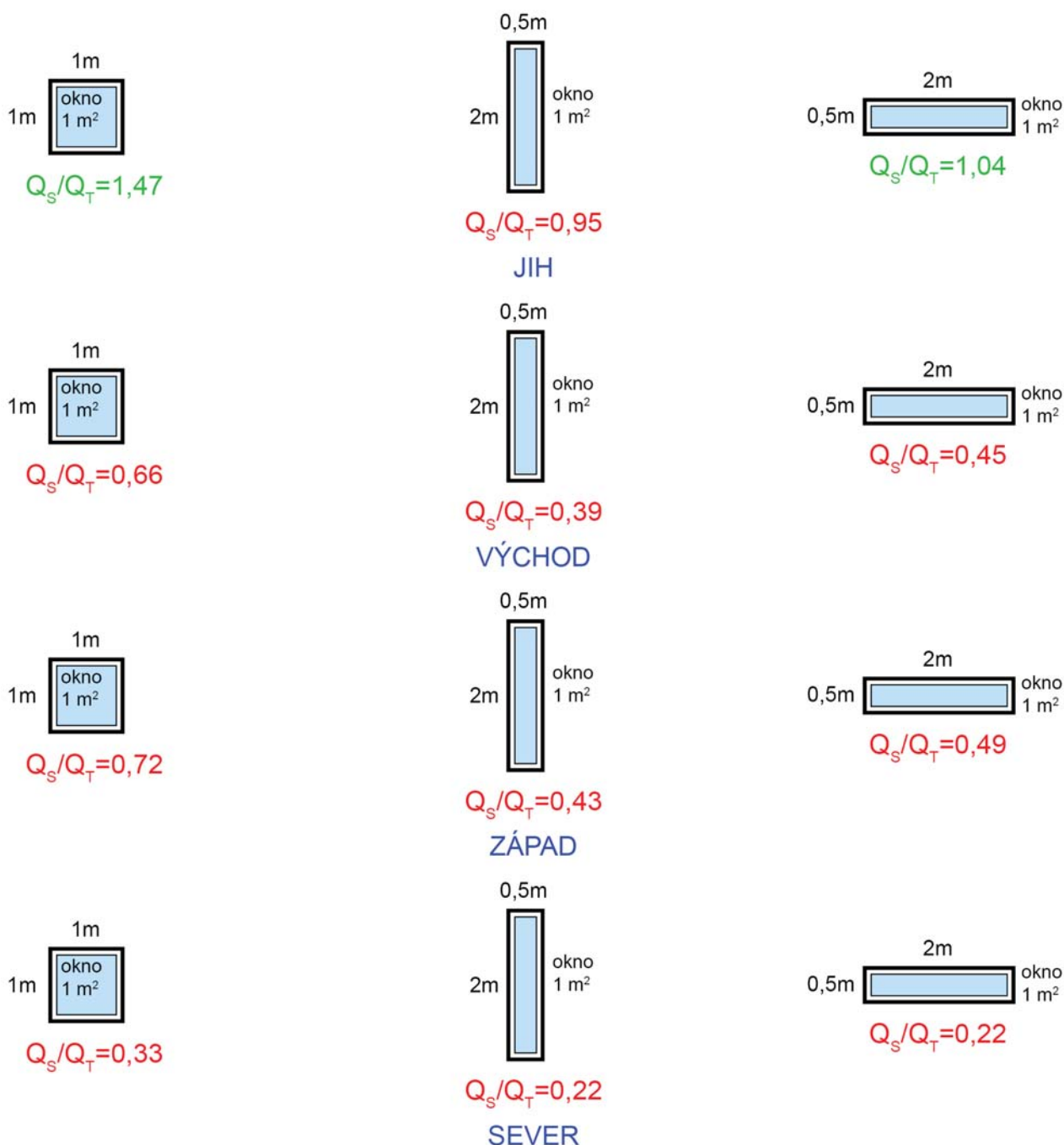


obr. 6.3 Schematické znázornění vlivu rozměrů a proporcí okna na U_w

Pro pasivní standard je na okno definován požadavek $U_{w,\text{eff}} = \text{max. } 0,85 \text{ W/(m}^2\text{K)}$, tj. hodnota celkového součinitele prostupu okna včetně ukotvení do konstrukce [8]. Tento požadavek je pro dnešní okna celkem přísný a klade důraz na kvalitní rámy, sklo a vzduchotěsné napojení do zdi v šířce izolace. Součinitel je nezávislý na orientaci okna, ale na jeho velikosti a proporcích a samozřejmě kvalitě okna, atd.

Malá okna nemají šanci splnit požadavek, protože mají malý poměr skla k rámu, tzn. „obsahují“ příliš velkou plochu rámů. Naopak velká okna od 1 m^2 dosahují tento standard vždy, ale je ještě třeba dbát na proporce. Jako ideální se ukazuje „průměrný“ čtvercový tvar, ostatní proporce jsou méně výhodné.

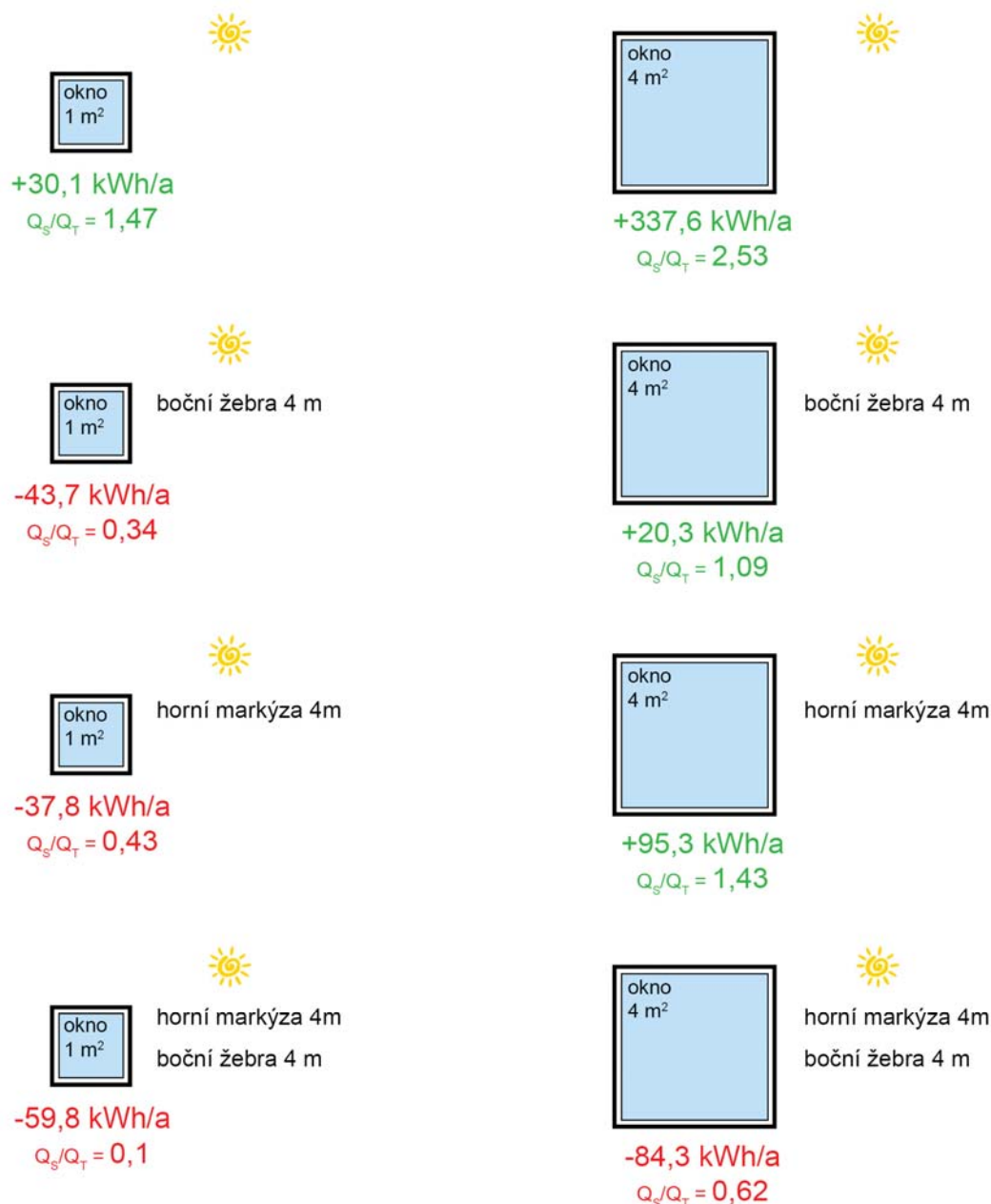
6.3.2 Vliv na energetickou bilanci okenní plochy



obr. 6.4 Schematické znázornění vlivu rozměrů a proporcí okna na jeho energetickou bilanci

Tato část se zabývá vzájemnou závislostí mezi velikostí a proporcí okna a jeho orientací. Jižní strana je skutečně ta hlavní a u prosklených ploch nad 1 m^2 jsou různé proporce „dovoleny“, protože jejich kladný potenciál je na jižní straně vysoký. Okno se dá zvažovat za výhodné, pokud má Q_s/Q_t vyšší než jedna, ale po zohlednění dalších faktorů (samostínění, atd.) by mělo mít alespoň $Q_s/Q_t = 1,1$. Zde stojí za povšimnutí, že okna na výšku mají slabší solární zisky a tím pádem nižší hodnoty energetické bilance Q_s/Q_t . V reálné rovině lze vybírat pouze okna, která mají minimálně jeden rozměr cca 1,4 m, aby sluneční zisky převažovaly nad tepelnými ztrátami.

6.4 STÍNĚNÍ HORNÍ MARKÝZOU A BOČNÍMI ŽEBRY



obr. 6.5 Schematické znázornění vlivu stínění markýzou a bočními žebry

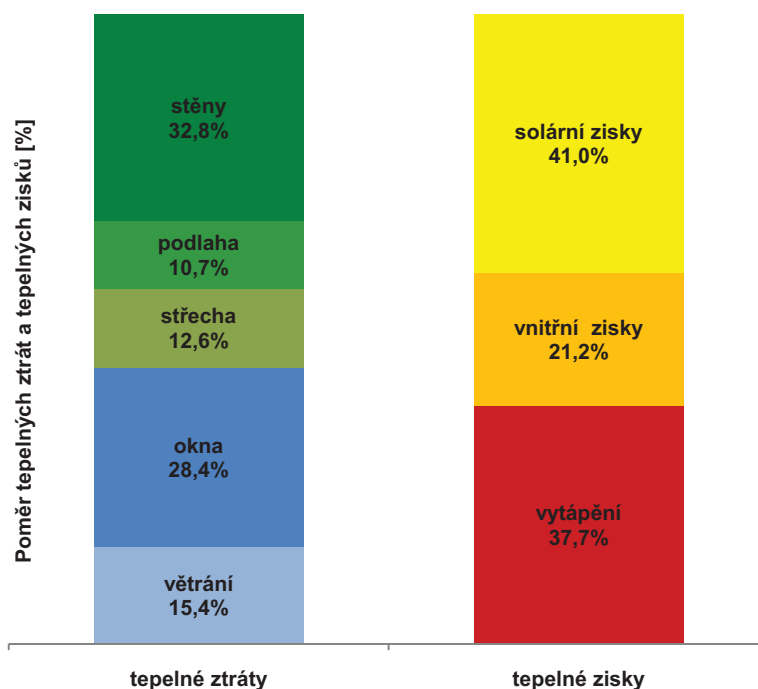
Tato část dizertační práce sleduje vztah mezi významem stínění na okno a jeho velikost. Specializuje se pouze na orientaci směrem na jih, která je nejvýraznější a zároveň nejproblematictější z pohledu stínění. Jak je již výše napsáno, tak proporce a především velikost okna má vliv na prvotní bilanci energií Q_s/Q_T , tedy již na počátku nejsou stejné podmínky a malá okna jsou v nevýhodě. Boční žebra mají větší vliv než horní markýza. V extrémním případě mají okna 6 m² bilanci 2,81, při stínění bočními žebry 4 m dlouhými se Q_s/Q_T sníží na 1,40 a při stínění markýzou „pouze“ na 1,77.

Z předchozích zjištění je prokázáno, že navrhování prosklených ploch není tak jednoduchou záležitostí. Je skutečně třeba brát v úvahu nejen rozměry oken, orientaci a jejich kvalitu, ale i vzájemné proporce a otevíravost křídel.

7 PŘÍKLAD ENERGETICKÉ OPTIMALIZACE

Tato část dizertační práce ukazuje reálný příklad optimalizace návrhu pasivního domu. Rozdíl mezi čistě teoretickou prací a skutečnou praktickou ukázkou je v tom, že cílem teoretické práce je poznatky zobecnit na co nejširší portfolio domů. Právě díky tomuto nelze postihnout drobné nuance, na kterých praktická optimalizace stojí. Cílem této části je ukázat, jaké možnosti se při fázi studie úsporného domu vyskytují. Pokud se dům „ladí“ v další části projektu, tak již nelze dobře měnit zásadní rozhodnutí a výsledek lze upravit o podstatně menší část, než právě zde – ve studii.

Pro názornou ukázkou je zvolena stavba středně velkého rodinného domu, který je navrhován do pasivního standardu, tj. do $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Je navržen kompaktní tvar stavby orientovaný na jih s odklonem 8° na západ. Snahou je vyhovět daným regulativům, a tak je zvolený půdorysný tvar, který se blíží čtverci s delší stranou k jihu s ohledem na maximalizaci slunečních zisků.



obr. 7.1 Celková energetická bilance ukázkového domu

Aby se dům této hodnotě co nejvíce přiblížil, tak je nezbytné ho energeticky vyhodnotit. Nyní začínají nejzajímavější části optimalizace. V této části je ukázka, jak se dům chová, pokud uděláme nějaké „korekce“ a původní referenční stav $15,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ změníme. Posuzován je nárůst nebo snížení měrné potřeby tepla na vytápění v absolutních hodnotách.

Optimalizační změny:

- Pokud se dům posune do jiné lokality, tak změna naroste, neboť Brno je v klimaticky příznivé poloze (ideální). Jako nejobtížnější lokalita se ukazují Karlovy Vary, kde je nárůst o $5,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což je změna o 34 %.

- Zvýší-li se počet osob z pěti na šest, tak potřeba vzroste o $0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, protože se zvýší vnitřní zisky od lidí, ale vzrostou nároky na větrání, které jsou významnější; pokud teoreticky v domě bude 10 lidí po celý rok, tak se zvýší o $2,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.
- Pokud bude dům velmi dobře chráněn proti větru, tak se potřeba sníží o $2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, ale pokud dům bude v hodně větrné poloze, tak potřeba vzroste o $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.
- Vzduchotěsnost domu je zvažována na $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$, ale pokud by klesla na výbornou hodnotu $0,2 \text{ h}^{-1}$, tak se potřeba sníží o $1,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.
- Pokud se na jižní straně přidá jedno okno 4 m^2 (včetně určitého stínění pergolou), tak se potřeba sníží o $1,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$; pokud se okno přidá na východu, tak se potřeba zvýší o $0,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ a pokud se přidá na sever, tak se potřeba zvýší o $0,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.
- Pokud se zanedbá stínění sousední stavbou z jihu a od staveb z okolí, tak se potřeba sníží o $3,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což je velká hodnota. Proto se stínění hlavně z jižní části do 50 m nesmí nikdy podcenit.
- Pokud se před jižními okny vyskytne stínící překážka vysoká 10 m ve vzdálenosti 10 m a „nekonečně“ široká, tak se potřeba zvýší o $7,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, protože hodně stíní a na této části je hodně oken. Když se objeví na severu, tak se potřeba zvýší jen o $0,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, neboť má velmi malý vliv a na této straně jsou pouze tři malá okna.
- Pokud se v domě navrhne ve druhém patře atrium, které umožní průhled skrze strop a ubere vytápěnou plochu o 4 m^2 , tak se potřeba zvedne o $0,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ díky horšímu přepočtu na m^2 , i když jsou ztráty a zisky stejné. Naopak pokud se teoreticky sníží třeba tloušťka příček a podaří se zvýšit vytápěnou plochu celkem o 2 m^2 , tak se potřeba sníží o $0,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.
- Pokud se dům natočí o 45° na západ, tak se potřeba zvedne o $3,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což se dá za určitých podmínek akceptovat. Pokud se natočí o 90° na západ, tak se zvýší již o $7,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, což je hodně.
- Pokud se zvýší tepelně-izolační kvalita domu o 10 % u všech stěn, střechy a podlahy, tak se potřeba sníží o $1,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

Tyto hodnoty zlepšení se mohou zdát velmi malé, ale je třeba dbát na to, že návrh je ucelený systém a nelze podcenit žádnou část návrhu. Navrhnout pasivní dům do $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ je v našich podmínkách záležitostí hodnou zkušeného architekta ve spolupráci s dobrým projektantem. Při optimalizování je zřejmé, že potřeba tepla z původních $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ se dá po optimalizaci snížit na 15 až $20 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ za minimální vstupní výdaje. Samozřejmě součástí úprav je nadhled, zda-li se ještě vyplatí danou změnu realizovat, protože existuje mnoho parametrů, které jsou v nadřazenější rovině návrhu.

8 ZÁVĚR

8.1 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

Výzkum pracuje s matematickým virtuálním idealizovaným modelem optimalizovaným v software PHPP 2007 CZ a využívá „fenomén“ parametrických rovnic a citlivostní analýzy, díky kterým lze prezentovat výsledky.

V rámci práce je vytvořeno:

- 9 modelových staveb pro bydlení v programu PHPP s nastavenými parametry;
- 3 makra ve VBA pod MS Office propojená s PHPP, která automatizují některé procesy;
- nové grafické rozhraní do programu PHPP, které umožňuje čitelnější prezentaci výsledků;
- schematická znázornění umožňující lepší čitelnost a prezentovatelnost výsledků;
- tabulky a diagramy vyhodnocující parametry.

Jak již bylo zmíněno, každá stavba se chová energeticky jinak, a tak nelze zjištěné poznatky přesně zobecňovat. Právě tato vlastnost je kouzlo a krása architektury, protože se nemůže nikdy ideově vyčerpat. Je nekonečně mnoho variant tvarů a velikostí domů, jejich orientace a kvality stavby i vnitřního mikroklimatu. I přesto, díky užší specializaci na pasivní stavby pro bydlení, lze některé **poznatky vyčíst a zobecnit:**

- Počátek návrhu úsporné stavby je nejvíce „abstraktní složkou s velmi nejistými vstupy“, neboť spousta parametrů v té chvíli ještě je buď zcela neznámá, nebo není rozhodnutá na jistotu. A přitom první náčrt domu nejvíce ovlivní nejen jeho tvar, formu, ale i uživatelský komfort, cenu, realizovatelnost a budoucí energetické chování stavby a s tím související provozní náklady domu.
- Kroky ke snížení energetické náročnosti jsou efektivní nejen jako jednotlivá opatření, ale hlavně pokud budou realizována jako soubor komplexních prostředků (proces integrálního navrhování). Při navrhování pasivního domu se musí uplatnit spousta navzájem propojených faktorů.
- Mikroklima obytného prostoru zásadním způsobem ovlivňuje okno – jeho plochy, sklon, geometrie a umístění ve stěně jako i jeho fyzikální kvalita z hlediska prostupu světla a tepla v obou směrech. Pro energetickou hospodárnost objektu je rozhodující jeho plocha a tepelně-izolační kvalita, sklon, orientace ke světovým stranám a jeho ochrana před prostupem globálního slunečního záření.
- Pro vyhodnocování platí, že čím nižší jsou výchozí hodnoty měrné potřeby tepla na vytápění, tím nižší je absolutní hodnota jejího zlepšení, procentuálně je to však často naopak. Nejen rozdíl, ale také změna výsledků vyjádřená v procentech je důležitým faktorem pro zhodnocení výsledků.

- Geografická lokalita s přesnou nadmořskou výškou má významný vliv na energetickou náročnost domu. V rámci ČR je odchylka cca 25 % jen díky poloze. Na bilanci má vyšší vliv celoroční průměrná teplota než globální solární zisky. Díky městské zástavbě, kde funguje tzv. „tepelný ostrov“ lze výrazně snížit potřebu na vytápění a naopak umístěním do studeného údolí nebo na větrný vršek lze potřebu na vytápění nadměrně zvýšit.
- Velikost domu souvisí s faktorem tvaru A/V. Čím je menší stavba (rodinné domy), tak má větší potenciál na potřebu tepla na vytápění a čím je větší (bytové domy), tak má naopak nižší. Toho lze dobře využít a objemnější navrhovat stavby s méně izolovanými konstrukcemi. Na samotný faktor tvaru nemá tvar budovy, tzn. zda-li je vysoká nebo široká či plochá, až takový významný vliv. Díky znalosti tvaru budovy lze dobře určit, která konstrukce má nejvyšší podíl na tepelných ztrátách, takže mezi velkými stavbami je nejméně vhodný věžovitý bytový dům.
- Jižní strana je nejvýkonnější s nevyšším potenciálem snížit potřebu tepla na vytápění. Měla by se minimálně trvale stínit, tj. kopci, okolními stavbami a samostíněním. Na jižní fasádě má smysl zvětšovat prosklení, ale jen pokud není výrazně stíněno stálým zastíněním. Západní a východní strana účinkuje v bilanci lehce negativně, o něco horší je východní směr díky ranní oblačnosti. Severní orientace je nevhodná pro návrh oken, ale lze zvýšit sluneční zisky vertikálním nakloněním. Na severní straně působí převážně difúzní záření. Je dobré vědět, že velikost oken neovlivňuje potřebu tepla na vytápění tak silně jako kompaktnost nebo tepelně-technická kvalita objektu.
- Orientace domu je podstatnou složkou návrhu, protože lépe zateplené domy na ní reagují intenzivněji, a proto je třeba na ni dát důraz. Ale při srovnání s jinými parametry, například okna na severu nebo stínění na jihu, je méně podstatná, pokud se zvažuje odchylka od jihu do $\pm 45^\circ$. Malé rodinné domy jsou více citlivé na změnu orientace, než velké bytové domy, které mají „plošší“ průběh natáčení. Stavby se základní orientací S-J mají vyšší potřebu na vytápění, ale zato jsou méně citlivé na změnu orientace (někdy pootočení může pomoci). Pro navrhování je třeba dát pozor na správnou lokaci severu, k tomu slouží meridiánová konvergence.
- Letní přehřívání není v práci posuzováno, ale je na něj neustále upozorňováno. Koncept pasivního domu je velmi efektivní na získávání bezplatných vnitřních a solárních zisků. Většina roku je bezpečně pokryta, spíše mohou nastat problémy s uchlazením domu v létě mezi březnem až říjnem. Je to neuvěřitelné, ale může se stát, že při špatné regulaci může nastat přehřátí pasivního domu již v březnu. Proto je nezbytnou součástí zajištění protisluneční ochrany proti letnímu přehřívání, správné provětrávání a navržení takových konstrukcí, které mají ideální tepelnou kapacitu (absorbují přebytečné teplo přes den).
- Kompaktnost (souvisí s faktorem tvaru A/V) je podstatná vlastnost, která má velký vliv na potřebu tepla na vytápění. Větší citlivost na členitost mají větší

stavby. Tento faktor může být někdy i důležitější než prosklení severní fasády, tj. může mít větší energetický vliv.

- Z hlediska tvaru oken je nejideálnější čtvercový tvar. Při změně proporcí jsou efektivnější z hlediska solárních zisků okna na šířku.
- Skutečná spotřeba tepla na vytápění závisí na mnoha dalších vlivech, jako např. chování uživatelů a klimatických vlivech. I u domů stejné konstrukce může spotřeba tepla na vytápění silně kolísat. Odchyly ve výši až 50 % jsou naprosto normální a to nejen u pasivních domů.

8.2 APLIKOVATELNOST PRO PRAXI

Výsledkem jsou přehledná znázornění použitelná hlavně v prvotní rozhodovací fázi konceptu, které prezentují chování staveb na přijatelně přesném podkladě. Architekt tak dostává použitelný nástroj, kterým doplňuje základní empirické znalosti, a který zefektivňuje jeho tvorbu a dodává potřebný nadhled. Výsledky jsou přístupné a srozumitelné i široké veřejnosti. Podklady práce mohou být využity pro výuku studentů architektury a stavitelství na vysokých školách.

8.3 DOSLOV

Je velmi přínosné, pokud si architekti začnou více uvědomovat, jak velký má vliv jejich prvotní koncepční rozvaha na celou energetickou bilanci budovy. Je pravda, že architektura by se nikdy neměla nechat pohltit stavební fyzikou a jejími přesnými výpočty, měla by však na ní brát ohled a přiměřeně optimalizovat již prvotní koncepční návrh se všemi indikátory udržitelnosti (PEI, OZE). Udržitelná architektura celospolečenská záležitost, a proto musí být nápaditá, kontextuální a mnohohrstevnatá, která dokáže klást otázky a hledat na ně odpovědi.

POUŽITÉ ZDROJE

- [1] **NAGY, E.** *Nízkoenergetický a energeticky pasivní dům*. Bratislava : Vyd 1. Jaga Group, s.r.o., 2009. str. 207. ISBN 978-80-8076-077-9.
- [2] **BÁRTA, J. a kol.** *Manuál energeticky úsporné architektury*. Praha : Státní fond životního prostředí ve spolupráci s Českou komorou architektů, 2010. ISBN 978-80-904577-1-3.
- [3] **ČSN 73 4301.** *Stavby pro bydlení*. ČNI : 2004.
- [4] **POCHMANOVA, T.** *Výpočtové modely hodnocení pasivních domů v podmínkách ČR*. Dizertační práce. Praha : Fakulta stavební ČVUT Praha, 2009.
- [5] **software PHPP 2007 CZ.** *Passive house planning package - česká mutace*. Brno : Centrum pasivního domu, 2008.
- [6] **TNI 73 0329.** *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Rodinné domy*. ÚNMZ : únor 2009.

- [7] **TNI 73 0330.** *Zjednodušené výpočtové hodnocení a klasifikace obytných budov s velmi nízkou potřebou tepla na vytápění - Bytové domy.* ÚNMZ : červen 2009.
- [8] **FEIST, W. a kol.** *Manuál PHPP 2007 - Navrhování pasivních domu CZ.* Brno : Centrum pasivního domu, 2008.
- [9] **BAUER, M., MÖSLE, P., SCHWARZ, M.** *Guidebook for Sustainable Architecture.* Stuttgart : Drees & Sommer Advanced Building Technologies GmbH, 2007. str. 209. ISBN 978-3-642-00634-0.
- [10] **ČSN EN ISO 13790.** *Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení.* ÚNMZ : 2009.
- [11] *Wärmebrückenatalog für Passivhäuser.* Dartmstadt : Passive house Institut, 2005.
- [12] *Klimatologické údaje ČEA.* Praha : STÚ-E, 2002.
- [13] *Geografické údaje ČR.* [Online]
URL:<http://www.mzp.cz/www/dav.nsf/rocenka_06/a0.htm>.
- [14] **KONEČNÝ, M.** *Časté chyby při návrhu a provádění pasivních domů masivní konstrukce v ČR.* In: Pasivní domy 2009.
- [15] *Optimalizace množství denního světla v interiéru.* [Online] URL:
<http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=39401>.
- [16] **RUBISTEIN, Y., KROESE P.** *Simulation and the Monte Carlo method.* New Jersey : John Wiley & Sons, 2008. ISBN 978-0-470-17794-5.
- [17] **DIEDEREN, A. a kol.** *Global Resource Depletion.* Eindhoven : Eburon Uitgeverij B.V., 2010. ISBN 978-90-5972-425-9.
- [18] **HALL, F. a kol.** *Nejnovější Evropské míry.* [Online] Centrum pasivního domu, 2009. URL: <<http://www.pasivnidomy.cz/nejnovejsi-evropske-miry-jsou-20-20-20.html>>.
- [19] **HÁJEK, P.** *Udržitelná výstavba budov a její uplatňování ve střední Evropě.* In: časopis Stavebnictví 11-12/07. Praha, 2007.
- [20] **KOOLHAAS, R.** *Třešticí New York.* Praha : Arbor vitae, 2007. ISBN 978-80-86300-77-1.
- [21] **HOLLAN, J.** *Pasivní dům II.* Hostětín : Ekologický institut Veronica, 2008.
- [22] *Veronica - Pasivní domy jako evropský standard.* [Online] 2008. URL:
<<http://www.veronica.cz/?id=152>>.
- [23] **ŽENKA, M.** *Vliv stínění na využití solární energie v pasivních budovách.* Dizertační práce. Praha : Fakulta stavební ČVUT Praha, 2011.
- [24] **FUCHS, M., STARK, T., ZEUMER, M.** *Energy manual - sustainable architecture.* Munich : Edition Detail, 2008. ISBN: 978-3-7643-8830-0.
- [25] **KŘEČEK, D.** *Trvale udržitelný design geometrie budov.* In: Sborník konference Zdravé domy 2010. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2010.

(poznámka: úplný seznam použitých zdrojů je v kompletní verzi dizertační práce)

PROFESNÍ ŽIVOTOPIS

Ing. arch. David Křeček, narozen 16. 7. 1982 v Náchodě, okres Náchod

Vzdělání

- 1989 – 1998 Základní škola U Lesa, Nový Bor
1998 – 2002 Střední průmyslová škola stavební, Náchod
 obor: Pozemní stavitelství
 maturitní zkouška: český jazyk, matematika, pozemní stavitelství,
 stavební konstrukce
2002 – 2003 magisterské studium na Fakultě stavební ČVUT Praha
 obor: Pozemní stavby a konstrukce
2003 – 2006 bakalářské studium na Fakultě architektury ČVUT Praha
 obor: Architektura a urbanismus
2006 – 2008 magisterské studium na Fakultě architektury ČVUT Praha
 obor: Architektura a urbanismus
 státní závěrečná zkouška: architektura a urbanismus, stavební
 právo
2008 – doktorandské studium na Fakultě architektury VUT Brno
 obor: Architektura
 specializace: Pasivní domy

Odborná praxe

- 1998 – 1999 stavební firma Stako s.r.o., Červený Kostelec
2000 – 2002 ateliér Tsunami s.r.o., Náchod
2005 – 2007 ateliér Atip a.s., Trutnov
2008 – ateliér Vize Ateliér, s.r.o., Brno
 specializace: Pasivní a nízkoenergetické domy

spolupráce na projektech pasivních domů: PaRD Františkovy lázně, PaRD Brno - Bystrc, PaRD Omice, PaRD Letovice, PaRD Olomouc, PaRD Velké Meziříčí, PaRD Hutopeče, PaRD Knínice u Boskovic, PaRD Domašov, PaRD Machová, PaRD Brno - Bystrc, PaRD Blažovice, PaRD Bulhary, PaRD Nový Lískovec, PaRD Drnovice, PaRD Brno - Líšeň, PaRD Drásov u Vyškova, PaRD Vize modular, atd.

- 2010 – člen odborné komise Výstavby a rozvoje města Červený Kostelec
2010 – člen odborné komise Veřejná správa a regionální rozvoj
 při KDU-ČSL
2010 optimalizace detailů pro pasivní domy pro Centrum pasivního
 domu / 25 ks
2011 – odborný poradce na pasivní domy od Centra pasivního domu –
 Poradenská síť pasivních domů 2011; poradce
 pro královéhradecký kraj
2011 – člen energetické sekce národohospodářské komise při KDU-ČSL

Kurzy a certifikáty

05/2008	kurz Občanského minima – ekonomicko-právnícké znalosti / HK ČR
02/2009	kurz Prezentačních dovedností / VUT
02/2009	kurz Navrhování pasivních domů v PHPP / CPD
10/2010	zkouška Certified European Passive House Designer / CPD
01/2011	školení poradců pro pasivní domy / CPD

Doktorandská činnost a výuka

ZS 2008/2009	cvičení Typologie 1 – Obytné stavby / UN1 FA VUT
LS 2008/2009	ateliér Erasmus (cizinci) – Visually impaired user / UN1 FA VUT
LS 2008/2009	cvičení Erasmus (cizinci) – Computer modelling 3D / UN1 FA VUT
LS 2008/2009	ateliér urbanismus – Obnova obce Nové Heřmínovy / UN1 FA VUT
LS 2008/2009	ateliér rekonstrukce – dům „Podkova“ / UA FAST VUT
ZS 2009/2010	cvičení Typologie 1 – Obytné stavby / UN1 FA VUT
ZS 2009/2010	ateliér Erasmus (cizinci) – New pavilion of ZOO / UN1 FA VUT
ZS 2009/2010	ZAN – 1. ročník / UA FAST VUT
LS 2009/2010	ZAN – 1. ročník / UN1 FA VUT
LS 2009/2010	3x cvičení – Pozemní stavitelství IV / US FA VUT
LS 2009/2010	ateliér rekonstrukce – dům ve Znojmě / UA FAST VUT
10/2009	přednáška na FAST VUT – „Proč stavět pasivní domy“
03/2010	přednáška na FA VUT – „Optimalizace arch. konceptu“
10/2010	přednáška na FAST VUT – „Jak navrhovat pasivní domy“
10/2010	přednáška na FA VUT – „Jak navrhovat pasivní domy“
LS 2010/2011	3x cvičení – Pozemní stavitelství IV / US FA VUT
10/2010	přednáška na mezioborové konferenci Udržitelná energie a krajina 2010 v Hostětíně – „Passive house arch. award 2010“
10/2010	3 přednášky na Dni pasivních domů 2010 v Hostětíně – „Princip navrhování pasivních domů, Větrání a vytápění pasivních domů, Passive house architectura award 2010“
01/2011	přednáška na SOŠ Letovice – „Stavby s nízkou energetickou náročností aneb jak se pozná pasivní dům“
03/2011	přednáška na FA VUT – „Rekonstrukce na pasivní standard“
ZS 2010/2011	cvičení a přednášky – Stavby s nízkou en. náročností / US FAST VUT
09/2011	přednáška na ForArch 2011 – „Jak navrhnout pasivní dům“
ZS 2010/2011	2x cvičení – Typologie 1 – Obytné stavby / UN1 FA VUT
ZS 2011/2012	ateliér Navrhování ekologických staveb - Jundrov / UN5 FA VUT

PUBLIKACE AUTORA

KŘEČEK, D. *Pasivní dům v Letovicích*. In: časopis ERA 21 č. 4/08, s. 41-44.

KŘEČEK, D. *Letovice – pasivní rodinný dům*. In: časopis Reflex č. 14/08, s. 54-57.

KŘEČEK, D. *Zatravněný vějíř – pasivní dům v Brně*. In: časopis Dům a byt SK č. 11/09.

KŘEČEK, D. *Pasivní dům v Letovicích II*. In: časopis Stavebnictví č. 01/10.

KŘEČEK, D. *Mezinárodní konference pasivní domy 2008*. s. 41-44. In: Doktorské aktivity na FA. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2009. ISBN 978-80-214-3877-4

KŘEČEK, D. *Optimalizace návrhu pasivního domu pomocí software PHPP 2007 CZ*. In: Sborník XIII. vědecké konference doktorandů 2009. s. 58-63. Brno : Fakulta architektury VUT, 2009. ISBN 978-80-214-3878-1.

KŘEČEK, D. *Wood welding*. s. 63-66. In: Doktorské aktivity na FA. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2009. ISBN 978-80-214-3877-4

KŘEČEK, D. *Seminář pro odborníky PHPP 2007 CZ*. s. 38-40. In: Doktorské aktivity na FA. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2009. ISBN 978-80-214-3877-4

KŘEČEK, D. *Mezinárodní konference pasivní domy 2009*. In: Sborník doktorandů. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2010.

KŘEČEK, D. *Trvale udržitelný design geometrie budov*. In: Sborník konference Zdravé domy 2010. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2010.

KŘEČEK, D. *Energetická optimalizace architektonického konceptu*. In: Sborník XIV. vědecké konference doktorandů 2010. s. 46-51. Brno : Fakulta architektury VUT, 2010. ISBN 978-80-214-4088-3.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Pasivní dům: Kvalitní izolace je základ* [online]. 2010 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/pasivni-domy/pasivni-dum-kvalitni-izolace-je-zaklad.aspx>>.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Jak úsporně větrat v pasivním domě?* [online]. 2010 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/pasivni-domy/jak-uspornе-vetrat-v-pasivnim-dome.aspx>>.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Jak efektivně topit v pasivním domě?* [online]. 2010 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/pasivni-domy/jak-efektivne-topit-v-pasivnim-dome.aspx>>.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Zateplení a rekonstrukce aneb jak získat pasivní dům* [online]. 2010 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/zatepleni-a-rekonstrukce-aneb-jak-ziskat-pasivni-dum.aspx>>.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Pasivní domy na klíč: Výhody a nevýhody domů z katalogu* [online]. 2010 [cit. 2011-04-01]. Dostupné

z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/pasivni-domy/pasivni-domy-na-klic-vyhody-a-nevyhody-domu-z-katalogu.aspx>>.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : 10 mýtů o pasivních domech* [online]. 2011 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW:

<<http://www.nazeleno.cz/stavba/pasivni-domy/10-mytu-o-pasivnich-domech.aspx>>.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Zjistěte, zda z vašeho domu uniká teplo: Blower-door test* [online]. 2011 [cit. 2011-04-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/pasivni-domy/zjistete-zda-z-vaseho-domu-unika-teplo-aneb-blower-door-test.aspx>>.

KŘEČEK, D. *E - learningový kurz: Typologie I - Obytné stavby*. In: Doktorské aktivity na FA. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2011.

KŘEČEK, D. *Mezinárodní konference Pasivní domy 2009*. In: Doktorské aktivity na FA. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2011.

KŘEČEK, D. *Odborné články publikované na webovém portálu www.nazeleno.cz*. In: Doktorské aktivity na FA. Brno : Fakulta architektury VUT Brno, 2011.

KŘEČEK, D. *Optimalizovaný design pasivních domů*. In: Sborník mezioborové konference Udržitelná energie a krajina 2010. s. 59-63. Hostětín: Veronica, 2010. ISBN 978-80-87308-05-9.

KŘEČEK, D. *Vliv architektonického konceptu na potřebu tepla na vytápění pasivního domu*. In: Sborník XV. vědecké konference doktorandů 2011. Brno : Fakulta architektury VUT, 2011.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Nízkoenergetický dům: Úspory, projekt, cena*. [online]. 2011 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/nizkoenergeticke-domy/nizkoenergeticky-dum-uspory-projekt-cena.aspx>>.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Jak na zateplení střechy: Materiál, postup, úspory*. [online]. 2011 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/jak-na-zatepleni-strechy-material-postup-uspory.aspx>>.

KŘEČEK, D. *Vliv architektonického konceptu na potřebu tepla na vytápění pasivního domu*. In: Časopis střechy, fasády a izolace, 05/2011. Praha: Nakladatelství Mise, 2011.

KŘEČEK, D. *Vliv architektonického konceptu na potřebu tepla na vytápění pasivního domu*. In: Mezinárodní vědecko-výzkumné kolokvium-workshop 2011. s. 35-38. Praha: Fakulta architektury ČVUT Praha, 2011. ISBN 978-80-01-04823-8.

KŘEČEK, D.; LESCHNGEROVÁ, M. *Nazeleno.cz : Zateplení fasády domu: Postup, materiál, úspory*. [online]. 2011 [cit. 2011-12-01]. Dostupné z WWW: <<http://www.nazeleno.cz/stavba/izolace/zatepleni-fasady-domu-postup-material-uspory.aspx>>.

KŘEČEK, D. *O pasivních a nízkoenergetických domech*. In: Energeticky úsporné domy. s. 12-21. Brno : Centrum pasivního domu a Divize Isover, 2011. ISBN 978-80-904739-1.