

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNIKY PROSTŘEDÍ

**ENERGETICKÁ NÁROČNOST
BUDOV S TĚMĚŘ NULOVOU
SPOTŘEBOU ENERGIE**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Šinka** Jméno: **Ladislav** Osobní číslo: **476047**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav techniky prostředí**
Studijní program: **Teoretický základ strojniho inženýrství**
Studijní obor: **bez oboru**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Energetická náročnost budov s téměř nulovou spotřebou energie

Název bakalářské práce anglicky:

Energy Performance of Nearly Zero-Energy Buildings

Pokyny pro vypracování:

Vypracujte studii energetické náročnosti na vytápění a přípravu teplé vody na nejméně třech projektech rodinných domů. Proveďte základní ekonomickou analýzu směrem k investicím nutných k dosažení tzv. nízkoenergetického nebo pasivního standardu rodinného domu. Navrhněte optimální variantu tepelně-technických vlastností stavebních prvků posuzovaných budov s ohledem na požadavky budovy s téměř nulovou spotřebou energie a možností dosažení vysokého podílu pokrytí spotřeby energie z obnovitelných zdrojů.

Seznam doporučené literatury:

- 1) ČSN EN 12831-1 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3. ÚNMZ 2018.
- 2) ČSN EN 12831-3 Energetická náročnost budov - Výpočet tepelného výkonu - Část 3: Tepelný výkon pro soustavy přípravy teplé vody a charakteristika potřeb, Modul M8-2, M8-3. ÚNMZ 2019.
- 3) ČSN EN ISO 13790 Energetická náročnost budov - Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení. ÚNMZ 2009.
- 4) ČSN EN ISO 52016-1 Energetická náročnost budov - Potřeba energie na vytápění a chlazení, vnitřní teploty a citelné a latentní tepelné výkony - Část 1: Výpočtové postupy. ÚNMZ 2019.
- 5) Vyhláška č. 78/2013 Sb. o energetické náročnosti budov se změnami: č. 230/2015 Sb. Ministerstvo průmyslu a obchodu 2013.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D., ústav techniky prostředí FS

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

Datum zadání bakalářské práce: **30.04.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2020**

Platnost zadání bakalářské práce:

Ing. Roman Vavříčka, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) práce

doc. Ing. Vladimír Zmrhal, Ph.D.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá návrhem budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Jedná se o tři různé projekty. Každá z variant je řešena různou kombinací stavebních materiálů a odlišnou tloušťkou tepelné izolace. Práce řeší energetickou náročnost na vytápění a přípravu teplé vody. Dále se mění velikost zasklení obvodové konstrukce v závislosti na energetickou náročnost vytápění. Nakonec se porovnávají požadavky pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie a pasivní budovy.

Summary

The bachelor thesis is focused on a proposal for nearly zero-energy buildings. Three different proposals were examined. The variants differ in a different combination of building materials and different thickness of thermal isolation. The thesis designs a demand for heating and hot water. Furthermore, the size of glazing of peripheral construction changes depending on the energy intensity of heating. Finally, the requirements are compared for nearly zero-energy building and passive building.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem: „Energetická náročnost budov s téměř nulovou spotřebou energie“ vypracoval samostatně pod vedením Ing. Romana Vavříčky, Ph.D., s použitím literatury, uvedené na konci mé bakalářské práce v seznamu použité literatury.

V Praze dne 31. 7. 2020

Ladislav Šinka

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat svému vedoucímu bakalářské práce Ing. Romanu Vavříčkovi, Ph.D. za cenné rady a připomínky při osobních konzultacích, ale také při online konzultacích v nelehké situaci.

Dále bych chtěl poděkovat rodině a přítelkyni za podporu během studia.

Obsah

1	Úvod.....	12
2	Budovy s velmi nízkou energetickou náročností.....	13
2.1	Nízkoenergetické budovy.....	13
2.2	Pasivní budovy.....	13
2.3	Energetický nulové budovy.....	16
2.4	Energeticky nezávislé budovy.....	18
2.5	Budovy s téměř nulovou spotřebou.....	19
3	Modelové budovy	20
3.1	Projekt Mauna	20
3.1.1	Svislé konstrukce	20
3.1.2	Vodorovné konstrukce.....	21
3.2	Projekt Orlando	21
3.2.1	Svislé konstrukce	22
3.2.2	Vodorovné konstrukce.....	23
3.3	Projekt Dakota.....	23
3.3.1	Svislé konstrukce	24
3.3.2	Vodorovné konstrukce.....	25
3.4	Okna a dveře	26
3.5	Součinitel prostupu tepla.....	26
4	Tepelné ztráty	29
4.1	Tepelné ztráty prostupem.....	29
4.2	Tepelné ztráty větráním.....	32
4.3	Celkové tepelné ztráty.....	33
5	Tepelné zisky	35
5.1	Vnitřní tepelné zisky	35

5.2	Vnější tepelné zisky	36
6	Potřeba tepla	40
6.1	Potřeba tepla na vytápění	40
6.2	Potřeba tepla na přípravu teplé vody	43
6.3	Celková potřeba tepla.....	44
7	Změny izolačních vlastností rodinných domů	46
7.1	Změna zasklení.....	46
7.2	Porovnání s pasivními domy	50
8	Závěr	53
9	Seznam zdrojů.....	54
10	Seznam obrázků	56
11	Seznam tabulek	56
12	Přílohy.....	58

Seznam použitého značení

Značka	Veličina	Rozměr
$A_{c,p}$	pohledová plocha neprůhledných částí	[m ²]
A_k	plocha stavební části	[m ²]
A_{sol}	účinná sběrná plocha s danou úhlem sklonu	[m ²]
$A_{w,p}$	celková pohledová plocha zaskleného prvku	[m ²]
B'	charakteristický parametr	[m]
C_m	vnitřní tepelná kapacita budovy	[J/K]
E_A	měrná potřeba tepla na vytápění	[kWh/m ² ·a]
F_f	podíl plochy rámu	[-]
$F_{r,i}$	faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou	[-]
F_{sh}	korekční součinitel stínění na externí překážky	[-]
F_w	korekční činitel pro nerozptylující zasklení	[-]
$H_{V,i}$	měrný tepelný tok větráním	[W/K]
H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostředí do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ia}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedního vytápěného prostoru	[W/K]
$H_{T,iaBE}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousední funkční části budovy	[W/K]
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes sousední nevytápěný prostor	[W/K]
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	[W/K]
I_{skla}	viditelný obvod zasklení	[m]
I_{sol}	sluneční ozáření za jednotku času	[W/m ²]
$O_{podlahy}$	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m ²]

PE_A	měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů	[kWh/m ² ·a]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$Q_{H,nd}$	celková potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$Q_{H,tr}$	potřeba tepla prostupem	[kWh]
$Q_{H,ve}$	potřeba tepla větráním	[kWh]
R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² ·K/W]
R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	[m ² ·K/W]
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² ·K/W]
R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	[m ² ·K/W]
$S_{podlahy}$	plocha podlahy	[m ²]
$S_{rámu}$	plocha rámu	[m ²]
U	součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_c	součinitel prostupu tepla neprůhledných částí	[W/m ² ·K]
$U_{em,N,20}$	průměrný součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části	[W/m ² ·K]
$U_{N,20}$	požadovaný součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_{okna}	součinitel prostupu tepla okna	[W/m ² ·K]
$U_{pas,20}$	doporučený součinitel prostupu tepla pro pasivní budovy	[W/m ² ·K]
$U_{podlahy}$	součinitel prostupu tepla podlahy	[W/m ² ·K]
$U_{rámu}$	součinitel prostupu tepla rámu	[W/m ² ·K]
$U_{rec,20}$	doporučený součinitel prostupu tepla	[W/m ² ·K]
U_{skla}	součinitel prostupu zasklení	[W/m ² ·K]
V_i	objem vytápěné místnosti	[m ³]
\dot{V}_i	objemový průtok vzduchu	[m ³ /h]
V_{TV}	potřeba teplé vody na osobu	[m ³]
a_H	bezrozměrný časový parametr	[-]
$a_{H,0}$	bezrozměrný číselný parametr pro měsíční metodu	[-]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušené vytápění	[-]
c_p	měrná tepelná kapacita	[J/kg·K]

d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
f	koeficient přítomnosti osob v budově	[-]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{ia,k}$	teplotní opravný činitel	[-]
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanování příslušných U-hodnot	[-]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[-]
$g_{gl,n}$	celková propustnost zasklení	[-]
h_r	součinitel přestupu tepla na vnější straně	[W/m ² ·K]
n	intenzita výměny vzduchu	[1/h]
	počet dnů	[den]
n_{hod}	počet hodin	[h]
n_{os}	počet osob	[-]
s	tloušťka	[m]
s_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	[m]
t_1	průměrná teplota přiváděné studené vody	[°C]
t_2	teplota ohřáté vody	[°C]
t_{ep}	střední venkovní teplota v daném měsíci	[°C]
t_{is}	průměrná vnitřní teplota objektu	[°C]
w	celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy (tj. svislé stěny)	[m]
z	poměrný koeficient	[-]
$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků	[-]
γ_H	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² ·K]
$\Delta t_{e,r}$	střední rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy	[°C]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
η_t	účinnost rekuperační jednotky	[-]
θ_e	vnější výpočtová teplota	[°C]
θ_{ia}	teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor	[°C]

$\theta_{\text{int},i}$	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
λ	součinitel tepelné vodivosti	[W/m·K]
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce	[W/m·K]
λ_{zeminy}	tepelná vodivost	[W/m·K]
ρ	hustota	[kg/m ³]
τ	časová konstanta budovy	[h]
$\tau_{H,0}$	referenční časová konstanta	[h]
$\Phi_{HL,i}$	návrhový tepelný výkon budovy	[W]
$\Phi_{r,i}$	přídavný tepelný tok v důsledku sálání mezi oblohou a prvkem i	[W]
Φ_{sol}	solární tepelný tok	[W]
$\Phi_{s,o}$	tepelný tok od osob, domácích spotřebičů a umělého osvětlení	[W]
$\Phi_{s,p}$	tepelný tok na každou bytovou jednotku bez ohledu na přítomnost osob; 100 W/bytovou jednotku	[W]
$\Phi_{T,i}$	návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$\Phi_{V,i}$	návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru	[W]
ψ_{skla}	lineární činitel prostupu tepla zasklení a rámu	[W/m·K]

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá tématem budov s téměř nulovou spotřebou energie. Domy tohoto typu jsou velmi aktuální, neboť s ohledem na legislativu České republiky platí, že od 1. 1. 2020 by měly všechny nové rodinné domy splňovat požadavky pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie.

Práce řeší projekty tří různých rodinných domů, které musí splnit požadavky na budovy s téměř nulovou spotřebou dle platných norem. K dosažení daných parametrů musí být zvoleny konstrukce s kvalitními tepelně technickými vlastnostmi.

U každé z variant se dosáhlo daných hodnot jinou kombinací stavebních materiálů. V první variantě se použila pro obvodní konstrukci cihla s vnitřní minerální izolací. Navíc byla přidána tepelná izolace v podobě pěnového polystyrenu na vnější obvodovou stěnu. Stropní konstrukce byla zvolena ze stropních panelů Spiroll. Pro variantu Orlando se použila opět cihla s vnitřní tepelnou izolací, tentokrát od jiné značky a odlišné tloušťky, do stropní konstrukce byla vybrána stropní vložka Miako. Do poslední varianty, která jako jediná měla více pater, se zvolila cihla bez vnitřní tepelné izolace, ale na vnější konstrukci stěn byla přidána silnější tepelná izolace pěnového polystyrenu.

Dále se uvažovalo, jak změna parametru v podobě zasklení obvodové konstrukce bude mít vliv na výslednou energetickou náročnost budovy. Došlo také na porovnání energetické náročnosti k dosažení parametrů u budov s téměř nulovou spotřebou energie a pasivních domů.

2 Budovy s velmi nízkou energetickou náročností

2.1 Nízkoenergetické budovy

Nízkoenergetické budovy se vyznačují nízkou potřebou tepla na vytápění. Toho je dosaženo především optimalizovaným stavebním řešením obálky budovy. Nízkoenergetické budovy jsou budovy, které nepřekračují hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla dle tabulky 1. Zároveň nesmí hodnota měrné potřeby tepla na vytápění stanovené v souladu s ČSN EN ISO 13790, TNI 73 0329 a TNI 73 0330 překročit 50 kWh/(m²a). [1]

Tab. 1 Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně [1]

	Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla $U_{em, N, 20}$ [W/m ² ·K]
Nové obytné budovy	Nejvýše 0,50
Ostatní budovy	Pro objemový faktor tvaru: $A/V \leq 0,2$ $U_{em, N, 20} = 1,05$ $A/V > 1,0$ $U_{em, N, 20} = 0,45$ Pro ostatní hodnoty A/V $U_{em, N, 20} = 0,30 + 0,15/(A/V)$.

2.2 Pasivní budovy

Pasivní budovy jsou dány minimalizovanou potřebou energie k dosažení požadovaného stavu vnitřního prostředí a minimalizovanou potřebou primární energie z neobnovitelných zdrojů na provoz. Toho dosáhneme ideálním stavebním řešením budovy a dalšími opatřeními. Hodnoty potřeby tepla na vytápění, přípravu teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz energetických systémů budovy a hodnoty dodané elektrické energie na elektrické spotřebiče se určí dle norem TNI 73 0329, TNI 73 0330 nebo podrobněji podle ověřených podkladů. Další podmínkou při řešení je hodnota průvzdušnosti $n_{50} = 0,6 \text{ h}^{-1}$ při tlakovém rozdílu 50 Pa u celkové intenzity výměny vzduchu, která nesmí být překročena. Standardy určené pro pasivní budovy se nachází

v tabulce 2 a 3. V tabulce 2 jsou uvedeny hodnoty, které musí splňovat každá budova, ale také hodnoty pro pasivní budovy.

Roční energetická potřeba se zahrnuje do hodnocení primární energie podle tabulky 4. K přepočtu množství dodané energie na primární energie se používá faktor energetické přeměny podle tabulky 5. [1]

Tab. 2 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla [1]

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$W/(m^2 \cdot K)$]		
	Požadované hodnoty $U_{N,20}$	Doporučené hodnoty $U_{rec,20}$	Doporučené hodnoty pro pasivní budovy $U_{pas,20}$
Stěna vnější	0,30	těžká: 0,25 lehká: 0,20	0,18 až 0,12
Střecha strmá se sklonem nad 45°	0,30	0,20	0,18 až 0,12
Střecha plochá a šikmá se sklonem na 45° včetně	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop pod nevytápěnou půdou	0,30	0,20	0,15 až 0,10
Podlaha a stěna vytápěného prostoru přilehlá k zemině	0,45	0,30	0,22 až 0,15
Strop a stěna vnitřní z vytápěného prostoru k nevytápěnému prostoru	0,60	0,40	0,30 až 0,20

Tab. 3 Základní vlastnosti pasivních budov [1]

		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m ² ·K]	Měrná potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·a]	Měrná potřeba energie na chlazení [kWh/m ² ·a]	Měrná potřeba primární energie [kWh/m ² ·a]
Obytná budova	Rodinný dům	≤ 0,25 požadováno ≤ 0,20 doporučeno	≤ 0,20 požadováno ≤ 0,15 doporučeno	0 ²⁾	≤ 60
	Bytový dům	≤ 0,35 požadováno ≤ 0,30 doporučeno	≤ 0,15	0 ²⁾	≤ 60
Neobytná budova s převažující teplotou 18°C – 22°C		≤ 0,35 ¹⁾	≤ 0,15	≤ 0,15	≤ 120
Ostatní budovy		Požadavky stanoveny individuálně s využitím aktuálních poznatků odborné literatury			≤ 120
POZNÁMKY					
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučena, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$. ²⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.					

Tab. 4 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov (hodnotí se položky označené X) [1]

	Obytné budovy	Neobytné budovy
Vytápění	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti	- ¹⁾	X
Příprava teplé vody	X	X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systému budovy	X	X
Elektrické spotřebiče a umělé osvětlení	-	-
¹⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo (dodatečně) použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče.		

Tab. 5 Referenční hodnota faktoru energetické přeměny pro přepočítání na hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů [1]

Zdroj	Faktor energetické přeměny [kWh/kWh]
Zemní plyn a další fosilní paliva	1,1
Elektrická energie	3,0
Dřevo, ostatní biomasa	0,05
Dřevěné peletky	0,15
Soustava zásobování teplem – fosilní paliva	1,5
Soustava zásobování teplem – kombinovaná výroba elektřiny (35%) a tepla	1,1
Soustava zásobování teplem – kombinovaná výroba elektřiny (70%) a tepla	0,8
Soustava zásobování teplem – biomasa	0,3
Solární systémy termické	0,05
Solární systémy fotovoltaické – použití pro vlastní potřebu budovy	0,05
Solární systémy fotovoltaické – zapojené do veřejné sítě	0,2
Solární systém fotovoltaický nahrazující konvenční výrobu elektrické energie ¹⁾	-2,8
Spalování biomasy nahrazující výrobu tepla spalováním plynu ¹⁾	-1,0
¹⁾ Hodnoty jsou odvozeny zjednodušeně, jako rozdíl faktoru energetické přeměny obnovitelného a konvenčního zdroje (pro fotovoltaický systém: $0,2 - 3,0 = -2,8$ (záporná hodnota)). Obdobně lze odvodit další hodnoty. ²⁾ Hodnoty faktoru primární energie pro zde neuvedené zdroje a systémy se stanovují kvalifikovaným přepočtem z hodnot uvedených v tabulce a dále s využitím ČSN EN 15316-4-5.	

2.3 Energetický nulové budovy

U těchto budov se vychází z roční bilance energetických potřeb a energetické produkce v budově a jejím okolí, která je převedena na primární energii. Předpokladem je dosažení stavebních a technických standardů jako u pasivních budov.

Hodnocení se rozděluje na dvě úrovně:

Úroveň A - zde se do energetických potřeb zahrne potřeba tepla na vytápění, potřeba tepla na chlazení, energie na přípravu teplé vody, pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy, elektrická energie na umělé osvětlení a elektrické spotřebiče.

Úroveň B – velmi podobné jako úroveň A, akorát bez elektrické energie na elektrické spotřebiče. [1]

Tab. 6 Základní požadavky na energeticky nulové budovy [1]

Závaznost kritéria		Požadovaná hodnota	Doporučená hodnota	Požadovaná hodnota podle zvolené úrovně hodnocení	
		Průměrný součinitel prostupu tepla U_{em} [W/m ² ·K]	Měrná potřeba tepla na vytápění E_A [kWh/m ² ·a]	Měrná roční bilance potřeby a produkce energie vyjádřená v hodnotách primární energie z neobnovitelných zdrojů PE_A [kWh/m ² ·a]	
				Úroveň A	Úroveň B
Obytné budovy	Nulový	Rodinné domy $\leq 0,25$	Rodinné domy ≤ 20	0	0
	Blízký nulovému	Bytové domy $\leq 0,35$	Bytové domy ≤ 15	80	30
Neobytné budovy	Nulový	$\leq 0,35$ ¹⁾	$\leq 0,30$	0	0
	Blízký nulovému			120	90
POZNÁMKY					
¹⁾ Uvedená hodnota je doporučená, nejvýše však musí být rovna odpovídající hodnotě $U_{em,rec}$.					
²⁾ Neobytné budovy s převažující návrhovou teplotou 18 °C až 22 °C včetně. Pro jiné budovy není stanoveno.					

K hodnocení primární energie se zahrnují roční energetické potřeby dle tabulky 7. Hodnoty dodané energie na vytápění se stanoví postupem podle ČSN EN ISO 13 790. Hodnoty dodané energie na chlazení se stanoví podle ČSN EN ISO 13 790 nebo podrobněji. Hodnoty dodané energie pro přípravu teplé vody, pomocné elektrické energie na provoz energetických systémů budovy a hodnoty elektrické energie na elektrické spotřebiče se stanoví podle TNI 73 0329, TNI 73 0330 nebo podrobněji podle ověřených podkladů. Přepočet množství dodané energie na hodnoty příslušné primární energie se použije faktor energetické přeměny podle tabulky 5. Pro dálkové teplo, kogenerační výrobu a další kombinované energetické systémy se stanoví dle ČSN EN 15316-4-5. [1]

Tab. 7 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energetický nulové budovy (hodnotí se položky označené X) [1]

	Obytné budovy		Neobytné budovy	
	Úroveň A	Úroveň B	Úroveň A	Úroveň B
Vytápění	X	X	X	X
Chlazení a úprava vlhkosti vzduchu	- ¹⁾	- ¹⁾	X	X
Příprava teplé vody	X	X	X	X
Pomocná elektrická energie na provoz energetických systémů budovy	X	X	X	X
Umělé osvětlení	X	X	X ²⁾	X ²⁾
Elektrické spotřebiče	X	-	X	-
¹⁾ Stavební řešení musí být takové, aby strojní chlazení nebylo potřebné. Pokud by výjimečně bylo dodatečně použito, musí být odpovídajícím způsobem zahrnuto do hodnocení primární energie, a to i kdyby se jednalo o individuální jednotky považované za elektrické spotřebiče. ²⁾ Záměrně odlišně od hodnocení pasivních neobytných budov.				

Do hodnocení primární energie se započítává roční produkce z obnovitelných zdrojů energie, sloužící potřebám domu i energie využitá jinde prostřednictvím energetické sítě.

Dále se do hodnocení primární energie může zahrnout produkce tepla z obnovitelných zdrojů (spalování biomasy, bioplynu apod.), která je předávána dalším budovám nebo tepelné síti. [1]

2.4 Energeticky nezávislé budovy

Za energeticky nezávislé budovy se dají označit budovy, které mají nulovou potřebu dodávky energie ze zdroje mimo budovy. Tyto budovy se většinou nacházejí mimo zastavěné území, kde by nebylo připojení na energetickou síť možné a jiné dodání energie obtížné. V takovém případě je vhodné řešit budovu jako pasivní. Vyrovnání mezi energetickou produkcí a spotřebou energie slouží akumulace energie do tepelných zásobníků, elektrických akumulátorů a využití akumulace energie v podzákladí. [1]

2.5 Budovy s téměř nulovou spotřebou

Od 1.1 2020 musí všechny budovy dle legislativy, které budou žádat o stavební povolení, splňovat standardy budovy s téměř nulovou spotřebou energie (dále jen „BTNSE“).

Požadavky pro nově vystavěné budovy znamenají, že musí dodržet požadavky na hodnoty ukazatele průměrného součinitele prostupu tepla, celkové dodané energie a primární neobnovitelné energie. Na rozdíl od ostatních typů budov nejsou dány absolutní hodnoty pro dosažení BTNSE. Ke každé hodnocené budově se přistupuje individuálně. Daná budova se porovnává s tzv. referenční budovou. Referenční budova je výpočtově definovaná budova téhož druhu, která má stejný goniometrický tvar a velikost včetně prosklených ploch a částí, stejné orientace ke světovým stranám, stínění okolní zástavbou a přírodními překážkami, stejného vnitřního uspořádání a se stejným typickým užíváním a stejnými uvažovanými klimatickými údaji jako hodnocená budova, avšak s referenčními hodnotami vlastností budovy, jejich konstrukcí a technických systémů budovy. V případě, že hodnoty ukazatele energetické náročnosti hodnocené budovy jsou nižší než pro referenční budovu, poté splňuje budova požadavky.

U BTNSE jsou však přísnější požadavky u kvality stavební konstrukce a snížení primární neobnovitelné energie užitě v budově. Hodnota stavební konstrukce tak musí dosahovat 0,7 násobku referenční hodnoty u nové budovy a snížení o 10 – 25 % primární neobnovitelné energie. Jak bude dosaženo těchto požadavků, už není specifikováno. Splnění podmínek pro BTNSE závisí na projektantovi a jeho postupu k dosažení daných požadavků. [2]

Tab. 8 Orientační hodnoty daných typů budov [2]

	Potřeba tepla na vytápění [kW/(m ² ·rok)]	Primární neobnovitelná hodnota [kW/(m ² ·rok)]
Stávající požadavky	40 – 90 (dle typu budovy)	120 – 200 (dle typu budovy)
Pasivní standard	≤ 15	≤ 60
Nízkoenergetický standard	≤ 50	-
Doporučení Evropské komise	-	15 - 35
BTNSE	30 – 70 (dle typu budovy)	100 – 160 (dle typu budovy)

3 Modelové budovy

Jako modelové budovy byly zvoleny tři projekty podle internetového katalogu domů a projektů GSERVIS. Každá z variant se mírně liší ať už počtem pater či typem střechy. U každého domu je také jinak řešena stavba konstrukce.

3.1 Projekt Mauna

Jedná se o jednopatrový bungalov orientovaný stranou s hlavní vchodem na sever. Tento dům má šikmou střešní konstrukci. Celkem se v domě nachází 10 místností.

3.1.1 Svislé konstrukce

Tab. 9 Skladba obvodové stěny

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 50 T Profi	500	0,066
Polystyren EPS bílý	100	0,037
Vnější omítka	25	0,95
Vnitřní omítka	15	0,98

Tab. 10 Skladba nosného zdiva

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 24 S Profi	240	0,28
Vnitřní omítka	15	0,98
Vnitřní omítka	15	0,98

Tab. 11 Skladba příčky

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 11,5 Profi	115	0,26
Vnitřní omítka	15	0,98
Vnitřní omítka	15	0,98

3.1.2 Vodorovné konstrukce

Tab. 12 Skladba podlahy

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Štěrka	250	0,93
Podkladní beton	150	1,1
Asfaltové pásy	4	0,21
Podlahový polystyren EPS	260	0,037
Anhydritový potěr	50	1,8
Dřevěná podlaha	15	0,125

Tab. 13 Skladba stropu

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Omítka vnitřní	15	0,95
Panely SPIROLL	200	0,23
Střešní polystyren EPS	260	0,037
Anhydritový potěr	50	1,8

3.2 Projekt Orlando

Orlando je jednopatrový dům. Jedná se o moderní budovu s hlavním vchodem orientovaným na sever. Dům má rovnou střechu a po obvodových stěnách se nachází několik francouzských oken. Celkem se skládá z 12 místností.

3.2.1 Svislé konstrukce

Tab. 14 Skladba obvodové stěny

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 38 Profi	380	0,133
Polystyren EPS bílý	260	0,037
Vnější omítka	25	0,95
Vnitřní omítka	15	0,98

Tab. 15 Skladba nosného zdiva

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 24 S Profi	240	0,28
Vnitřní omítka	15	0,98
Vnitřní omítka	15	0,98

Tab. 16 Skladba přičky

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 11,5 Profi	115	0,26
Vnitřní omítka	15	0,98
Vnitřní omítka	15	0,98

3.2.2 Vodorovné konstrukce

Tab. 17 Skladba podlahy

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Štěrk	250	0,93
Podkladní beton	150	1,1
Asfaltové pásy	4	0,21
Podlahový polystyren EPS	260	0,037
Anhydritový potěr	50	1,8
Dřevěná podlaha	15	0,125

Tab. 18 Skladba střechy

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Vnitřní omítka	15	0,98
Strop Miako 19	190	- ¹⁾
Asfaltový pás GLASTEK 40	4	0,21
Střešní polystyren EPS	160	0,037
Spádové klíny EPS	90	0,037
Asfaltový pás GLASTEK 30	3	0,21
Asfaltový pás ELASTEK 40	4	0,21
¹⁾ Výrobce neuvádí, uvádí pouze hodnotu součinitele prostupu tepla $U = 1,63 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$		

3.3 Projekt Dakota

Tento rodinný dům je jako jediný vícepodlažní, konkrétně dvoupatrový. Obývací pokoj spojený s kuchyní má pouze jedno podlaží a vyvýšený strop. Hlavní vchod je orientován na jih. Celkem má tento rodinný dům 11 místností s tím, že 4 se nachází v 1. patře.

3.3.1 Svislé konstrukce

Tab. 19 Skladba obvodové stěny

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Haluz Family 44 2in1	440	0,059
Polystyren EPS bílý	100	0,037
Vnější omítka	25	0,95
Vnitřní omítka	15	0,98

Tab. 20 Skladba nosného zdiva

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 24 S Profi	240	0,28
Vnitřní omítka	15	0,98
Vnitřní omítka	15	0,98

Tab. 21 Skladba příčky

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Porotherm 11,5 Profi	115	0,26
Vnitřní omítka	15	0,98
Vnitřní omítka	15	0,98

3.3.2 Vodorovné konstrukce

Tab. 22 Skladba podlahy

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Štěrk	250	0,93
Podkladní beton	150	1,1
Asfaltové pásy	4	0,21
Podlahový polystyren EPS	260	0,037
Anhydritový potěr	50	1,8
Dřevěná podlaha	15	0,125

Tab. 23 Skladba stropu

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Omítka vnitřní	15	0,95
Panely SPIROLL	200	0,23
Střešní polystyren EPS	220	0,037
Anhydritový potěr	50	1,8
Dřevěná podlaha	15	0,125

Tab. 24 Skladba střechy

Materiál	Tloušťka s [mm]	Součinitel tepelné vodivosti λ [W/m·K]
Vnitřní omítka	15	0,98
Panely SPIROLL	200	0,23
Asfaltový pás GLASTEK 40	4	0,21
Střešní polystyren EPS	180	0,037
Spádové klíny EPS	90	0,037
Asfaltový pás GLASTEK 30	3	0,21
Asfaltový pás ELASTEK 40	4	0,21

3.4 Okna a dveře

Ve všech projektech jsou shodně použita okna typu trojsklo od značky VEKRA. Dveře venkovní i vnitřní jsou také stejné ve všech projektech.

3.5 Součinitel prostupu tepla

Pro správné určení tepelných ztrát objektu je důležité nejdříve stanovit hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Součinitel prostupu tepla je definován jako množství tepla, které unikne konstrukcí o ploše 1 m² při rozdílu teplot jejich povrchů 1 K.

Výpočet součinitele prostupu tepla pro neprůsvitné části konstrukce (obvodové stěny, strop) byl proveden dle normy ČSN EN ISO 6946.

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m R_n + R_{se}} = \frac{1}{R_{si} + \sum_{n=1}^m \frac{s_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}] \quad (1)$$

kde

R_{si}	vnitřní tepelný odpor při přestupu tepla	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$
R_{se}	vnější tepelný odpor při přestupu tepla	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$
R_n	tepelný odpor n-té stavební konstrukce	$[\text{m}^2 \cdot \text{K/W}]$
s_n	tloušťka n-té stavební konstrukce	$[\text{m}]$
λ_n	součinitel tepelné vodivosti n-té stěny stavební konstrukce	$[\text{W/m} \cdot \text{K}]$

Vnitřní a vnější tepelný odpor se stanoví dle směru tepelného toku stavební konstrukcí. Tyto hodnoty odporů mají konstantní hodnotu.

Tab. 25 Hodnoty tepelných odporů při prostupu tepla

Tepelný odpor při prostupu tepla [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]	Směr tepelného toku		
	Nahoru	Vodorovně	Dolů
R_{si}	0,10	0,13	0,17
R_{se}	0,04	0,04	0,04

Součinitel prostupu tepla průsvitných částí je dán dle normy ČSN EN 10 077-1 a 2 vzorcem

$$U_{okna} = \frac{\sum S_{skla} \cdot U_{skla} + \sum S_{rámu} \cdot U_{rámu} + \sum I_{skla} \cdot \psi_{skla}}{\sum S_{skla} + \sum S_{rámu}} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (2)$$

kde

U_{okna}	součinitel prostupu tepla okna	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
U_{skla}	součinitel prostupu zasklení	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
S_{skla}	plocha zasklení	$[\text{m}^2]$
$U_{rámu}$	součinitel prostupu tepla rámu	$[\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}]$
$S_{rámu}$	plocha rámu	$[\text{m}^2]$
I_{skla}	viditelný obvod zasklení	$[\text{m}]$
ψ_{skla}	lineární činitel prostupu tepla zasklení a rámu	$[\text{W}/\text{m} \cdot \text{K}]$

Hodnota součinitele prostupu tepla průsvitných částí, zde okna, může být dán od výrobce.

Dále se musí určit součinitel prostupu tepla podlahou na přilehlé zemině. Výpočet vychází z normy ČSN EN ISO 13 370.

$$d_t < B' \quad U_{podlahy} = \frac{2 \cdot \lambda_{zeminy}}{\pi \cdot B' + d_t} \cdot \ln\left(\frac{\pi \cdot B'}{d_t} + 1\right) \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (3)$$

$$d_t > B' \quad U_{podlahy} = \frac{\lambda_{zeminy}}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad [\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}] \quad (4)$$

kde

d_t	celková ekvivalentní tloušťka podlahy	[m]
B'	charakteristický parametr	[m]
λ_{zeminy}	tepelná vodivost	[W/m·K]

$$B' = \frac{S_{podlahy}}{0,5 \cdot O_{podlahy}} \quad [m], \quad (5)$$

kde

$S_{podlahy}$	plocha podlahy	[m ²]
$O_{podlahy}$	obvod podlahy oddělující vytápěný prostor uvažované části podlahy od venkovního prostředí	[m ²]

$$d_t = w + \lambda_{zeminy} \cdot (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad [m] \quad (6)$$

kde

w	celková tloušťka obvodových stěn obsahující všechny vrstvy (tj. svislé stěny)	[m]
R_{si}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnitřní stěně (dle ČSN EN ISO 6946 $R_{si}=0,17$; tepelný tok dolů)	[m ² ·K/W]
R_f	tepelný odpor podlahy	[m ² ·K/W]
R_{se}	tepelný odpor při přestupu tepla na vnější stěně (dle ČSN EN ISO 6946 $R_{si}=0,04$; tepelný tok dolů)	[m ² ·K/W]

Vypočtené hodnoty součinitele prostupu tepla u všech tří projektů vyhovují daným požadavkům dle norem. Tyto výsledné hodnoty jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 26 Hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých projektů

	Svislé konstrukce	Vodorovné konstrukce		Výplně	
	Obvodové stěny	Podlaha	Strop/Střecha	Okna	Dveře
	U				
[W/m ² ·K]					
Mauna	0,1	0,12 ¹⁾	0,12	0,7	0,97
Orlando	0,1	0,12 ¹⁾	0,11	0,7	0,97
Dakota	0,1	0,12 ¹⁾	0,14	0,7	0,97
¹⁾ jedná se o místnost číslo 1, mají nejvyšší hodnotu součinitele prostupu tepla					

4 Tepelné ztráty

Tepelné ztráty se počítají dle normy ČSN EN 12 831.

Celkové tepelné ztráty objektu jsou dány dvěma částmi. První částí je součet všech tepelných ztrát prostupem do venkovního prostředí. Druhá část představuje tepelnou ztrátu větráním. Tepelné ztráty prostupem tepla můžeme snížit lepší obálkou budovy, což může představovat dostatečně kvalitní materiál nebo přidání tepelné izolace. Tepelnou ztrátu větráním můžeme snížit rekuperační jednotkou pro zpětné získávání tepla.

$$\Phi_{HL,i} = \Phi_{T,i} + \Phi_{V,i} \quad [\text{W}] \quad (7)$$

kde

$$\Phi_{HL,i} \quad \text{návrhový tepelný výkon budovy} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{T,i} \quad \text{návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru} \quad [\text{W}]$$

$$\Phi_{V,i} \quad \text{návrhová tepelná ztráta větráním vytápěného prostoru} \quad [\text{W}]$$

4.1 Tepelné ztráty prostupem

Celková tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru se stanoví dle rovnice

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,ia} + H_{T,iae} + H_{T,iaeBE} + H_{T,ig}) \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \quad [\text{W}] \quad (8)$$

kde

$\Phi_{T,i}$	celková návrhová tepelná ztráta prostupem vytápěného prostoru	[W]
$H_{T,ie}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí	[W/K]
$H_{T,ia}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedního vytápěného prostoru	[W/K]
$H_{T,iae}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do venkovního prostředí přes sousední nevytápěný prostor	[W/K]
$H_{T,iaBE}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousední funkční části budovy	[W/K]
$H_{T,ig}$	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do zeminy	[W/K]
$\theta_{int,i}$	vnitřní výpočtová teplota	[°C]
θ_e	vnější výpočtová teplota	[°C]

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru přímo do venkovního prostředí se vypočítá

$$H_{T,ie} = \sum_k (A_k \cdot (U_k + \Delta U_{TB}) \cdot f_{U,k} \cdot f_{ie,k}) \quad [\text{W/K}] \quad (8)$$

kde

A_k	plocha stavební části	[m ²]
U_k	součinitel prostupu tepla stavební části	[W/m ² ·K]
ΔU_{TB}	přirážka na vliv tepelných vazeb	[W/m ² ·K]
$f_{U,k}$	opravný činitel zohledňující vliv vlastností stavebních částí a povětrnostní vlivy, které nebyly uvažovány při stanování příslušných U-hodnot	[-]
$f_{ie,k}$	teplotní opravný činitel	[-]

V našem případě bude hodnota ΔU_{TB} rovna 0,02. Což odpovídá optimalizovanému řešení, kdy se jedná o konstrukci téměř bez tepelných mostů. Oba opravné činitele budou rovny 1.

Měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostoru do sousedního vytápěného nebo nevytápěného, nebo přes něj, kdy sousedním prostorem může být jiná vytápěná místnost, jiná funkční část budovy, nevytápěný prostor či přilehlá budova, se stanoví dle rovnice

$$H_{T,ia} = \sum_k (A_k \cdot U_k \cdot f_{ia,k}) \quad [\text{W/K}] \quad (9)$$

kde

$$f_{ia,k} \quad \text{teplotní opravný činitel} \quad [-]$$

$$f_{ia,k} = \frac{\theta_{int,i} - \theta_{ia}}{\theta_{int,i} - \theta_e} \quad [-] \quad (10)$$

kde

$$\theta_{ia} \quad \text{teplota vnitřního vzduchu sousedních prostor} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

Měrný tepelný tok prostupem do zeminy se zanedbáním vlivu okrajové izolace počítá dle rovnice

$$H_{T,g} = S_{podlahy} \cdot U_{podlahy} \quad [\text{W/K}] \quad (11)$$

kde

$$S_{podlahy} \quad \text{plocha podlahy} \quad [\text{m}^2]$$

$$U_{podlahy} \quad \text{součinitel prostupu tepla podlahy} \quad [\text{W/m}^2 \cdot \text{K}]$$

4.2 Tepelné ztráty větráním

Z hygienických důvodů by mělo docházet k výměně vzduchu v budově. Při výměně vzduchu však je nutné hradit tepelnou energii pro ohřev čerstvého venkovního vzduchu. K co největší minimalizaci tepelných ztrát větráním se při nuceném větrání používá rekuperační jednotka, který využívá zpětné získávání tepla. Tepelné ztráty větráním se počítají dle rovnice

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\theta_{int,i} - \theta_e) \cdot (1 - \eta_t) \quad [\text{W}] \quad (12)$$

kde

$$H_{V,i} \quad \text{měrný tepelný tok větráním} \quad [\text{W/K}]$$

$$\eta_t \quad \text{účinnost rekuperační jednotky} \quad [-]$$

Rekuperační jednotky byly zvoleny do každého projektu jiné. V obytném domě Mauna se použila rekuperační jednotka Venus HRV-14 s účinností 91,7 %. Do projektu Orlando byla přidána rekuperační jednotka Duplex 170 EC5 od firmy Atrea s účinností 84 %. Do rodinného domu Dakota se použila jednotka Domeo 21 FL s účinností 88,5 %.

Jak je vidět z hodnot účinnosti pro jednotlivé rodinné domy, rozdíl mezi účinnostmi je téměř 8 %. Záleží tedy na výběru rekuperační jednotky a poté taky na množství větraného vzduchu.

Měrný tepelný tok větráním se určí se vzorce

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot c_p \cdot \rho \quad [\text{W/K}] \quad (13)$$

kde

$$\dot{V}_i \quad \text{objemový průtok vzduchu} \quad [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$c_p \quad \text{měrná tepelná kapacita vzduchu} \quad [\text{J}/\text{kg} \cdot \text{K}]$$

$$\rho \quad \text{hustota vzduchu} \quad [\text{kg}/\text{m}^3]$$

V projektech budeme uvažovat nucené rovnotlaké větrání. Pro dodržení hygienických požadavků musíme tedy určit minimální množství větraného vzduchu.

$$\dot{V}_i = V_i \cdot n_{min} \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (14)$$

kde

V_i objem vytápěné místnosti $[\text{m}^3]$

n_{min} minimální intenzita větraného vzduchu $[1/\text{h}]$

Hodnoty minimální intenzity větraného vzduchu jsou dány normou ČSN EN 12 831. Pro správné dodržení hygienických požadavků se doporučuje minimální hodnota $n_{min} = 0,3 [\text{h}^{-1}]$. Místnosti vyžadující větší potřebu výměny vzduchu však tuto hodnotu mohou i násobně překročit.

4.3 Celkové tepelné ztráty

Výsledné tepelné ztráty zahrnují ztráty prostupem a ztráty větráním. Pro každý rodinný dům jsou přehledně v tabulce.

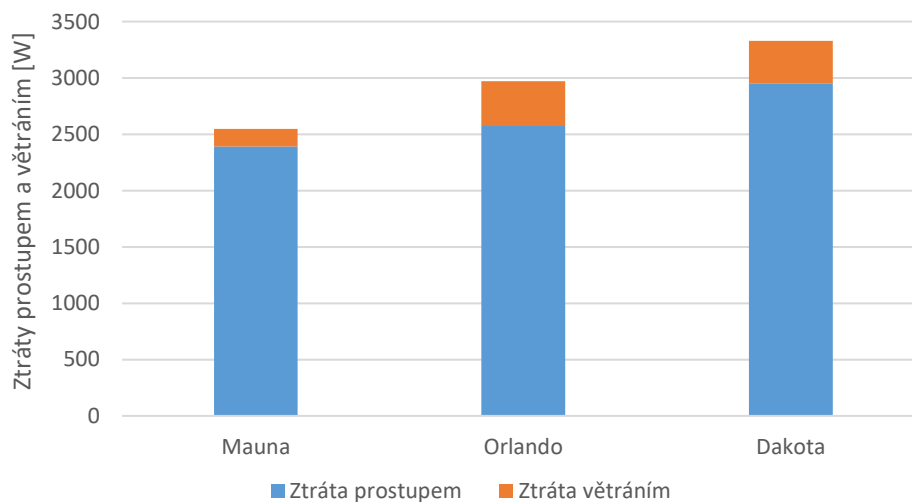
Tab. 27 Celkové tepelné ztráty (Mauna)

Místnost	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i} [\text{W}]$	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i} [\text{W}]$	Celková tepelná ztráta $\Phi [\text{W}]$
1.01	468	14	482
1.02	212	35	247
1.03	250	14	264
1.04	85	9	94
1.05	34	0	34
1.06	9	0	9
1.07	55	0	55
1.08	181	12	193
1.09	278	0	278
1.10	821	70	891
Celkem	2392	154	2546

Tab. 28 Porovnání celkové tepelné ztráty (Mauna, Orlando, Dakota)

Název projektu	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Celková tepelná ztráta Φ [W]
Mauna	2392	154	2546
Orlando	2574	398	2973
Dakota	2948	382	3330

Tepelné ztráty u všech rodinných domů nejsou příliš velké. U tepelné ztráty prostupem je to dáno kvalitní obálkou budovy, kdy u všech variant byly použity materiály s dostatečnou tepelnou izolací. U varianty Dakota je hodnota tepelné ztráty nejvyšší, což je zapříčiněno tím, že jako jediná má více pater a největší půdorysnou plochu. Při porovnání hodnot tepelných ztrát větráním si lze povšimnout, že projekt Orlando má ztrátu nejvyšší. Ač je hodnota větraného vzduchu u projektu Dakota vyšší, v tomto případě může hrát roli nejnižší účinnost rekuperační jednotky.



Obr. 1 Celková ztráta tepla

5 Tepelné zisky

Celkové tepelné zisky, které se skládají z vnitřních a vnějších tepelných zisků byly vypočteny dle normy ČSN EN ISO 13 790.

5.1 Vnitřní tepelné zisky

Vnitřní tepelné zisky jsou dany produkcí tepla uvnitř objektu. Produkované teplo vytvářejí lidé svojí přítomností, ale také domácí spotřebiče, umělé osvětlení či jakákoliv jiná elektronika uvnitř objektu. Pro všechny varianty rodinných domů budeme uvažovat 4 osoby.

$$\Phi_{zisk, vnitřní} = \Phi_{s,o} \cdot f + \Phi_{s,p} \quad [\text{W}] \quad (15)$$

kde

$\Phi_{s,o}$	tepelný tok od osob, domácích spotřebičů a umělého osvětlení; 100 W/osobu	[W]
f	koefficient přítomnosti osob v budově; 0,7	[-]
$\Phi_{s,p}$	tepelný tok na každou bytovou jednotku bez ohledu na přítomnost osob; 100 W/bytovou jednotku	[W]

Pro všechny modely budou hodnoty vnitřních tepelných zisků stejné při 70% přítomnosti osob v domácnosti během roku. Zisky jsou vypočteny podle hodinové metody v kWh.

5.2 Vnější tepelné zisky

V důsledku slunečního záření vznikají vnější tepelné zisky. Velikost těchto zisků závisí na orientaci sběrných ploch, geometrii budovy, prostupnost a pohltivosti slunečního záření. Solární zisky výrazně snižují potřebu tepla na vytápění.

$$\Phi_{sol} = F_{sh} \cdot (\sum A_{sol}) \cdot I_{sol} - F_{r,i} \cdot \Phi_{r,i} \quad [\text{W}] \quad (16)$$

kde

Φ_{sol} solární tepelný tok [W]

F_{sh} korekční součinitel stínění na externí překážky [-]

A_{sol} účinná sběrná plocha s danou úhlem sklonu [m²]

I_{sol} sluneční ozáření za jednotku času [W/m²]

$F_{r,i}$ faktor osálení mezi daným stavebním prvkem a oblohou [-]

$\Phi_{r,i}$ přídavný tepelný tok v důsledku sálení mezi oblohou a prvkem i [W]

Tab. 29 Celkové solární záření za měsíc

Měsíc	Počet dnů	Střední teplota	Celkové solární záření za měsíc				
	n [den]		t _{ep} [°C]	I _{sol} [kWh/m ²]			
		S		J	V	Z	Horizont
Leden	31	-1	7	50	15	20	23
Únor	28	1	13	56	26	28	40
Březen	31	4	23	82	51	53	79
Duben	30	9	32	95	74	72	118
Květen	31	14,6	47	97	104	93	161
Červen	30	17	52	87	115	88	166
Červenec	31	18,2	47	93	100	93	162
Srpen	31	18,8	38	100	88	88	143
Září	30	13,8	24	95	60	64	96
Říjen	31	9,4	17	75	34	48	57
Listopad	30	4	9	36	14	18	24
Prosinec	31	-0,5	6	29	11	12	17

Z tabulky 30 lze vyčíst, že největší energie slunečního záření dopadá na plochy směřované na jih. Proto by měl být obytný dům směřován s co nejvíce průsvitnými plochami na jih. Tím se dají maximalizovat solární zisky.

Tab. 30 Korekční činitelé na stínění a osálení

Korekce stínění na externí překážky	Faktor osálení mezi stavebním prvkem a oblohou	
	Horizontální	Vertikální
F_{sh} [-]	$F_{r,i}$ [-]	
1	1	0,5

Výpočet účinné sběrné plochy zasklených prvků je dán vztahem

$$A_{sol} = F_{sh,gl} \cdot g_{gl} \cdot (1 - F_f) \cdot A_{w,p} \quad [m^2] \quad (17)$$

kde

$F_{sh,gl}$	korekční činitel stínění	[-]
g_{gl}	celková propustnost průhlednými prvky	[-]
F_f	podíl plochy rámu	[-]
$A_{w,p}$	celková pohledová plocha zaskleného prvku	$[m^2]$

$$g_{gl} = F_w \cdot g_{gl,n} \quad [-] \quad (18)$$

kde

F_w	korekční činitel pro nerozptylující zasklení	[-]
$g_{gl,n}$	celková propustnost zasklení	[-]

Tab. 31 Parametry k výpočtu solárních zisků (Orlando)

Korekční činitel stínění	Celková propustnost zasklení	Korekce pro nerozptyl. zasklení	Celková propustnost průhlednými prvky	Podíl plochy rámu
$F_{sh,gl} [-]$	$g_{gl,n} [-]$	$F_w [-]$	$g_{gl} [-]$	$F_f [-]$
0,8	0,5	0,9	0,45	0,2

Účinná sběrná plocha vnějších tepelných zisků neprůsvitnými konstrukcemi se určí vzorcem

$$A_{sol} = \alpha_{s,c} \cdot R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,p} \quad [m^2] \quad (19)$$

kde

$\alpha_{s,c}$	pohltivost slunečního záření neprůhledných prvků; 0,6	[-]
R_{se}	tepelný odpor přestupu tepla na vnějším povrchu; 0,04 m ² /K·W	[m ² /K·W]
U_c	součinitel prostupu tepla neprůhledných částí	[W/m ² ·K]
$A_{c,p}$	pohledová plocha neprůhledných částí	[m ²]

K tepelných ziskům můžeme přidat také přídatný tepelný tok důsledkem sálání vůči obloze

$$\Phi_{r,i} = R_{se} \cdot U_c \cdot A_{c,p} \cdot h_r \cdot \Delta t_{e,r} \quad [W] \quad (20)$$

kde

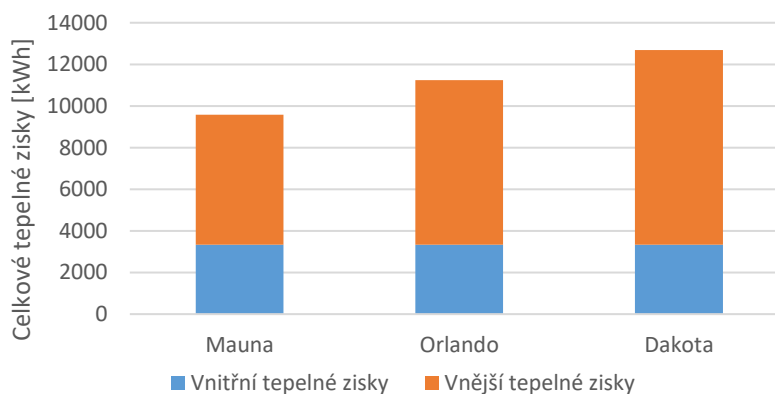
h_r	součinitel přestupu tepla na vnější straně; 5 W/m ² ·K	[W/m ² ·K]
$\Delta t_{e,r}$	střední rozdíl venkovní teploty vzduchu a zdánlivé teploty oblohy; 11 K pro mírné teplotní pásmo	[°C]

Z výpočtů provedených na základě vzorců uvedených výše byly spočítány celkové tepelné zisky.

Tab. 32 Celkové tepelné zisky (Orlando)

Měsíc	Vnitřní tepelné zisky	Vnější tepelné zisky	Celkové tepelné zisky
	$Q_{H,int}$ [kWh]	$Q_{H,sol}$ [kWh]	$Q_{H,gn}$ [kWh]
Leden	283	318	600
Únor	255	397	652
Březen	283	661	943
Duben	274	846	1120
Květen	283	1006	1289
Červen	274	958	1231
Červenec	283	983	1265
Srpen	283	966	1248
Září	274	781	1054
Říjen	283	581	864
Listopad	274	243	516
Prosinec	283	178	461
Celkem	3329	7916	11245

Vnitřní tepelné zisky vyšly u všech variant stejné. Čím se naopak liší, jsou solární zisky. Je to dáno různou geometrií domu a také odlišnou stavební konstrukcí. Největší solární zisky a také tedy celkové tepelné zisky má rodinný dům Dakota s hodnotou 12 688 kWh. Nejmenší vyšly tepelné zisky u varianty Mauna 9580 kWh. Projekt Orlando má celkové tepelné zisky 11 245 kWh.



Obr. 2 Celkové tepelné zisky

6 Potřeba tepla

Celková potřeba tepla je dána potřebou tepla na vytápění a přípravu teple vody. Znamená to množství energie, které je třeba dodat, abychom splnili nároky rodinného domu. Výpočty jsou provedeny dle normy ČSN EN ISO 13 790.

6.1 Potřeba tepla na vytápění

Pro správné určení potřeby tepla na vytápění musíme znát tepelné ztráty objektu, ale také tepelné zisky. Celková potřeba tepla na vytápění je dána vzorcem

$$Q_{H,nd} = a_{H,red} \cdot (Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} \cdot Q_{H,gn}) \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

kde

$Q_{H,nd}$	celková potřeba tepla na vytápění	[kWh]
$a_{H,red}$	redukční faktor na přerušené vytápění	[-]
$Q_{H,ht}$	celková potřeba tepla	[kWh]
$\eta_{H,gn}$	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]

Celková potřeba tepla určí

$$Q_{H,ht} = Q_{H,tr} + Q_{H,ve} \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

kde

$Q_{H,tr}$	potřeba tepla prostupem	[kWh]
$Q_{H,ve}$	potřeba tepla větráním	[kWh]

Potřeba tepla prostupem je dána vztahem

$$Q_{H,tr} = H_T \cdot (t_{is} - t_{ep}) \cdot n_{hod} \quad [\text{kWh}] \quad (23)$$

kde

H_T	měrný tepelný tok prostupem z vytápěného prostředí do venkovního prostředí	[W/K]
t_{is}	průměrná vnitřní teplota objektu	[°C]
t_{ep}	střední venkovní teplota v daném měsíci	[°C]
n_{hod}	počet hodin	[h]

Potřeba tepla větráním se vypočte dle rovnice

$$Q_{H,ve} = H_V \cdot (t_{is} - t_{ep}) \cdot n_{hod} \quad [\text{kWh}] \quad (24)$$

kde

H_V	měrný tepelný tok větráním	[W/K]
-------	----------------------------	-------

Faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění je dán jako funkce bilančního poměru pro vytápění a časového parametru, který závisí na tepelné setrvačnosti budovy, je dán vztahem

$$\text{Když } \gamma_H > 0 \text{ a } \gamma_H \neq 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1 - \gamma_H^{a_H}}{1 - \gamma_H^{a_H + 1}} \quad [-] \quad (25)$$

$$\text{Když } \gamma_H = 1 \quad \eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H + 1} \quad [-] \quad (26)$$

$$\text{Když } \gamma_H < 0 \quad \eta_{H,gn} = \frac{1}{\gamma_H} \quad [-] \quad (27)$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad [-] \quad (28)$$

kde

γ_H	faktor využitelnosti tepelných zisků pro vytápění	[-]
a_H	bezrozměrný časový parametr	[-]

Hodnota bezrozměrného časového parametru se určí vztahem

$$a_H = a_{H,0} + \frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad [-] \quad (29)$$

$$\tau = \frac{\frac{C_m}{3600}}{H_T + H_V} \quad [\text{h}] \quad (30)$$

kde

$a_{H,0}$ bezrozměrný číselný parametr pro měsíční metodu; 1 [-]

$\tau_{H,0}$ referenční časová konstanta; 15 h [h]

τ časová konstanta budovy [h]

C_m vnitřní tepelná kapacita budovy; 370 000 J/K [J/K]

Celkové výsledky vypočtených hodnot potřeby tepla na vytápění jsou uvedeny v tabulce.

Tab. 33 Potřeba tepla na vytápění

Měsíc	Potřeba tepla na vytápění		
	$Q_{H,nd}$ [kWh]		
	Mauna	Orlando	Dakota
Leden	1140	1251	1426
Únor	983	1073	1218
Březen	684	735	834
Duben	359	380	431
Květen	97	102	117
Červen	0	0	0
Červenec	0	0	0
Srpen	0	0	0
Září	142	152	176
Říjen	384	415	481
Listopad	834	921	1056
Prosinec	1174	1297	1480
Roční potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]	5797	6327	7219
Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok]	39,6	33,5	37,6

Z výsledků je patrné, že nejmenší potřebu tepla na vytápění má varianta Mauna s 5797 kWh/rok. Naopak největší potřebu na vytápění dosahuje projekt Dakota. Pokud ale porovnáme měrné roční potřeby na vytápění, tak se situace změní. Zde vychází dům Mauna jako nejhorší. S hodnotou 33,5 kWh/m²·rok má nejmenší měrnou roční potřebu tepla na vytápění varianta Orlando.

Všechny varianty splňují orientační hodnoty pro BTNSE. Avšak i s velmi dobrou stavební obálkou budovy, kdy hodnoty součinitele prostupu tepla jsou splněny i pro pasivní budovy, u měrné potřeby tepla na vytápění jsou hodnoty dvojnásobné než u požadavků pro pasivní domy.

6.2 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

Výpočet potřeby tepla na přípravu teplé vody se určí ze vztahu

$$Q_{TV,den} = (1 + z) \cdot \rho \cdot c \cdot V_{TV} \cdot n_{os} \cdot (t_2 - t_1) \quad [\text{W}] \quad (31)$$

kde

z	poměrný koeficient (u průtočného ohřevu je $z = 0$, jinak je závislý na celkové délce rozvodů TV a stavu tepelné izolace)	[-]
ρ	hustota vody	[kg/m ³]
c	měrná tepelná kapacita vody	[J/kg·K]
V_{TV}	potřeba teplé vody na osobu	[m ³]
n_{os}	počet osob	[-]
t_2	teplota ohřáté vody	[°C]
t_1	průměrná teplota přiváděné studené vody	[°C]

Tab. 34 Parametry pro přípravu teplé vody

z [-]	ρ [kg/m ³]	c [J/kg·K]	V_{TV} [m ³ /os. den]	n_{os} [-]	t_2 [°C]	t_1 [°C]
0,25	1000	4180	0,035	4	55	10

Všechny varianty rodinných domů mají stejnou potřebu tepla na TV, jelikož každý z projektů má stejný počet osob v domácnosti.

V červenci a srpnu se počítá se sníženou roční potřebou teplé vody o 25 %, která je dána nižší přítomností osob v domácnosti z důvodu letních prázdnin, dovolené atd.

Tab. 35 Potřeba tepla na přípravu teplé vody

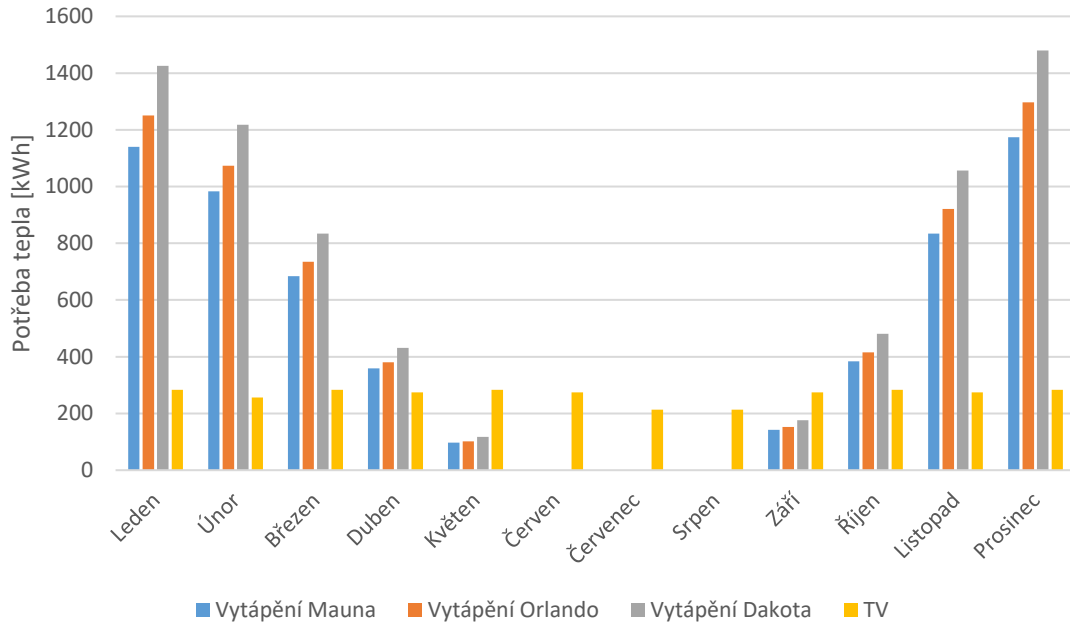
Měsíc	Počet dní	Potřeba tepla na TV
		Q_{TV} [kWh]
Leden	30	283
Únor	28	256
Březen	31	283
Duben	30	274
Květen	31	283
Červen	30	274
Červenec	31	213
Srpen	31	213
Září	30	274
Říjen	31	283
Listopad	30	274
Prosinec	31	283
Roční potřeba tepla na TV [kWh]		3196

6.3 Celková potřeba tepla

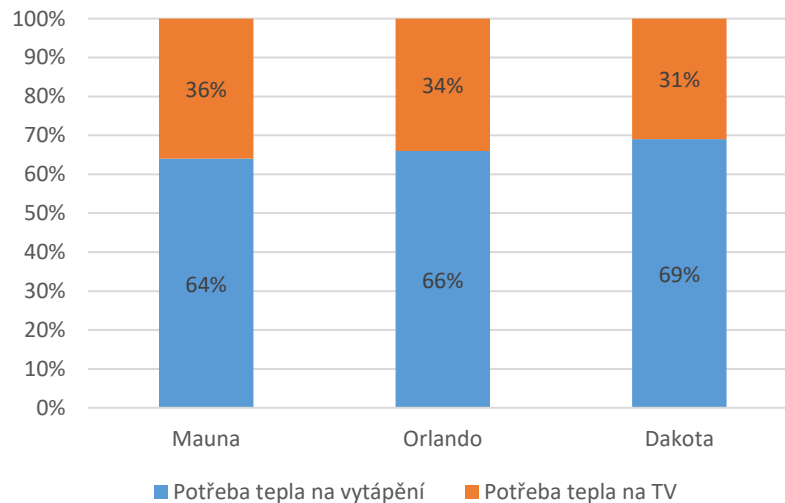
Dle výpočtů provedených výše byla vypočítána potřeba tepla, která je dána potřebou na vytápění a potřebou na přípravu teplé vody. Jelikož u přípravy TV vyšly hodnoty u všech variant stejné, nejmenší potřebu má varianta Mauna, stejně jako tomu bylo u vytápění.

Tab. 36 Celková potřeba tepla

	Mauna	Orlando	Dakota
$Q_{H,nd}$ [kWh]	5797	6327	7219
Q_{TV} [kWh]	3196	3196	3196
Celková potřeba tepla [kWh]	8992	9522	10415



Obr. 3 Porovnání potřeb tepla na vytápění a TV



Obr. 4 Porovnání potřeb tepla na vytápění a TV

Z grafů vyplývá, že procentuální výsledky jsou mezi jednotlivými variantami velmi podobné. Toho je dosaženo kvalitními izolačními materiály u všech provedení nebo stejně kvalitními výplněmi v podobě oken.

7 Změny izolačních vlastností rodinných domů

V předešlých výpočtech jsme se snažili docílit vlastností splňujících normy pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Toho se dosáhlo dobře zvolenou kombinací jednotlivých materiálů s kvalitními výplněmi otvorů.

Nyní se podíváme na to, jak se změní výsledné hodnoty, pokud uvažujeme jiné parametry pro dané budovy. Těmito parametry jsou velikost zasklení jednotlivých variant či dosažení doporučených hodnot pro pasivní domy. Toto srovnání je zajímavé z hlediska velké přísnosti pro pasivní budovy.

U BTNSE nejsou normy pro součinitele prostupu tepla nijak konkrétní. Jedním z požadavků je dosažení určitého rozmezí pro potřeby tepla na vytápění. To znamená kvalitní obálku budovy. Pasivní domy mají požadavky poněkud přísnější. Zde musí rodinný dům splnit hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce, ale také měrnou potřebu tepla na vytápění.

7.1 Změna zasklení

U budovy s kvalitní stavební obálkou je výběr typu zasklení důležitý. Zde mají všechny varianty okna typu trojsklo. Další variantou pro rodinné domy může být dvojsklo. Tento typ okna už se nenabízí v takové míře jako trojsklo, ale stále jde o kvalitní typ zasklení. Jeden z rozdílů mezi dvojsklem a trojsklem je v součiniteli prostupu tepla, kde má navrch trojsklo. Díky nižší hodnotě se sníží hodnota prostupu tepla. Avšak výhoda dvojskla je nižší cena, a protože má celkovou propustnost zasklení vyšší, budou solární zisky větší.

Tab. 37 Typ zasklení (Mauna)

	Trojsklo	Dvojsklo
Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok]	39,6	47
Roční potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]	5797	6881
Celkem za okna [Kč]	145920	106400
Roční útrata na vytápění [Kč]	9681	11491

Z tabulky je patrné, že počáteční investice do oken je vyšší. Avšak po 22 letech dojde k návratnosti této investice. Díky lepším izolačním vlastnostem okna dosáhneme nižší potřebě tepla na vytápění, tudíž každý rok se ušetří přibližně 1 810 Kč za energie. Navíc má stavební obálka budovy lepší tepelně technické vlastnosti.

Tab. 38 Typ zasklení (Orlando)

	Trojsklo	Dvojsklo
Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok]	33,5	36,7
Roční potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]	6327	6930
Celkem za okna [Kč]	185760	135450
Roční útrata na vytápění [Kč]	10566	11573

U projektu Orlando je návratnost investice delší. Té se dosáhne až po 50 letech. I zde se ovšem vyplatí umístit trojsklo. Stavební obálka bude mít lepší vlastnosti a okny nebude unikat takové množství tepla. Navíc rozdíl investice je okolo 50 000 Kč, což může být při stavbě rodinného domu s lepšími tepelně technickými vlastnostmi relativně zanedbatelná částka.

Tab. 39 Typ zasklení (Dakota)

	Trojsklo	Dvojsklo
Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok]	37,6	44,9
Roční potřeba tepla na vytápění [kWh/rok]	7219	8602
Celkem za okna [Kč]	203520	148400
Roční útrata na vytápění [Kč]	12056	14365

Porovnání mezi dvojsklem a trojsklem u rodinného domu Dakota opět nahrává variantě s trojsklem. Zde se rozdíl počáteční investice mezi danými typy pohybuje opět okolo 50 000 Kč, avšak na rozdíl od Orlanda, tento projekt má značný rozdíl u vytápění. Pokud tedy dáme dohromady investice z oken a investice do energie v průběhu let, dostaneme se k výsledným 24 rokům. Po této době se nám vrátí počáteční investice do kvalitnějšího zasklení.

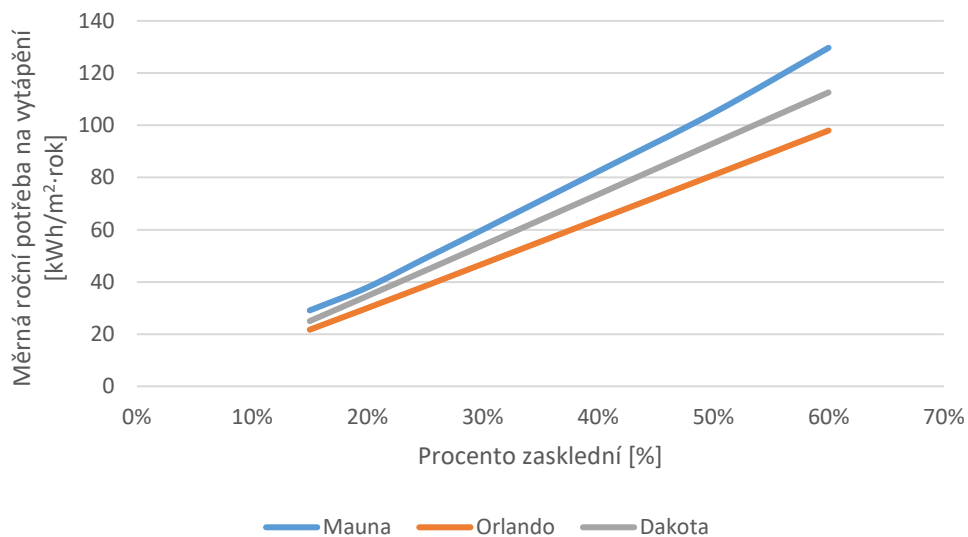
U všech tří variant jsme použili okna s trojsklem, což má za následek zkvalitnění stavební obálky a po určité době obývání i ekonomický smysl. Rozdíl v investici není velký vzhledem k nákladům na výstavbu domu a navíc se nám vždy vklad do zkvalitnění navrátí.

Dalším zajímavým parametrem u zasklení, který můžeme měnit je procento zasklení jednotlivých budov. Pokud se nám bude měnit poměr zasklení, budou se měnit určité vlastnosti budovy. S rostoucím počtem oken se nám budou zvětšovat solární zisky, které při správném natočení na světové strany můžou dosahovat nemalých hodnot. Avšak pokud se podíváme na součinitel prostupu tepla u stěny, která má dobrou podpůrnou izolaci v podobě polystyrenu, tak jsou tyto hodnoty násobně menší, než pokud budeme uvažovat okna s vynikajícími vlastnostmi.

Tab. 40 Procentuální zasklení jednotlivých projektů

Zasklení	Mauna	Orlando	Dakota
[%]	Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok]		
15 %	29,1	21,7	25,0
20 %	37,9	30,0	34,6
21 % / 22 % ¹⁾	39,6	33,5	37,6
25 %	49,0	38,4	44,3
30 %	60,0	46,9	54,0
40 %	82,3	63,9	73,5
50 %	104,7	80,9	93,1
60 %	129,7	98,0	112,6

¹⁾ jedná se o původní hodnoty (Mauna 21 %, Orlando a Dakota 22 %)



Obr. 5 Graf procentuální zasklení

Z tabulky a grafu výše vyplývá, že se zvyšujícím se procentem zasklení, potřeba tepla na vytápění roste. Abychom mohli jednotlivé varianty porovnávat, máme hodnoty v měrné roční potřebě tepla na vytápění. U BTNSE je dáno rozmezí, které splňují varianty Mauna a Dakota s 30% zasklením. Projekt Orlando se vejde do limitu i pro 40% variantu.

Pokud bychom stavěli rodinný dům s 15% zasklením, dosáhneme velmi kvalitních tepelně izolačních vlastností s nízkou hodnotou měrné potřeby tepla na vytápění. Avšak tento rodinný dům by mohl mít nedostatek přirozeného světla z oken.

Z těchto hodnot můžeme usoudit, že pokud budeme chtít mnoho francouzských oken z estetických důvodů, bude to mít za následek zhoršení tepelně izolačních vlastností a tudíž větší tepelné ztráty. Proto je důležité najít mezi těmito parametry balanc, jak pro uspokojení zákazníka v podobě rodiny obydlující dům, tak ke splnění podmínek pro návrh rodinného domu.

7.2 Porovnání s pasivními domy

Pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie jsou dány normy určující požadavky ke stavbě daného projektu. Regule ovšem nejsou natolik určující, jako je tomu například u pasivních domů. Zde normy na rozdíl od BTNSE určují i hodnoty součinitelů prostupu tepla jednotlivých konstrukcí. Společně regulují měrnou roční potřebu tepla na vytápění, kdy tato hodnota je poloviční než nejpřísnější doporučená hodnota pro BTNSE.

Zkusíme tedy porovnat a zjistit, jaké výsledky dostaneme, pokud do našich výpočtů zaimplementujeme hodnoty součinitele prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce pasivních domů uvedené v tabulce 2. Vyšší číslo z daného rozmezí je mírnější varianta, nižší číslo pro přísnější.

Tab. 41 Porovnání měrné roční potřeby tepla na vytápění s hodnotami pro pasivní domy

	Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok] mírnější	Měrná roční potřeba tepla na vytápění [kWh/m ² ·rok] přísnější
Mauna	49,5	39,0
Orlando	42,6	33,6
Dakota	50	37,8

Výsledky uvedené v tabulce jsou dle požadavků nedostačující. S těmito hodnotami bychom nesplnili podmínku pro měrnou roční potřebu tepla na vytápění 15 kWh/m²·rok. Nejbližší hodnotu má projekt Orlando, avšak i zde je výsledek dvojnásobný. Je tedy patrné, že s doporučenými hodnotami nemáme šanci splnit požadavky pro pasivní domy, které se ukazují jako velmi přísné.

Dalším zajímavým srovnáním bude, kdy dosáhneme výše nesplněných požadavků pro pasivní domy. To znamená, pro jaké hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých konstrukcí splníme $15 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{rok}$ pro měrnou roční potřebu tepla na vytápění.

Tab. 42 Součinitel prostupu tepla ke splnění požadavku pro pasivní dům (Mauna)

Část konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]
Vnější stěna	0,0025
Podlaha	0,006
Strop	0,006
Okna	0,5

Abychom splnili požadavek pro pasivní dům, museli bychom dosáhnout těchto hodnot u jednotlivých konstrukcí. Pro začátek byly do domu dány vylepšená okna. Bohužel zasklení s touto hodnotou se na trhu nenachází. I pro zbylé parametry platí, že jejich dosažení je víceméně nereálné.

Tab. 43 Součinitel prostupu tepla ke splnění požadavku pro pasivní dům (Orlando)

Část konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$\text{W/m}^2 \cdot \text{K}$]
Vnější stěna	0,007
Podlaha	0,014
Strop	0,014
Okna	0,5

Další z rodinných domů, Orlando, má k dosažení požadavků vylepšená okna. Zbylé hodnoty jsou sice vyšší, tudíž by se zdálo, že může být jejich dosažení reálné. Ovšem i tyto parametry jsou velice nízké a tudíž nemožné jich dosáhnout. Pro představu by to znamenalo mít na povrchu vnější stěny izolační polystyren o tloušťce 5 m.

Tab. 44 Součinitel prostupu tepla ke splnění požadavku pro pasivní dům (Dakota)

Část konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$]
Vnější stěna	0,02
Podlaha	0,03
Strop	0,03
Střecha	0,03
Okna	0,5

Zde vycházejí výsledky nejlépe ze všech tří variant. Opět se počítá s lepšími okny, které bohužel není možné na trhu sehnat. Ač jsou tyto hodnoty o něco blíže reálným možnostem, dosažení těchto součinitelů se jeví jako nemožné. K dosažení $0,02 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ na vnější stěně bychom museli použít izolační polystyren o tloušťce 1,5 m.

Celkově se dá tedy říci, že dosažení požadavků pro pasivní domy v našich projektech je nereálné. Velmi limitující se ukazuje hodnota zasklení. Bohužel součinitel prostupu tepla pro okna $0,7 \text{ W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$, který se může jevit jako velký v porovnání s opravdu nízkými čísly pro jednotlivé konstrukce, je na pomyslném vrcholu mezi okny. Pasivní domy se ve srovnání s BTNSE ukazují jako nepříliš vhodné řešení. Z technického hlediska není jednoduché dosáhnout určujících parametrů, ba dokonce až nereálné. Dalším důležitým aspektem se ukazuje finanční stránka. Cenový rozdíl mezi BTSNE a pasivním domem by byl obrovským. Vzhledem k dobrým izolačním vlastnostem u BTSNE by se nám investice do pasivního domu nemusela vrátit. S největší pravděpodobností by se mohl pasivní dům oproti BTSNE razantně prodražit.

8 Závěr

Cílem této práce bylo ukázat návrh tří modelů budov ke splnění požadavků pro budovy s téměř nulovou spotřebou energie. Nejdříve se vypočítal součinitel prostupu tepla pro jednotlivé konstrukce, z čehož se určily tepelné ztráty a zisky. Následně se spočítala měrná potřeba tepla na vytápění. Ač se budovy liší konstrukcí a velikostí, výsledky jsou velmi podobné. U všech variant došlo ke splnění požadavku se značnou rezervou.

Důležitým aspektem při výstavbě rodinného domu je správně zvolená varianta zasklení. Některé varianty počítají s velkými francouzskými okny, u kterých může docházet k velkým tepelným ztrátám. Ve výpočtech bylo ukázáno, jaký vliv mají okna typu trojsklo nebo dvojsklo. Dále byly porovnány varianty s různým procentuálním zasklením, kdy díky horšímu součiniteli prostupu tepla docházelo se zvyšujícím se zasklením ke zhoršování výsledných hodnot.

Porovnály se také rodinné domy typu BTSNE a pasivní dům. Výsledek ukázal skoro až nereálnost výstavby našich projektů jako pasivních domů. Tyto přísné požadavky mohou mít za následek velké prodražení projektu.

9 Seznam zdrojů

- [1] ČSN 73 0540-2 *Tepelná ochrana budov – Část 2: Požadavky*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [2] *Požadavky na energetickou náročnost budov se stavebním povolením od 1. 1. 2020* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/energeticka-ucinnost/2019/11/NZEB-pozadavky-web-MPO.pdf>.
- [3] ČSN EN 12831-1 *Energetická náročnost budov – Výpočet tepelného výkonu – Část 1: Tepelný výkon pro vytápění, Modul M3-3*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [4] ČSN EN ISO 13770 *Tepelné chování budov – Přenos tepla zeminou – Výpočtové metody*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [5] ČSN EN ISO 13790 *Energetická náročnost budov – Výpočet spotřeby energie na vytápění a chlazení*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009.
- [6] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet tepelných ztrát*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/001_Tepelne_ztraty_New_2019.pdf.
- [7] VAVŘIČKA, Roman. *Výpočet potřeby tepla a paliva*. [online]. Ústav techniky prostředí. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: users.fs.cvut.cz/roman.vavricka/Vytapeni/002_Potreba_tepla.pdf.
- [8] *Skladba podlahy – konstrukcí u běžného rodinného domu* [online]. 1 topení levně. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.1-topeni-levne.cz/technicke-informace/skladba-podlahy-konstrukci-u-bezneho-rodinneho-domu>.
- [9] *Produkty Wienerberger* [online]. Wienerberger. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.wienerberger.cz/produkty/>.
- [10] *Výrobky Heluz* [online]. Heluz. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/cs/vyroby/cihly-pro-obvodove-a-vnitri-zdivo>.

- [11] *Stavebniny DEK* [online]. DEK. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.dek.cz/sekce/3-stavebniny>.
- [12] *E-STAVEBNINY* [online]. E-STAVEBNINY. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.e-stavebniny.cz/index.php>.
- [13] *Produkty CEMEX* [online]. CEMEX. [cit. 10. 7. 2020] Dostupné z: <https://www.cemex.cz/beton-lite-smesi-podlahy-kamenivo-cement>.
- [14] *Podlahy Floorwood* [online]. Floorwood. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.floorwood.cz/podlahy>.
- [15] *Pozemní stavby PREFA* [online]. PREFA BRNO. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.prefa.cz/pozemni-stavby/>
- [16] *Produkty VEKRA* [online]. VEKRA. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.vekra.cz>.
- [17] *Rekuperační jednotka Venus* [online]. Multivac. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <http://www.multivac.cz/produkty/rekuperacni-jednotky-venus>
- [18] *Rekuperační jednotka Atrea DUPLEX* [online]. Atrea. [cit. 10. 7. 2020]. Dostupné z: <https://www.atrea.cz/cz/duplex-170-370-570-ec5>.
- [19] *Rekuperační jednotka DOMEO 210 FL* [online]. Elektrodesign ventilátory s.r.o. [cit 10. 7. 2020]. Dostupné z: <http://www.elektrodesign.cz/web/cs/product/domeo-210-fl-rekuperacni-jednotka>.

10 Seznam obrázků

Obr. 1 Celková ztráta tepla	34
Obr. 2 Celkové tepelné zisky	39
Obr. 3 Porovnání potřeb tepla na vytápění a TV	45
Obr. 4 Porovnání potřeb tepla na vytápění a TV	45
Obr. 5 Graf procentuální zasklení	49

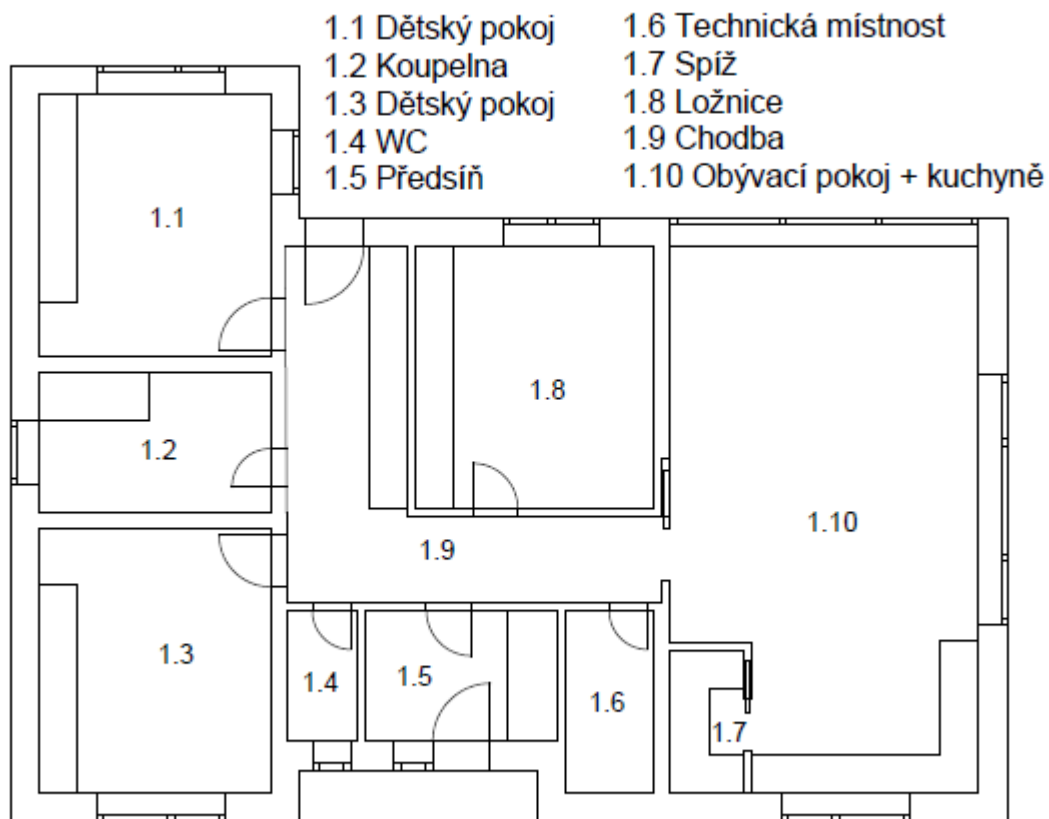
11 Seznam tabulek

Tab. 1 Požadované hodnoty průměrného součinitele prostupu tepla pro budovy s převažující návrhovou vnitřní teplotou θ_{im} v intervalu 18°C až 22°C včetně [1].....	13
Tab. 2 Požadované a doporučené hodnoty součinitele prostupu tepla [1].....	14
Tab. 3 Základní vlastnosti pasivních budov [1].....	15
Tab. 4 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie pasivních budov (hodnotí se položky označené X) [1].....	15
Tab. 5 Referenční hodnota faktoru energetické přeměny pro přepočítání na hodnoty primární energie z neobnovitelných zdrojů [1]	16
Tab. 6 Základní požadavky na energeticky nulové budovy [1].....	17
Tab. 7 Přehled energetických potřeb zahrnutých do hodnocení primární energie energeticky nulové budovy (hodnotí se položky označené X) [1]	18
Tab. 8 Orientační hodnoty daných typů budov [2].....	19
Tab. 9 Skladba obvodové stěny	20
Tab. 10 Skladba nosného zdiva	20
Tab. 11 Skladba příčky	21
Tab. 12 Skladba podlahy	21
Tab. 13 Skladba stropu	21
Tab. 14 Skladba obvodové stěny	22
Tab. 15 Skladba nosného zdiva	22
Tab. 16 Skladba příčky	22
Tab. 17 Skladba podlahy	23
Tab. 18 Skladba střechy.....	23
Tab. 19 Skladba obvodové stěny	24

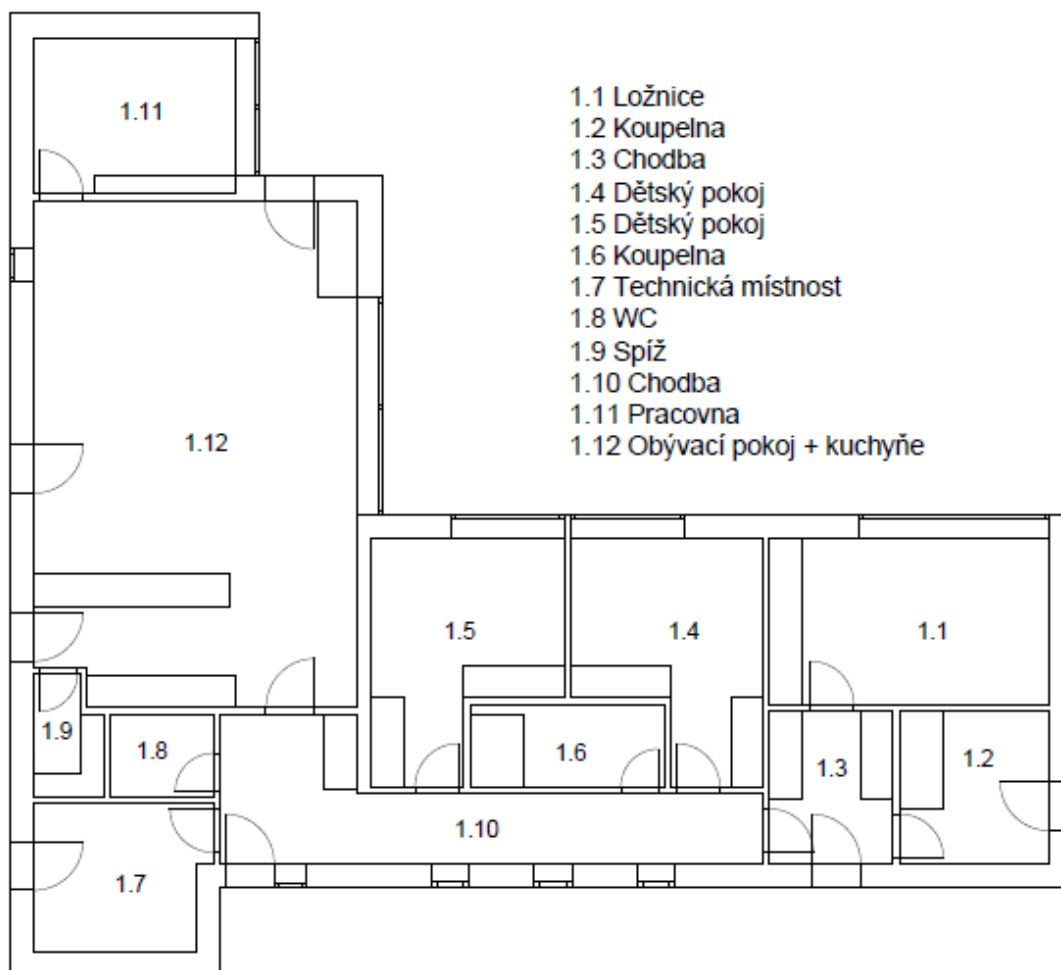
Tab. 20 Skladba nosného zdiva	24
Tab. 21 Skladba příčky	24
Tab. 22 Skladba podlahy	25
Tab. 23 Skladba stropu	25
Tab. 24 Skladba střechy.....	25
Tab. 25 Hodnoty tepelných odporů při prostupu tepla	27
Tab. 26 Hodnoty součinitele prostupu tepla jednotlivých projektů.....	29
Tab. 27 Celkové tepelné ztráty (Mauna)	33
Tab. 28 Porovnání celkové tepelné ztráty (Mauna, Orlando, Dakota)	34
Tab. 29 Celkové solární záření za měsíc	36
Tab. 30 Korekční činitelé na stínění a osálení	37
Tab. 31 Parametry k výpočtu solárních zisků (Orlando)	38
Tab. 32 Celkové tepelné zisky (Orlando)	39
Tab. 33 Potřeba tepla na vytápění.....	42
Tab. 34 Parametry pro přípravu teplé vody	44
Tab. 35 Potřeba tepla na přípravu teplé vody	44
Tab. 36 Celková potřeba tepla	45
Tab. 37 Typ zasklení (Mauna).....	47
Tab. 38 Typ zasklení (Orlando).....	47
Tab. 39 Typ zasklení (Dakota)	48
Tab. 40 Procentuální zasklení jednotlivých projektů.....	49
Tab. 41 Porovnání měrné roční potřeby tepla na vytápění s hodnotami pro pasivní domy	50
Tab. 42 Součinitel prostupu tepla ke splnění požadavku pro pasivní dům (Mauna).....	51
Tab. 43 Součinitel prostupu tepla ke splnění požadavku pro pasivní dům (Orlando)....	51
Tab. 44 Součinitel prostupu tepla ke splnění požadavku pro pasivní dům (Dakota)	52

12 Přílohy

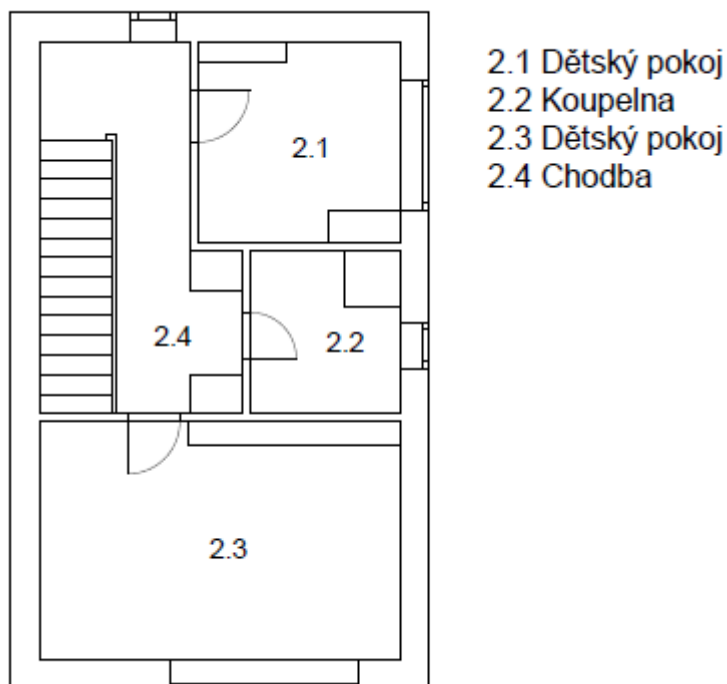
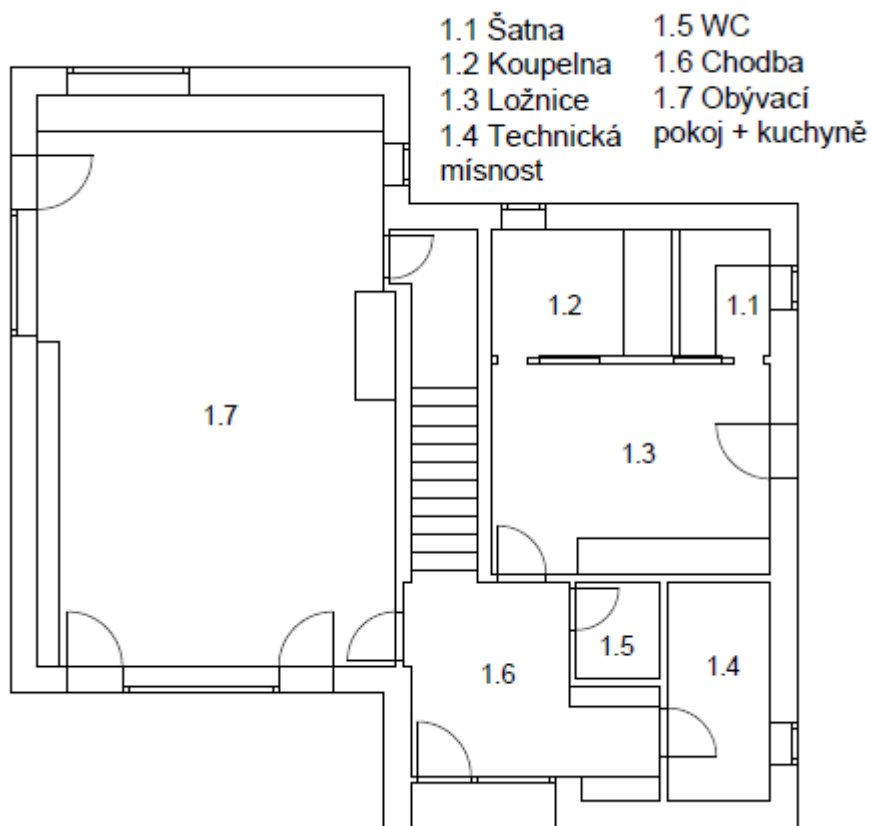
Příloha 1 – Půdorys (Mauna)



Příloha 2 – Půdorys (Orlando)



Příloha 3 – Půdorys (Dakota)



Příloha 4 - Tepelné ztráty (Orlando)

Místnost	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Celková tepelná ztráta Φ [W]
1.01	326	36	362
1.02	309	78	387
1.03	92	0	92
1.04	168	26	194
1.05	168	26	194
1.06	166	41	207
1.07	103	0	103
1.08	49	18	67
1.09	87	0	87
1.10	195	0	195
1.11	446	31	477
1.12	466	140	606
Celkem	2574	398	2976

Příloha 5 - Tepelné ztráty (Dakota)

Místnost	Tepelná ztráta prostupem $\Phi_{T,i}$ [W]	Tepelná ztráta větráním $\Phi_{V,i}$ [W]	Celková tepelná ztráta Φ [W]
1.01	34	0	34
1.02	279	42	321
1.03	127	28	155
1.04	-36	0	-36
1.05	35	9	44
1.06	270	0	270
1.07	1151	211	1362
2.01	169	20	189
2.02	296	37	333
2.03	408	34	442
2.04	212	0	212
Celkem	2948	382	3330

Příloha 6 - Celkové solární zisky (Mauna)

Měsíc	Tepelný tok solárních zisků									Celkový tepelný tok solárních zisků
	Průsvitné konstrukce				Neprůsvitné konstrukce					
	S	J	V	Z	S	J	V	Z	střecha	
	Q _{sol} [kWh]									Q _{sol} [kWh]
Leden	10	211	5	37	0	0	0	0	0	263
Únor	25	237	10	53	0	1	0	0	0	326
Březen	48	353	21	106	0	2	0	0	0	530
Duben	69	410	31	146	0	3	2	2	0	662
Květen	104	419	43	190	0	3	4	3	14	781
Červen	116	375	48	179	0	2	5	3	16	744
Červenec	104	401	42	190	0	3	4	3	14	761
Srpen	83	433	37	179	0	3	3	3	8	748
Září	50	410	25	129	0	3	1	1	0	619
Říjen	34	322	13	95	0	2	0	0	0	466
Listopad	15	149	5	33	0	0	0	0	0	201
Prosinec	8	118	4	20	0	0	0	0	0	149

Příloha 7 - Celkové solární zisky (Orlando)

Měsíc	Tepelný tok solárních zisků									Celkový tepelný tok solárních zisků
	Průsvitné konstrukce				Neprůsvitné konstrukce					
	S	J	V	Z	S	J	V	Z	střecha	
	Q _{sol} [kWh]									Q _{sol} [kWh]
Leden	7	234	11	65	0	0	0	0	0	263
Únor	16	264	20	96	0	0	1	0	0	326
Březen	32	393	42	190	0	0	3	1	1	530
Duben	46	457	62	262	0	0	4	3	2	662
Květen	69	467	88	341	0	0	4	7	5	781
Červen	77	418	97	322	0	1	4	8	4	744
Červenec	69	447	84	341	0	0	4	6	5	761
Srpen	55	482	74	322	0	0	5	5	4	748
Září	33	457	50	231	0	0	4	2	2	619
Říjen	22	358	27	171	0	0	3	0	0	466
Listopad	10	165	10	58	0	0	0	0	0	201
Prosinec	5	130	7	35	0	0	0	0	0	149

Příloha 8 - Celkové solární zisky (Dakota)

Měsíc	Tepelný tok solárních zisků									Celkový tepelný tok solárních zisků
	Průsvitné konstrukce				Neprůsvitné konstrukce					
	S	J	V	Z	S	J	V	Z	střecha	
	Q _{sol} [kWh]									Q _{sol} [kWh]
Leden	7	285	38	40	0	0	0	0	0	371
Únor	17	321	72	58	0	1	0	0	0	469
Březen	33	477	148	116	0	3	1	1	0	779
Duben	48	555	219	159	0	4	3	3	9	1001
Květen	72	567	311	208	0	4	7	6	25	1199
Červen	80	507	344	196	1	4	8	5	27	1172
Červenec	72	543	298	208	0	4	6	6	25	1163
Srpen	58	585	262	196	0	5	5	5	18	1133
Září	35	555	176	141	0	4	2	2	2	916
Říjen	23	435	96	104	0	3	0	0	0	662
Listopad	11	201	35	36	0	0	0	0	0	282
Prosinec	6	159	26	22	0	0	0	0	0	212

Příloha 9 – Celková potřeba tepla (Mauna)

Měsíc	Počet dnů	Počet hodin	Střední venkovní teplota	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy	Potřeba tepla prostupem	Měrný tepelný tok větráním	Potřeba tepla větráním	Celková potřeba tepla	Vnitřní tepelné zisky	Solární tepelné zisky	Celkové tepelné zisky	Bilanční poměr pro režim vytápění	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění	Redukční faktor na přerušené vytápění	Potřeba tepla	
	n	t _{hod}	t _{ep}	H _T	Q _{H,tr}	H _V	Q _{H,ve}	Q _{H,ht}	Q _{H,int}	Q _{H,soł}	Q _{H,gn}	γ _H	η _{H,gn}	α _{H,red}	Q _{H,nd}	
	[den]	[hod]	[°C]	[W/K]	[kW/h]	[W/K]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[-]	[-]	[-]	[kWh]	
Leden	31	744	-1	74	1550	5	8	1558	283	263	546	0,35	0,77	1	1140	
Únor	28	672	1		1402		7	1409	581	255	326	581	0,41		0,73	983
Březen	31	744	4		1179		6	1185	813	283	530	813	0,69		0,62	684
Duben	30	720	9		808		4	812	936	274	662	936	1,15		0,48	359
Květen	31	744	14,6		393		2	395	1063	283	781	1063	2,7		0,28	97
Červen	30	720	17		0		0	0	1018	274	744	1018	0		0	0
Červenec	31	744	18,2		0		0	0	1044	283	761	1044	0		0	0
Srpen	31	744	18,8		0		0	0	1031	283	748	1031	0		0	0
Září	30	720	13,8		452		2	454	893	274	619	893	1,97		0,35	142
Říjen	31	744	9,4		788		4	783	749	283	466	749	0,96		0,53	384
Listopad	30	720	4		1179		6	1185	475	274	201	475	0,40		0,74	834
Prosinec	31	744	-0,5		1513		8	1521	432	283	149	432	0,28		0,80	1174

Příloha 10 – Celková potřeba tepla (Orlando)

Měsíc	Počet dnů	Počet hodin	Střední venkovní teplota	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy	Potřeba tepla prostupem	Měrný tepelný tok větráním	Potřeba tepla větráním	Celková potřeba tepla	Vnitřní tepelné zisky	Solární tepelné zisky	Celkové tepelné zisky	Bilanční poměr pro režim vytápění	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění	Redukční faktor na přerušené vytápění	Potřeba tepla
	n	t _{hod}	t _{ep}	H _T	Q _{H,tr}	H _V	Q _{H,ve}	Q _{H,lt}	Q _{H,int}	Q _{H,soł}	Q _{H,gn}	γ _H	η _{H,gn}	α _{H,red}	Q _{H,md}
	[den]	[hod]	[°C]	[W/K]	[kW/h]	[W/K]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[-]	[-]	[-]	[kWh]
Leden	31	744	-1	79	1668	12	40	1708	283	318	600	0,35	0,76	1	1251
Únor	28	672	1		1509		37	1546	255	397	652	0,42	0,73		1073
Březen	31	744	4		1271		31	1302	283	661	943	0,72	0,6		735
Duben	30	720	9		874		21	895	274	846	1120	1,25	0,46		380
Květen	31	744	14,6		429		10	440	283	1006	1289	2,93	0,26		102
Červen	30	720	17		0		0	0	274	958	1231	0	0		0
Červenec	31	744	18,2		0		0	0	283	983	1265	0	0		0
Srpen	31	744	18,8		0		0	0	283	966	1248	0	0		0
Září	30	720	13,8		493		12	505	274	781	1054	2,09	0,33		152
Říjen	31	744	9,4		842		20	863	283	581	864	1	0,52		415
Listopad	30	720	4		1271		31	1302	274	243	516	0,40	0,74		921
Prosinec	31	744	-0,5		1628		39	1668	283	178	461	0,28	0,80		1297

Příloha 11 – Celková potřeba tepla (Dakota)

Měsíc	Počet dnů	Počet hodin	Střední venkovní teplota	Měrný tepelný tok prostupem celé budovy	Potřeba tepla prostupem	Měrný tepelný tok větráním	Potřeba tepla větráním	Celková potřeba tepla	Vnitřní tepelné zisky	Solární tepelné zisky	Celkové tepelné zisky	Bilanční poměr pro režim vytápění	Faktor využitelnosti tep. zisků pro vytápění	Redukční faktor na přerušené vytápění	Potřeba tepla
	n	t _{hod}	t _{ep}	H _T	Q _{H,tr}	H _V	Q _{H,ve}	Q _{H,ht}	Q _{H,int}	Q _{H,soł}	Q _{H,gn}	γ _H	η _{H,gn}	α _{H,red}	Q _{H,md}
	[den]	[hod]	[°C]	[W/K]	[kW/h]	[W/K]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[kW/h]	[-]	[-]	[-]	[kWh]
Leden	31	744	-1	90	1899	12	28	1927	283	371	653	0,34	0,77	1	1426
Únor	28	672	1		1719		26	1744	255	469	724	0,42	0,73		1218
Březen	31	744	4		1449		22	1470	283	779	1062	0,72	0,60		834
Duben	30	720	9		999		15	1014	274	1001	1275	1,26	0,46		431
Květen	31	744	14,6		495		7	503	283	1199	1482	2,95	0,26		117
Červen	30	720	17		0		0	279	274	1172	1446	0	0		0
Červenec	31	744	18,2		0		0	171	283	1163	1445	0	0		0
Srpen	31	744	18,8		0		0	117	283	1133	1416	0	0		0
Září	30	720	13,8		567		8	576	274	916	1190	2,07	0,34		176
Říjen	31	744	9,4		963		14	977	283	662	944	0,97	0,53		481
Listopad	30	720	4		1449		22	1470	274	282	556	0,38	0,75		1056
Prosinec	31	744	-0,5		1854		28	1881	283	212	495	0,26	0,81		1480